

2010

Estudo de Baixo Carbono para o Brasil



Autor Principal
Christophe de Gouvello | Banco Mundial
Departamento de Desenvolvimento Sustentável
Região da América Latina e Caribe

© 2010 O Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Banco Mundial

1818 H Street, NW
Washington, DC 20433
Telefone: 202-473-1000
Internet: www.worldbank.org
Email: feedback@worldbank.org

Todos os direitos reservados

Este volume é um produto da equipe do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Banco Mundial. Os resultados, interpretações e conclusões expressas neste volume não refletem necessariamente a opinião dos Diretores Executivos do Banco Mundial ou dos países por eles representados.

O Banco Mundial não garante a precisão das informações incluídas neste trabalho e não aceita qualquer responsabilidade por qualquer conseqüência da sua utilização. As fronteiras, cores, denominações e outras informações apresentadas em qualquer mapa deste trabalho não implicam qualquer opinião por parte do Banco Mundial sobre o status legal de qualquer território ou o endosso ou aceitação de tais fronteiras.

Direitos e Permissões

O material desta publicação é protegido por direitos autorais. A reprodução total ou parcial do texto deste documento sem permissão pode constituir violação da lei aplicável. O Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Banco Mundial incentiva a divulgação do seu trabalho e concede a permissão para reproduzir partes do mesmo, desde que citada a fonte.

Para permissões para fazer fotocópias ou reimprimir qualquer parte deste trabalho, favor enviar uma solicitação com informações completas para: Copyright Clearance Center Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, E.U.A. telefone: 978-750-8400, fax: 978-750-4470; Internet: www.copyright.com.

Todas as outras consultas sobre direitos e licenças, incluindo direitos subsidiários, devem ser dirigidos ao Gabinete do editor, o Banco Mundial, 1818 H Street, NW, Washington, DC, 20433, E.U.A., fax: 202-522-2422 e-mail: pubrights@worldbank.org.

O Programa de Assistência à Gestão do Setor de Energia (ESMAP) é um programa de conhecimento global e assistência técnica administrado pelo Banco Mundial, que fornece auxílio aos países de baixa e média renda com o objetivo de aumentar o saber-fazer e capacidade institucional dos mesmos para alcançar soluções ambientalmente sustentáveis no setor de energia que conduzem à redução da pobreza e ao crescimento econômico.

Para obter maiores informações sobre o **Programa de Estudos de Baixo Carbono para Países** ou sobre o trabalho do ESMAP no âmbito das mudanças climáticas, visite-nos na www.esmap.org ou escreva para:



Energy Sector Management Assistance Program

Energy Sector Management Assistance Program
The World Bank
1818 H Street, NW
Washington, DC 20433 USA
email: esmap@worldbank.org
web: www.esmap.org

2010

Estudo de Baixo Carbono para o Brasil

Grupo Banco Mundial

Autor Principal

Christophe de Gouvello

*Departamento de Desenvolvimento Sustentável, Região da América
Latina e Caribe*

Coordenadores dos Temas:

Britaldo S. Soares Filho, CSR-UFGM e

André Nassar, ICONE

(para Uso da Terra, Mudanças do Uso da Terra, e Florestas)

Roberto Schaeffer, COPPE-UFRJ

(para Energia)

Fuad Jorge Alves, LOGIT

(para Transporte)

João Wagner Silva Alves, CETESB

(para Gestão de Resíduos)

Contribuições:

**CENEA, CETESB, COPPE-UFRJ, CPTEC/INPE, EMBRAPA, UFGM, ICONE
INICIATIVA VERDE, INT, LOGIT, PLANTAR, UNICAMP, USP**



Índice

Prefácio	11
Reconhecimento	13
Acrônimos e Abreviações	15
Unidades de Medida	18
Câmbio	18
Sumário Executivo	19
Capítulo 1 Introdução	39
1.1 Administrando o Risco: Níveis das Metas	40
1.2 O Contexto Brasileiro: Função Crucial das Florestas e de Outros Setores	40
1.3 Compromisso Nacional para o Combate à Mudança do Clima	41
1.4 Objetivo e Abordagem do Estudo	42
1.4.1 Visão Geral do Método	42
1.4.2 Um Processo Consultivo e Interativo	44
1.5 Estrutura deste Relatório	45
Capítulo 2 Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Silvicultura: Cenário de Referência	47
2.1 Efeitos do Uso da Terra e da Mudança no Uso da Terra sobre as Emissões	48
2.1.1 Desmatamento	48
2.1.2 Produção Agrícola	49
2.1.3 Pecuária	49
2.1.4 Remoção de carbono baseado na Silvicultura	49
2.2 Modelando o Uso da Terra e as Mudanças no Uso da Terra	50
2.2.1 Modelos Econômicos e Geo-espaciais	50
2.2.2 Uso da Terra Projetado: Agricultura e Pecuária	51
2.2.3 Mudança Esperada no Uso da Terra: Desmatamento	53
2.3 Estimando o Balanço de Emissões para o Uso da Terra e a Mudança no Uso da Terra	54
2.3.1 Desmatamento	54
2.3.2 Pecuária	55
2.3.3 Produção Agrícola	57
2.3.4 Sequestro de Carbono	59
2.4 Resultados de Emissões do Cenário de Referência	60
Capítulo 3 Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Silvicultura: em Direção a um Cenário de Baixo Carbono	61
3.1 Opções de Mitigação para a Produção Agrícola	62
3.2 Opções de Mitigação na Pecuária	64
3.3 Maior Produtividade Animal para Evitar Emissões Geradas por Desmatamento	66
3.4 Remoção de GEE através de Opções de Sequestro de Carbono	67
3.4.1 Florestas de Produção	67
3.4.2 Restauro de Florestas Nativas	69
3.5 Chegando a um Equilíbrio: Uma Nova Dinâmica para o Uso da Terra e a Mudança no Uso da Terra	73
3.5.1 Uma Nova Dinâmica para um Cenário de Baixo Carbono	73
3.5.2 Um Novo Balanço de Carbono Próximo ao Equilíbrio	80
3.6 Medidas Adicionais para Proteção das Florestas	81
3.7 Estratégia Integrada para um Cenário de Baixo Carbono	84
Capítulo 4 Setor de Energia: Cenário de Referência e Potencial de Mitigação	87
4.1 Visão Geral da Metodologia	89
4.2 Cenário de Referência	89
4.3 Opções de Mitigação	93
4.3.1 Opções de Mitigação do Lado da Demanda	93
4.3.2 Opções de Mitigação do Lado da Oferta	97
4.4 Opções Adicionais: Exportações de Etanol e Hidrocomplementaridade com a Venezuela	102
4.5 Resultados: Sumário do Cenário de Baixo Carbono do Setor de Energia	105
Capítulo 5 Setor de Transportes: Cenários de Referência e de Baixo Carbono	109
5.1 Modelo <i>Bottom-up</i> de Carga e Emissões	111
5.1.1 Modelando a Oferta e a Demanda dos Modos de Transporte para Modelar as Emissões	111
5.1.2 Modelo de Emissões para o Setor de Transportes	113
5.2 Planos do Governo para o Projeto de Cenários	114

5.2.1	PAC e PNL: Base para os Cenários de Transporte Regional-----	115
5.2.2	Planos de Mobilidade Urbana: Base para os Cenários de Transporte Urbano -----	116
5.3	Projeções de Emissões no Cenário de Referência-----	117
5.4	Opções de Mitigação de Emissões para o Transporte Regional -----	119
5.4.1	Transporte de Frete: Troca de Modais, da Rodovia para a Ferrovia e Hidrovia -----	119
5.4.2	Transporte de Passageiros: Transferência de Modais da Rodovia e do Transporte Aéreo para a Ferrovia Interurbana -----	121
5.5	Opções de Mitigação de Emissões para o Transporte Urbano-----	122
5.5.1	Utilização de Sistemas de Transporte Público de Alta Capacidade-----	123
5.5.2	Administração da Demanda de Trânsito-----	125
5.5.3	Políticas de Incentivo ao Uso de Transporte Não Motorizado-----	126
5.6	Maior Uso do Bioetanol como Combustível de Veículos -----	126
5.7	Resultados Agregados: Cenário de Baixo Carbono para o Setor de Transportes -----	129
Capítulo 6 Setor de Resíduos: Cenários de Referência e de Baixo Carbono-----		133
6.1	Visão Geral do Método -----	134
6.1.1	Métodos de Manejo de Resíduos no Cenário de Referência-----	136
6.1.2	Projeção de resíduos sólidos no Cenário de Referência -----	137
6.1.3	Projeção de Emissões de Resíduos Sólidos no Cenário de Referência -----	139
6.2	Cenário de Referência para Efluentes Líquidos -----	140
6.2.1	Métodos de Manejo de Efluentes Líquidos no Cenário de Referência -----	140
6.2.2	Efluentes Líquidos Projetados no Cenário de Referência -----	142
6.3	Cenário de Baixo Carbono para o Setor de Resíduos Sólidos e de Efluentes -----	143
6.3.1	Cenário de Baixo Carbono para o Manejo de Resíduos Sólidos -----	144
6.3.2	Cenário de Baixo Carbono para o Manejo de Efluentes-----	148
6.3.3	Emissões Projetadas no Cenário de Baixo Carbono -----	151
Capítulo 7 Análise Econômica -----		153
7.1	Método de Avaliação Microeconômica -----	155
7.1.1	A "Abordagem Social": Construindo a Curva de Custo Marginal de Abatimento-----	155
7.1.2	A "Abordagem Privada": Determinando o Preço de Equilíbrio do Carbono-----	162
7.1.3	Custos do Desmatamento Evitado -----	167
7.2	Avaliação de Benefícios Macroeconômicos-----	181
7.2.1	Histórico Metodológico -----	181
7.2.2	Efeitos sobre o PIB e o Emprego-----	183
7.3	Comentários Finais -----	187
Capítulo 8 Cenário Nacional de Baixo Carbono para o Brasil-----		189
8.1	O Cenário de Referência -----	190
8.1.1	Métodos e Princípios -----	190
8.1.2	Resultados e Interpretação-----	191
8.2	Cenário Proposto de Baixo Carbono -----	193
8.2.1	Métodos e Princípios -----	193
8.2.2	Resultados e Interpretação-----	194
8.3	Principais Incertezas nas Estimativas de Emissões-----	198
8.3.1	Projeções Macroeconômicas -----	198
8.3.2	Questões sobre o Uso da Terra-----	198
8.3.3	Energia -----	200
8.3.4	Transporte -----	201
8.3.5	Manejo de Resíduos-----	201
8.4	Olhando para Frente -----	201
Capítulo 9 Financiando o Cenário de Baixo Carbono -----		203
9.1	Exigências Gerais de Investimento-----	204
9.2	Necessidades de Financiamento para Uso da Terra e Modificações no Uso da Terra-----	207
9.3	Necessidades de Financiamento Energético -----	210
9.4	Necessidades de Financiamento para o Transporte-----	215
9.5	Necessidades de Financiamento para Resíduos-----	216
9.6	Mecanismos de Incentivo Financeiro-----	218
9.7	Intensidade de Capital -----	220
Capítulo 10 Respondendo ao Desafio do Cenário de Baixo Carbono -----		225
10.1	Levar o Desmatamento a Zero -----	226
10.2	Melhores Políticas para o setor de Transportes e Coordenação Institucional -----	228
10.2.1	Transporte Urbano-----	228



10.2.2	Transporte Regional	229
10.2.3	Maior Substituição de Gasolina pelo Etanol	229
10.3	Exploração do Potencial Existente no Setor Energético	230
10.3.1	Garantir as Opções de Baixo Carbono no Cenário de Referência	231
10.3.2	Explorar Completamente o Arcabouço Existente de Conservação Energética	231
10.3.3	Resolvendo a Questão do Financiamento da Rede Inteligente	231
10.3.4	Aumento da Mitigação do Setor Energético através de Exportações de Etanol	231
10.4	Arcabouço Institucional e Incentivos para o Setor de Resíduos	232
10.5	Comentários Finais	232
Anexo A: Conjunto de Premissas em Comum		233
Anexo B: Mapas de Resultados por Estados		237
Referências		253
Anexo C – Índice para o CD		
Relatórios:		
Relatório Principal em português e inglês		
Relatórios técnicos individuais dos consultores em português		
Planilhas e Mapas:		
Arquivo Principal para a análise econômica e curvas de emissões em nível nacional (cenários de referência e baixo carbono)		
Resultados por estado:		
Mapas e Dados de emissões (cenários de referência e baixo carbono)		
Resultados econômicos (MAC, BE <i>Carbon Price</i> , Investimento)		
Série de Indicadores específicos de setor		

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Diferenças de Mitigação de GEE no Cenário de Baixo Carbono, 2008–30	34
Figura 2.1:	Evolução do desmatamento no Cenário de Referência, 2009–30	54
Figura 2.2:	Mapa do estoque de carbono usado para estimar emissões geradas por desmatamento	55
Figura 2.3:	Fluxograma de Fazendas Protótipo	56
Figura 2.4:	Resultados do Cenário de Referência: Emissões do Uso da Terra e das Mudanças no Uso da Terra, 2009–30	60
Figura 3.1:	Emissões Evitadas através do Plantio Direto no Cenário de Baixo Carbono, 2010–30	63
Figura 3.2:	Comparação das Emissões de Metano por Unidade de Carne (kg CO ₂ e por kg), 2008–30	64
Figura 3.3:	Comparação das Emissões de Metano Geradas pela Criação de Gado de Corte (MtCO ₂ e por ano), 2008–30	65
Figura 3.4:	Fluxograma do Modelo Usado para Mapear o Potencial de Remoção de CO ₂ através do Reflorestamento	69
Figura 3.5:	Mapas do Potencial de Biomassa nos Biomas Brasileiros do Cerrado e da Mata Atlântica (tCO ₂ por ha)	70
Figura 3.6:	Potencial de Remoção de Carbono das Atividades de Restauro Florestal e Florestas de Produção	72
Figura 3.7:	Variação do Número de Cabeças de Gado em Sistemas Produtivos, 2009–30	75
Figura 3.8:	Evolução da Demanda por Terra no Brasil, por Cultivo - 2006-30 (Milhões de ha)	77
Figura 3.9:	Comparação entre a Dinâmica do Uso da Terra para o Cultivo de Cana-de-Açúcar, 2007–30	78
Figura 3.10:	Comparação da Dinâmica do Uso da Terra para Áreas de Pastagem, 2007–30	79
Figura 3.11:	Comparação do Desmatamento Cumulativo, 2007–30	79
Figura 3.12:	Evolução do Desmatamento no Cenário de Baixo Carbono (curva) (km ² por ano)	80
Figura 3.13:	Emissões Geradas pelo Uso da Terra e pela Mudança no Uso da Terra de Acordo com a Nova Dinâmica de Uso da Terra, no Cenário de Baixo Carbono	81
Figura 4.1:	Estrutura de Fornecimento Interno de Energia Primária, por Fonte (2006)	88
Figura 4.2:	PNE 2030 Modelos de Cálculo	92
Figura 4.3:	Evolução das Emissões do Setor de Energia no Brasil (MtCO ₂) por Setor, 2005–30	92
Figura 4.4:	Evolução da Produção de Cana-de-Açúcar e de Etanol nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2005–30	98
Figura 4.5:	Capacidade Instalada Projetada para Energia Eólica nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2010-2030	100
Figura 4.6:	Cenário de Referência do Setor de Energia e Potencial de Mitigação de Emissões de CO ₂ (PNE 2030), 2005-2030	105
Figura 5.1:	Consumo de Combustíveis Fósseis, por Setor	110
Figura 5.2:	Sequenciamento do Modelo de Transporte de Quatro Etapas	112
Figura 5.3:	Rede Multimodal Georreferenciada	112
Figura 5.4:	Ligação do Transporte Regional e Urbano ao Consumo de Combustível	113
Figura 5.5a:	Evolução das Emissões por Tipo de Veículo no Cenário de Referência, 2008 -30	119
Figura 5.5b:	Projeção de Emissões do Setor de Transportes, sem Biocombustíveis, 2008 -30	119
Figura 5.6:	Exemplo de Transferência Modal para o Transporte Regional– Bahia	120
Figura 5.7:	Exemplo de Transferência Modal para o Transporte Urbano– Belo Horizonte	124
Figura 5.8:	Evolução das Vendas de Carros Individuais por Tipo de Motor 1979–2007 (mostrando o número de carros vendidos por ano)	127
Figura 5.9:	Comparação da Distribuição de Modais para frete, 2008–30	129
Figura 5.10:	Comparação da Distribuição de Modais na Carga de Passageiros, 2008–30	129
Figura 5.11:	Potencial de Redução de Emissões no Setor de Transportes, 2008-2030	130



Figura 5.12: Comparação das Emissões nos Cenários de Referência, de Baixo Carbono e de “Combustíveis Fósseis”, 2008-30	132
Figura 6.1: Fontes de GEE Resultantes da Disposição e Tratamento de Resíduos Sólidos	136
Figura 6.2: Evolução da Coleta de Resíduos: Resultados da Simulação, 1970 - 2030	138
Figura 6.3 Potencial de Geração de Metano, 1970-2030	138
Figura 6.4: Cenário de Referência para o Setor de Resíduos, 2010-2030 (MtCO ₂ /ano)	139
Figura 6.5: Distribuição de tratamento e disposição de resíduos sólidos no Cenário de Referência, 2010-30	140
Figura 6.6: Fontes de Emissões de GEE do Tratamento dos Efluentes	140
Figura 6.7: Fontes de Esgoto e Efluentes, Sistemas de Tratamento e Potencial de Emissões de Metano	142
Figura 6.8: Efluentes Domésticos e Comerciais, 2010-2030 (MtCO ₂ e/ano)	143
Figura 6.9: Cenário de Referência para o Setor de Efluentes Industriais, 2010-2030 (MtCO ₂ e/ano)	143
Figura 6.10: Cenário de Baixo Carbono para Resíduos Sólidos: Queima do Metano com Eficiência de Coleta de 75% no Aterro Sanitário, 2010-30 (MtCO ₂ e/ano)	146
Figura 6.11: Resíduos Gerados Per Capita: Cenário 2010-30	147
Figura 6.12: Distribuição do Tratamento de Resíduos e de Serviços no Cenário de Baixo Carbono, 2010-2030	148
Figura 6.13: Porcentagem de distribuição de tratamento dos Resíduos Sólidos no Cenário de Baixo Carbono, 2010-30	148
Figura 6.14: Comparação dos Cenários de Baixo Carbono e de Referência para Esgotos Domésticos, 2010-2030 (queima de 100% do Biogás) (MtCO ₂ e/ano)	150
Figura 6.15: Cenário de Baixo Carbono e de Referência para Efluentes Industriais (100% do biogás queimado a partir de 2010) (MtCO ₂ e/ano)	151
Figura 6.16: Comparação dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (2010-2030)(MtCO ₂ e/ano)	151
Figura 7.1a: Curvas de Custos Marginais de Abatimento para Medidas de Mitigação com CMAs abaixo de US\$50 por tCO ₂ e (taxa de desconto social de 8%)	160
Figura 7.1b: Curvas de Custos Marginais de Abatimento para Medidas de Mitigação abaixo de US\$50 por tCO ₂ e, Excluindo Desmatamento e Reflorestamento (taxa de desconto social de 8%)	161
Figura 7.1c: Curvas de Custo Marginal de Abatimento para Medidas de Mitigação acima de US\$50 por tCO ₂ e (taxa de desconto social de 8%)	161
Figura 7.2a: Preço de Equilíbrio do Carbono para Medidas de Mitigação e Remoção de carbono com CMAs abaixo de US\$50/tCO ₂ e	165
Figura 7.2b: Preço de Equilíbrio do Carbono para Medidas de Mitigação e Remoção de carbono com CMAs abaixo de US\$50/tCO ₂ e (Excluindo Redução do Desmatamento e Reflorestamento)	166
Figura 7.2c: Preço de Equilíbrio do Carbono para Medidas de Mitigação e Remoção de carbono com CMAs acima de US\$50/tCO ₂ e (Excluindo Redução do Desmatamento e Reflorestamento)	166
Figura 7.3: Custo Marginal de Abatimento (taxa de desconto social de 8%) e Preço de Equilíbrio do Carbono (considerando uma TIR de 12%) para Medidas para Reduzir o Desmatamento	173
Figura 7.4: Variação dos Custos de Restauo Florestal, por Cenário de Intervenção	175
Figura 7.5: CMA e Preço de Equilíbrio de Carbono para Remoção de CO ₂ através do Restauo Florestal Legal	176
Figura 7.6: Efeito dos Benefícios da Melhoria dos Transportes sobre o CMA	179
Figura 7.7: Análise de Sensibilidade do CMA e Preço de Equilíbrio do Carbono para o Etanol em relação ao Preço do Petróleo	180
Figura 7.8: Análise de sensibilidade do Preço de Equilíbrio do Carbono das medidas de mitigação nos setores de energia e transporte em relação aos preços do petróleo (US\$46 e US\$70 por barril)	181
Figura 7.9: Arcabouço para Avaliação de Impactos Macroeconômicos	182
Figura 7.10: Efeitos cumulativos de opções de mitigação de GEE na econômica brasileira, 2010-30	183
Figura 8.1: Emissões Setoriais Brutas no Cenário de Referência, 2008-30	192
Figura 8.2: Potenciais de Redução de Emissões no Cenário de Baixo Carbono, 2010-30, em Comparação com o Cenário de Referência (MtCO ₂ eq)	195
Figure 8.3: Cunhas de Mitigação de GEE no Cenário de Baixo Carbono, 2010-30	195
Figura 8.4: Emissões brutas por setor no Cenário de Baixo Carbono, 2010-30 (MtCO ₂ eq/ano)	196
Figura 8.5: Comparação da Distribuição de Emissões Brutas por Setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2008-30	196
Figura 8.6: Comparação da distribuição das emissões por setores nos Cenários de Referência e Baixo Carbono, 2008-30	197
Figura 9.1: Curva de intensidade em capital das medidas de mitigação e remoção de carbono	222
Figura 9.2: Avaliando Custos Marginais de Abatimento, Intensidade de Capital e Potencial de Redução de Emissões, por Setor	222
Figura 9.3: Avaliação dos Incentivos Necessários e da Intensidade de Capital, por Setor	223
Figura A.1: Evolução dos Preços Internacionais do Petróleo (tipo Brent)	236
Figura A.2: Preços Internacionais do Gás Natural	236

QUADROS

Quadro 2.1 Projetando o Uso da Terra para Cultivos até 2030: (Brazil Land Use Modeling – BLUM)	50
Quadro 2.2 Alocando o Uso Futuro da Terra a Localidades e Anos: SIM Brasil	51
Quadro 3.1: Em Direção a um “Cenário Legal”: Principais Áreas para Proteção	71
Quadro 5.1: Modelo COPERT: Uma abordagem bottom-up para a estimativa das emissões	114
Quadro 6.1: Métodos para o Cálculo das Emissões Geradas pela Incineração	135
Quadro 6.2: Cálculo das Emissões Oriundas das Várias Formas de Tratamento de Efluentes	141
Quadro 7.1: Calculando Custos Marginais de Abatimento	157

Quadro 7.2: Cálculo de Co-benefícios do Aprimoramento dos Transportes -----	178
Quadro 8.1: Incertezas para Cenários Econômicos de Uso da Terra -----	199

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sumário das Necessidades Adicionais de Terras nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono -----	26
Tabela 2: Comparação da Distribuição das Emissões entre os Setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2008-2030 -----	33
Tabela 1.1: Sumário do Método de Estudo, por Setor -----	43
Tabela 2.1: Expansão projetada no Uso da Terra para produção agrícola e pecuária para os anos selecionados no período 2006-30 (Milhões de ha) -----	51
Tabela 2.2: Variação Absoluta em Área Alocada, 2006-30 (milhares de ha) -----	52
Tabela 2.3: Área e Quantidade de Gado em Cada Sistema de Produção para o Cenário de Referência, Ano Base (2008) -----	56
Tabela 2.4: Emissões da Produção Agrícola no Cenário de Referência -----	58
Tabela 3.1: Redução de Emissões Geradas pela Produção Agrícola no Cenário de Baixo Carbono com o Emprego do Plantio Direto, durante o período de 2010-2030 -----	63
Tabela 3.2: Produtividade Média de Cultivos Selecionados em Vários Países (ton por ha), 2008 -----	67
Tabela 3.3: Área Necessária para Reflorestamento de Acordo com a Lei de Reservas Legais do Brasil, por Estado -----	72
Tabela 3.4: Opções de Mitigação e Remoção para um Cenário de Baixo Carbono e Necessidades Associadas de Terra Adicional ---	74
Tabela 3.5: Comparação dos Resultados de Uso da Terra nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (milhões de ha) -----	76
Tabela 3.6: Fotografia das Áreas Protegidas no Bioma da Amazônia e Participação do ARPA -----	82
Tabela 3.7: Recursos do INPE para Monitoramento por Satélite da Amazônia, 2006-08 -----	83
Tabela 3.8: Projeção de Custos para Manejo de Florestas Públicas, 2009 -----	84
Tabela 4.1: Parâmetros de Crescimento Macroeconômico do PNE 2030 -----	91
Tabela 4.2: Parâmetros de Energia do PNE 2030 -----	92
Tabela 4.3: Potencial de Opções Adicionais de Mitigação, 2010-30 -----	102
Tabela 4.4: Produção de Cana-de-Açúcar e Etanol: Cenários de Referência e de Baixo Carbono -----	104
Tabela 4.5: Exportações de Etanol e Reduções de Emissões no Cenário de Baixo Carbono -----	104
Tabela 4.6: Potencial de Redução de Emissões do Setor de Energia no Brasil, 2010-30 -----	106
Tabela 4.7: Diferenças em Energia entre os Cenários de Baixo Carbono e de Referência (Mtoe) -----	107
Tabela 5.1: Investimentos do PAC e do PNLT Considerados para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono -----	115
Tabela 5.2: Planos-Mestre para Transporte Urbano Disponíveis -----	116
Tabela 5.3: Investimentos em Sistemas de Transporte Público e de Massa -----	117
Tabela 5.4: Carga e Emissões de GEE para o Cenário de Referência, 2007-30 -----	118
Tabela 5.5: Transporte Regional de Frete: Comparação dos Investimentos nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2010-30 -----	121
Tabela 5.6: Comparação da Redução Projetada de Emissões para o Transporte Regional em 2030: Cenário de Troca de Modais -----	122
Tabela 5.7: Reduções de Emissões em 2030 com a Expansão do BRT a Diesel e Sistemas de Metrô -----	124
Tabela 5.8: Cargas de Ciclovias e Ganhos em Emissões Evitadas, 2010-30 -----	126
Tabela 5.9: Composição da Frota de Carros Individuais de Passageiros por Tipo de Motor, 2010-2030 -----	128
Tabela 5.10: Carga do Setor de Transportes e Emissões de GEE nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono -----	131
Tabela 6.1: Barreiras nos Aterros Sanitários e Incineradores e medidas para superá-las. -----	144
Tabela 6.2: Sumário da Evolução da Distribuição Percentual dos Resíduos no Cenário de Baixo Carbono (2010-2030), por Método -----	147
Tabela 6.3: Barreiras à Adoção de Sistemas de Tratamento de Efluentes e de Medidas de Mitigação Sugeridas -----	149
Tabela 6.4: Evolução da distribuição percentual dos efluentes entre os diferentes métodos, 2008-30 -----	150
Tabela 7.1: Potencial de Mitigação e Custo Marginal de Abatimento das Várias Alternativas, com Base em Três Taxas de Desconto -----	159
Tabela 7.2.a: Comparação entre os Custos Marginais de Abatimento (calculados com taxa de desconto social de 8%) e os Preços de Equilíbrio de Carbono para Diversas Opções de Mitigação e Remoção (calculados com as taxas de retorno privadas de referência nos Setores) -----	164
Tabela 7.2.b: Volume de incentivos necessários (não descontados) para o período 2010-2030 -----	165
Tabela 7.3: Investimento e Gastos para Sistemas Pecuários Prototípicos (2009-30) -----	168
Tabela 7.4: Desempenho Econômico e Financeiro dos Sistemas Pecuários Prototípicos (2009-30) -----	168
Tabela 7.5: Investimentos e Gastos nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono -----	168
Tabela 7.6: Desempenho Econômico e Financeiro Comparativo do Setor de Pecuária -----	169
Tabela 7.7: Projeção dos Custos da Proteção das Florestas nas Áreas Onde o Desmatamento é Ilegal (em milhões de US\$) -----	170
Tabela 7.8: Investimentos e Gastos do Setor Pecuário para Liberar Terra e Absorver Terras Adicionais Necessárias nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (2010-30) -----	174
Tabela 7.9: Impactos Macroeconômicos das Opções de Redução de GEE: Uso da Terra -----	184
Tabela 7.10: Impactos Macroeconômicos das Opções de Redução de GEE nos Setores Industriais, Comerciais e Residenciais, 2010-30 -----	185
Tabela 7.11: Impactos Macroeconômicos das Opções de Mitigação do Setor de Transportes -----	186
Tabela 7.12: Impactos Macroeconômicos das Opções de Mitigação do Setor de Manejo de Resíduos -----	187
Tabela 8.1: Distribuição Setorial de Emissões Brutas no Cenário de Referência, 2008 e 2030 -----	192



Tabela 8.2: Comparação da Distribuição Anual de Emissões nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, por Setor	194
Tabela 8.3: Comparação da Distribuição de Emissões Cumulativas entre Setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2010-30	197
Tabela 9.1: Comparação das Exigências de Investimentos Setoriais para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono por Opção de Mitigação,* 2010-30	206
Tabela 9.2: Intensidade de Capital e Custos Marginais de Abatimento das Opções de Mitigação no Cenário de Baixo Carbono	220
Tabela A.1.: Parâmetros e Fontes do Modelo Macroeconômico de Setor	234
Tabela A.2: Cenários Macroeconômicos do PNE 2030	235
Tabela A.3: População (milhões de habitantes), 2005-2030	235
Tabela A.4: Taxa de População Urbana em 2030	236

ANEXO DOS MAPAS

Agricultura

Mapa 1: Mudança na Área ocupada pela Agricultura por Região	238
Mapa 2: Total cumulativo de emissões na Agricultura, 2010 a 2030	238

Bovinocultura

Mapa 3: Número de Cabeças no Rebanho	239
Mapa 4: Total cumulativo de emissões da Bovinocultura, 2010 a 2030	239

Desmatamento

Mapa 5: Total de Área desmatada, 2010 a 2030	240
Mapa 6: Total cumulativo de emissões do Desmatamento, 2010 a 2030	240

Uso da Terra - Total

Mapa 7: Área ocupada pela Agropecuária por Região	241
Mapa 8: Total cumulativo de emissões do Uso da Terra (Agricultura, Bovinocultura, Desmatamento, Reflorestamento), 2010 a 2030	241
Mapa 9: Área utilizada pela Pastagem	242

Energia Elétrica

Mapa 10: Consumo de Energia Elétrica por Estado	243
Mapa 11: Geração de Energia Elétrica por Estado	243
Mapa 12: Mitigação por Conservação de Energia Elétrica, 2010 a 2030	243
Mapa 13: Cogeração - Capacidade Instalada, 2010 e 2030, e Resultante Mitigação, 2030	244

Refinarias Existentes

Mapa 14: Emissão e Mitigação Anual das Refinarias Existentes entre 2015 e 2030	245
--	-----

Indústria

Mapa 15: Consumo de combustíveis fósseis na indústria	246
Mapa 16: Total cumulativo de emissões na Indústria, 2010 a 2030	246
Mapa 17: Mitigação por atividade 2010 a 2030	246

Energia - Total

Mapa 18: Total cumulativo de emissões de Energia, 2010 a 2030	247
Mapa 19: Mitigação cumulativa de Emissões por Atividade, 2010 a 2030	247

Transporte

Mapa 20: Frota Circulante, 2007 e 2030	248
Mapa 21: Transferência Modal, Passageiros	248
Mapa 22: Emissão e Mitigação de Transporte Urbano e Regional, 2010 a 2030	249
Mapa 23: Mitigação Total por Medida, 2010 a 2030	249

Resíduos

Mapa 24: Quantidade de lixo produzida, 2010 e 2030	250
Mapa 25: Emissão por estado, Resíduos, Efluentes Domésticos e Industriais	250

Todos os Setores

Mapa 26: Total cumulativo de emissões e mitigação por setor, 2010 a 2030	251
Mapa 27: Total cumulativo de emissões, 2010 a 2030	2

Estes mapas correspondam à desagregação por estados dos resultados apresentados para o país inteiro no relatório. Todos os dados por estados estão disponíveis num arquivo eletrônico no CD al final deste relatório.

Prefácio

A realidade das alterações climáticas exige uma redução drástica das emissões de Gases de Efeito Estufa, GEE, global nas próximas décadas. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, IPCC, para estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera a 550 ppm, um nível em que há possibilidade de manter o aumento da temperatura média global de 3°C, seria necessário reduzir as emissões globais de cerca de 60 GtCO₂e para menos de 30GtCO₂e em 2030. Até essa data, as emissões dos países industrializados devem ter-se estabilizado em torno de 22 GtCO₂e. Portanto, sem questionar a responsabilidade histórica destes países, é evidente que a concentração de gases de efeito estufa não poderá ser estabilizada neste nível apenas graças a reduções de emissões realizadas nos países desenvolvidos. Passar para soluções de desenvolvimento menos intensivas em carbono nas economias emergentes é vital para o planeta.

Sem o Brasil desempenhar um papel de destaque, é difícil imaginar uma solução efetiva para a estabilização das concentrações de GEE na escala necessária. O Brasil é líder na redução das emissões do desmatamento e relacionadas ao uso da terra e às mudanças de uso da terra (conhecidas com emissões LULUCF1, em inglês), o qual, até muito recentemente, representava cerca de 20% das emissões globais. No setor da energia, o Brasil tem também sido muito inovador, acumulando uma experiência inédita em energias renováveis, especialmente em bioenergia. Como consequência disso, o país apresenta hoje emissões de combustíveis fósseis muito inferiores aos de outros países. Em 29 de dezembro de 2009, o Parlamento brasileiro aprovou a Lei 12.187, que estabeleceu uma meta de redução voluntária de GEEs nacionais de mais de 36% até 2020, incluindo uma redução de 70% do desmatamento. O Brasil também é um dos principais atores da economia política da elaboração de acordos internacionais na área de mudanças do clima. Confirmando isso, o país sediou a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Conferência da Terra, em junho de 1992. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto foi igualmente uma proposta brasileira. Além de agir coletivamente para resolver o maior desafio das alterações climáticas, o compromisso do Brasil é também muito forte no nível nacional.

Este Estudo de Baixo Carbono é destinado a apoiar o Brasil para enfrentar o duplo desafio de promover o desenvolvimento, reduzindo as emissões de GEE. Durante décadas, o Grupo Banco Mundial tem se comprometido a apoiar o desenvolvimento dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil. Em outubro de 2008, o Banco Mundial aprovou um Quadro Estratégico sobre as Mudanças Climáticas e o Desenvolvimento (QEMCD) para integrar as mudanças climáticas com os desafios do desenvolvimento, sem comprometer o crescimento nem os esforços de redução da pobreza. No contexto do QEMCD, o Banco Mundial lançou uma série de iniciativas para apoiar ações de mitigação das alterações climáticas integradas aos processos de desenvolvimento. Uma dessas iniciativas, construída em cima da expertise do Banco Mundial em matéria de desenvolvimento, foi lançar vários estudos de desenvolvimento de baixo carbono em estreita interação com os seus parceiros históricos. O presente estudo é um deles.

Para aproveitar o melhor conhecimento disponível, o processo enfatizou uma abordagem consultiva iterativa que envolveu amplas discussões com especialistas brasileiros da área e representantes do Governo. Em particular, este estudo tem aderido aos planos de

1 LULUCF: Land Use and Land Use Change and Forest

desenvolvimento do Governo e procurou explorar opções para atingir os mesmos objetivos de desenvolvimento, reduzindo as emissões. Foram estudadas as opções técnicas para mitigar e remover as emissões de carbono em quatro grandes áreas: LULUCF, energia, transportes e manejo de resíduos. No entanto, este estudo não se limitou a estabelecer uma lista de opções técnicas para reduzir emissões de carbono. Ele procurou ajudar a compreender as dinâmicas que determinam estas emissões nestes setores. Também investigou as condições para que estas opções de baixo carbono pudessem ser replicadas em larga escala no lugar de outras, mais convencionais. Fazendo isso, o estudo procurou fornecer elementos técnicos e analíticos para flexionar as emissões até 2030, além do compromisso voluntário de reduzir emissões até 2020, como anunciado pelo Governo.

Para enfrentar esse desafio, o estudo desenvolveu novos instrumentos. Construiu a primeira modelagem do uso e de mudanças de uso da terra geoespacialmente explícita, um instrumento fundamental para esclarecer a complexa questão de como acomodar o crescimento da agricultura, da pecuária e da bioenergia — motores essenciais da economia brasileira — em conjunto com os objetivos ambiciosos de redução do desmatamento. Outro exemplo é o desenvolvimento de uma ferramenta flexível para construir curvas de custo marginal de abatimento e gerar uma série de outros indicadores econômicos que possam apoiar o processo de decisão. Esta ferramenta está sendo desenvolvida para se tornar amplamente disponível para outros países. Conceitos inovadores também foram introduzidos, como por exemplo o conceito de preço de carbono de equilíbrio², que teve como objetivo determinar o nível de incentivo que deve ser fornecido para essas opções inovadoras se tornarem atraentes para o setor privado.

Muitos outros países já assumiram compromissos voluntários de combater as mudanças climáticas, declarando as suas vontades de implementar ações de mitigação nacionalmente apropriadas³, embora um apoio financeiro externo seja muitas vezes necessário. O Brasil tem demonstrado um crescente interesse em ajudar outros países em desenvolvimento para avançar por caminhos do desenvolvimento sustentável através de uma intensificação da cooperação Sul-Sul. É nossa esperança que ambas as ferramentas e os resultados deste estudo sejam úteis para o Brasil e para outros países que pretendam seguir caminhos de desenvolvimento de baixo carbono.

Laura Tuck, Diretor

Departamento de Desenvolvimento Sustentável
América Latina e Caribe
Grupo Banco Mundial

Makhtar Diop, Diretor para o Brasil

Escritório no Brasil
América Latina e Caribe
Grupo Banco Mundial

² Em inglês: Break-even Carbon Price

³ Em inglês: Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs)

Reconhecimento

O presente estudo foi desenvolvido pelo Banco Mundial, como parte de sua iniciativa para dar suporte ao esforço integrado do Brasil pela redução das emissões nacionais e globais de gases do efeito estufa, promovendo ao mesmo tempo o desenvolvimento de longo prazo. O estudo fundamenta-se no melhor conhecimento disponível, e para isso a equipe responsável desenvolveu um amplo processo de consultas e pesquisou a farta literatura existente para identificar a necessidade de esforços graduais e centros de excelência. Foi preparado após consultas e discussões sobre a abrangência do trabalho, realizadas com os Ministérios das Relações Exteriores, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Foram ainda organizados vários seminários, que possibilitaram consultas com representantes dos Ministérios da Fazenda, do Planejamento, da Agricultura, dos Transportes das Minas e Energia, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Participaram ainda, ou foram consultados várias agências públicas e centros de pesquisa, incluindo a EMBRAPA, o INT, a EPE, a CETESB, o INPE, a COPPE, a UFMG, a UNICAMP e a USP.

O estudo cobre quatro áreas cruciais, com grande potencial para opções de baixo carbono: (i) uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (LULUCF), incluindo o desmatamento; (ii) sistemas de transporte; (iii) produção e uso de energia, em especial eletricidade, petróleo, gás e biocombustíveis e (iv) resíduos urbanos, sólidos e líquidos. O presente documento recebeu suporte de mais de 15 relatórios técnicos e quatro relatórios-síntese para as quatro áreas principais. Recebeu apoio do Banco Mundial, através de recursos oferecidos pela Rede de Desenvolvimento Sustentável (Sustainable Development Network) para as atividades relacionadas a mudanças climáticas regionais e através de suporte do Programa de Apoio à Gestão do Setor Energético do Banco Mundial (sigla ESMAP, em inglês).

O relatório foi elaborado por uma equipe coordenada por Christophe de Gouvello (Banco Mundial), e composta por Britaldo Soares e Letícia Hissa, UFMG; André Nassar, Leila Harfuch, Marcelo Melo Ramalho Moreira, Luciane Chiodi Bachion e Laura Barcellos Antoniazzi, ICONE; Luis G. Barioni, Geraldo Martha Junior, Roberto D. Sainz, Bruno J. R. Alves, e Magda A. de Lima, EMBRAPA; Osvaldo Martins, Magno Castelo Branco, e Renato Toledo, Iniciativa Verde; Manoel Regis Lima Verde Leal, CENEA; João Eduardo A.R. Silva, Univesidade de São Carlos; Fábio Marques, Rodrigo Ferreira, Luiz Goulart, e Thiago Mendes, PLANTAR; Roberto Schaeffer (coordinator energy), Ronaldo Balassiano, Alexere Szklo, Amaro Pereira, Bruno Soares Moreira Cesar Borba, Eré Frossard Pereira de Lucena, David Castelo Branco e Antonio José Alves, COPPE-UFRJ; Maurício Henriques, Fabrício Dantas, Márcio Guimarães, Roberto S. E. Castro Tapia, Joaquim Augusto Rodrigues, Marcelo R. V. Schwob e Fernea M. Bernardes, INT; Arnaldo Walter, Gilberto Jannuzzi e Rodolfo Gomes, UNICAMP; Fuad Jorge Alves José, Wagner Colombini Martins, Ferneo H. Rodrigues, Arthur C. Szasz e Sérgio H. Demarchi, LOGIT; João Wagner, Josilene T. V. Ferrer, Fátima A. Carrara, Marcos E. G. Cunha, Eduardo T. Sugawara e Francisco do Espírito Santo Filho, CETESB; Saulo Freitas, Karla Longo e Ricardo Siqueira, CPTEC/INPE; Sérgio Pacca e Júlio Hato, USP; Jennifer Meihuy Chang, Barbara Farinelli e Megan Hansen, Banco Mundial.

A equipe de supervisão do Banco Mundial para todo o Estudo de Baixo Carbono incluiu Christophe de Gouvello, Jennifer Mehuy Chang, Govinda Timilsina, Paul Procee, Mark Lundell,

Garo Batmanian, Adriana Moreira, Fowzia Hassan, Augusto Jucá, Bárbara Farinelli, Rogério Pinto, Francisco Sucre, Benoit Bosquet, Alexandre Kossoy, Flavio Chaves, Mauro Lopes de Azeredo, Fernanda Pacheco, Sebastien Pascual e Megan Hansen. Agradecimentos especiais ao Mark Lundell, que providenciou sugestões e comentários importantes tanto no que diz respeito ao processo como à substância e à Jennifer Meihuy Chang, cujos esforços foram essenciais para garantir a coerência da enorme quantidade de dados entre os setores do estudo, apesar das muitas iterações ao longo do processo.

O Estudo de Baixo Carbono para o Brasil foi preparado sob a direção de Laura Tuck, Makhtar Diop e Philippe Charles Benoit, com contribuições dos revisores do Banco Mundial Gary Stuggins, Kseniya Lvovsky, Xiaodong Wang, Werner Kornexl, Charles Peterson e Roger Gorham e comentários dos especialistas do Banco John Nash, Todd Johnson, Sergio Margulis e Stefano Pagiola.

Finalmente, agradecimentos especiais à Norma Adams, editora do documento original em inglês, e à Helena Jansen, editora em português, que contribuíram muito no aprimoramento deste relatório.

Acrônimos e Abreviações

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AIE	Agência Internacional de Energia
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APP	Área de Preservação Permanente
ARPA	Programa de Áreas Protegidas da Amazônia
BDMG	Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais
BEN	Balanco de Energia Nacional
BLUM	Modelo de Uso da Terra no Brasil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
CBERS	Programa de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis
CCMA	Curva do Custo Marginal de Abatimento
CCS	Cadastro de Compromisso Socioambiental
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEAF	Centro de Energias Alternativas de Fortaleza
CEIF	Estrutura de Investimento em Energia Limpa (<i>Clean Energy Investment Framework</i>)
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CER	Redução Certificada de Emissões (sigla CER, em inglês)
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CFL	Lâmpada Incandescente Compacta
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CH ₄	Metano
CIDE	Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
CMA	Custo Marginal de Abatimento
CMN	Conselho Monetário Nacional
CNA	Confederação Nacional de Agricultura e Pecuária
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural
CO ₂	Dióxido de Carbono
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSR	Centro de Sensoriamento Remoto
CTEnerg	Fundo Setorial de Ciência e Tecnologia para Energia
CT-Petro	Fundo Setorial de Ciência e Tecnologia para Petróleo e Gás
DEGRAD	Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Legal
DETER	Deteção de Desmatamento em Tempo Real
EGO	Ambiente para Geoprocessamento de Objetos

EIA	Agência de Informações em Energia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Planejamento Energético
ESCO	Companhia de Eficiência em Energia (<i>Energy Saving Company</i>)
FAPRI	Instituto de Pesquisa em Políticas Alimentares e Agrícolas (<i>Food and Agricultural Policy Research Institute</i>)
FGEE	Fundo de Garantia a Empreendimentos de Energia Elétrica
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
FINAME- AGRÍCOLA	Agência de Financiamentos para Aquisição de Máquinas e Equipamentos
FINEM	Financiadora de Equipamentos e Máquinas
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNP	FINEP Consultoria & Comércio
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GEE	Gás do Efeito Estufa
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
GNC	Gás Natural Comprimido
GNL	Gás Natural Liquefeito
GTL	Conversão de gás natural em combustíveis líquidos (<i>Gas-To-Liquid</i>)
GTZ	Agência Alemã de Cooperação Técnica
HFC	Hidrofluorcarboneto
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBP	Índice de Biomassa Potencial
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICONE	Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais
IDE	Investimento Direto Estrangeiro
IGP-DI	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INT	Instituto Nacional da Tecnologia
I-O	<i>Input-Output</i>
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
KfW	Banco Alemão de Desenvolvimento
LULUCF	<i>Land Use, Land-Use Change and Forestry</i> (Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas)
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MELP	Modelo de Expansão de Longo Prazo
MEPS	<i>Minimum Energy Performance Standard</i> (Padrão Mínimo de Desempenho Energético)
MIPE	Modelo Integrado de Planejamento Energético
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
M-Ref	Modelo de Estudo de Refino
MSR	Modelo de Projeção de Demanda de Energia Residencial
MT	Ministério dos Transportes
N	Nitrogênio

NAPCC	<i>National Action Plan on Climate Change</i>
NIPE	Núcleo Interdisciplinar para Planejamento Estratégico
NRC	<i>National Research Council</i> (Conselho Nacional de Pesquisa)
N ₂ O	Óxido Nitroso
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PAS	Plano Amazônia Sustentável
PFC	Perfluorocarbono
PIB	Produto Interno Bruto
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PME	Pesquisa Mensal de Emprego
PNE	Plano Nacional de Energia
PNLT	Plano Nacional de Logística e Transporte
PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PPCDAM	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PPP	Parceria Público-Privada
PROALCOOL	Programa Nacional do Álcool
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
PROCEL	Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
PRODUSA	Programa de Estímulo à Produção Agropecuária Sustentável
PROESCO	Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
PROLAPEC	Programa de Integração Lavoura-Pecuária
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PROPASTO	Programa Nacional de Recuperação de Pastagens
PROPFLORA	Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas
REDD	<i>Reducing Emissions from Deforestation and Degradation</i> (Reduzindo Emissões do Desflorestamento e da Degradação)
RGR	Reserva Global de Reversão
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAE	Secretaria de Assuntos Estratégicos
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
TIR	Taxa Interna de Retorno
UC	Unidade de Conservação
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
VPL	Valor Presente Líquido
WTI	<i>West Text Intermediate</i>



Unidades de Medida

Ce	Carbono Equivalente
CO ₂ e	Dióxido de Carbono Equivalente
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
gCO ₂ e	Gramas de Dióxido de Carbono Equivalente
Gt	Bilhões de Toneladas
GtCO ₂ e	Bilhões de Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt Hora
ha	Hectare
kg	Quilograma
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro Quadrado
kW	Kilowatt
m	Metro
m ³	Metros Cúbicos
Mt	Milhões de Toneladas
MtCO ₂ e	Milhões de Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
MW	Megawatt
MWh	Megawatt Hora
ppm	Partículas por Milhão
tCO ₂ e	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
TWh	Terawatt Hora

Câmbio

1 dólar dos Estados Unidos (US\$) = 2,20 reais do Brasil (R\$)

Sumário Executivo

O compromisso do Brasil para o combate à mudança climática já havia sido iniciado quando o país sediou em junho de 1992 a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Cúpula da Terra do Rio de Janeiro. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que resultou daquela conferência, levou à criação do Protocolo de Quioto. Hoje, permanece no Brasil o forte compromisso voluntário em reduzir as suas emissões de carbono. No dia 1º de dezembro de 2008, o Presidente Luiz Inácio Lula da Silva lançou o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), baseado no trabalho desenvolvido pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. O PNMC determina uma redução de 70 por cento no desmatamento até 2017, meta especialmente digna de nota, considerando-se que o Brasil detém o segundo maior bloco do mundo de matas nativas remanescentes. No dia 29 de dezembro de 2009, o Parlamento Brasileiro aprovou a Lei 12,187, que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil, assim como um conjunto de metas voluntárias de redução dos gases de efeito estufa, entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020.

Sendo o maior país tropical do mundo, o Brasil mostra-se singular quanto ao seu perfil de emissões de gases do efeito estufa (GEE). **Em décadas passadas, a disponibilidade de grandes volumes de terras para cultivo e pastagem ajudou a transformar a agricultura e a pecuária em setores cruciais para a sustentação do crescimento econômico do país.** Durante apenas os últimos dez anos, esses dois setores responderam por uma média de 25 por cento do PIB nacional. A expansão constante da área necessária para agricultura e pastagem exigiu ainda a conversão de mais terras nativas, **fazendo da mudança do uso da terra a principal fonte de emissões de GEE atualmente existente no país. Ao mesmo tempo, o Brasil utilizou os recursos naturais, tão abundantes em seu vasto território, na exploração e no desenvolvimento de energias renováveis de baixo carbono.**

Atualmente, no Brasil, as emissões oriundas de combustíveis fósseis *per capita* estão em níveis muito mais baixos em comparação com outros países,⁴ como resultado do papel importante desempenhado pelas fontes renováveis de energia usadas na geração de eletricidade e combustíveis. A hidroeletricidade representa mais de três quartos da capacidade instalada de geração de eletricidade, ao mesmo tempo em que o etanol substitui dois quintos do combustível de gasolina. **Não fossem esses grandes investimentos em energia renovável feitos no passado, a atual matriz energética brasileira seria muito mais intensiva em carbono. Caso a matriz energética brasileira refletisse a média mundial, as emissões geradas pelo setor de energia seriam presumivelmente duas vezes mais altas, sendo o total nacional das emissões 17 por cento mais alto.** Os setores de energia e transportes no Brasil já estão, portanto, amplamente baseados em alternativas de baixas emissões de carbono e os esforços atuais para manter a matriz energética limpa devem ser reconhecidos. No entanto, a manutenção de um caminho de desenvolvimento de baixo carbono no Brasil continuará a exigir maiores

⁴ As emissões baseadas em combustíveis fósseis correspondem a aproximadamente 1,9 tCO₂ por ano *per capita*, ou menos de um quinto da média dos países da OCDE.

investimentos em opções de baixo carbono e medidas adicionais para reduzir as emissões no setor energético brasileiro podem exigir maiores esforços.

Contudo, o Brasil costumava ser um dos maiores emissores de GEE através do desmatamento e, provavelmente, continuaria sendo, se não fosse pela recente aprovação do governo de uma série de medidas para proteger a floresta. Apesar de haver sido drasticamente reduzido durante os últimos anos, o desmatamento pode potencialmente continuar a ser uma grande fonte de emissões no futuro. Fatores agravando este cenário incluem um antecipado crescimento em fontes mais intensivas de carbono para a geração de energia elétrica, aceleração do uso de meios de transportes movidos a diesel e um maior volume de emissões de metano (CH₄), como resultado da expansão no desenvolvimento de aterros sanitários.

Ao mesmo tempo, é provável que o Brasil venha a sofrer de forma significativa dos efeitos adversos da mudança climática. De acordo com indicações baseadas em modelos avançados, sugere-se que uma porção significativa da parte oriental da Amazônia Brasileira poderá vir a transformar-se em ecossistema semelhante à savana antes do final deste século. O fenômeno conhecido como Colapso da Amazônia (*Amazon Dieback*), combinado aos efeitos de mais curto prazo causados pelo desmatamento através de queimadas, poderia reduzir a incidência de chuvas nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, o que resultaria em menor produtividade agrícola e menor disponibilidade de água para a produção de hidroeletricidade.⁵ Assim sendo, são necessárias soluções urgentes para reduzir a vulnerabilidade do Brasil à mudança climática e permitir a execução de ações de adaptação no país.

Da mesma forma que muitos outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta um duplo desafio, tendo que estimular o desenvolvimento e reduzir as emissões de GEE. O Presidente Lula expressou esta preocupação na apresentação que fez do Plano Nacional, declarando que quaisquer ações que visassem evitar futuras emissões de GEE não deveriam afetar adversamente os direitos dos pobres ao desenvolvimento, eles que nada fizeram para gerar o problema. Os esforços para mitigar as emissões de GEE não devem crescer-se aos custos do desenvolvimento, mas existem fortes motivos para migrar para um tipo de economia com baixo uso de carbono. As alternativas de baixo carbono ofereceriam importantes benefícios colaterais relativos ao desenvolvimento, que variariam de reduções nos congestionamentos e na poluição do ar, na área de transporte urbano, a um melhor manejo dos resíduos, à criação de empregos e economia de custos para a indústria, além da conservação da biodiversidade. Os países que adotam um tipo de desenvolvimento com baixo carbono têm mais probabilidade de usufruir dos benefícios oferecidos por vantagens estratégicas e competitivas, como a transferência de recursos financeiros através do mercado de carbono, novos instrumentos para financiamento internacional e acesso a mercados globais emergentes para produtos de baixo carbono. No futuro isso pode criar uma vantagem competitiva para a produção de bens e serviços, devido aos menores índices de emissões associadas ao ciclo de vida dos produtos.

Panorama do Estudo

O propósito geral deste estudo foi dar suporte aos esforços empreendidos pelo Brasil para identificar oportunidades para reduzir as suas emissões, de formas que promovam o desenvolvimento econômico. O objetivo primordial foi oferecer ao governo brasileiro os insumos técnicos necessários para a avaliação do potencial e das condições para o desenvolvimento de baixo uso de carbono nos principais setores responsáveis pelas emissões.

5 “Assessment of the Risk of Amazon Dieback,” Banco Mundial, 2010

Com esse propósito, o estudo do Banco Mundial tratou de adotar uma abordagem programática que estivesse alinhada aos objetivos de longo prazo do governo do Brasil, das seguintes maneiras: (i) prevendo a evolução futura das emissões de GEE no Brasil, para estabelecer um Cenário de Referência; (ii) identificando e quantificando opções que empreguem quantidade menor de carbono, de forma a mitigar as emissões, bem como potenciais opções para a remoção de carbono; (iii) avaliando os custos dessas opções com baixo uso de carbono, identificando barreiras à sua adoção e explorando medidas para superá-las e (iv) construindo um cenário que envolva baixo nível de emissões de carbono que atenda às mesmas expectativas de desenvolvimento. A equipe analisou ainda os efeitos macroeconômicos da migração do Cenário de Referência para o que implica em baixo uso de carbono e o financiamento necessário.

Com o intuito de aproveitar os melhores conhecimentos já disponíveis e evitar a duplicação de esforços, a equipe do estudo engajou-se em um amplo processo de consultas, reunindo-se com mais de setenta reconhecidos especialistas brasileiros, técnicos e representantes de governos, cobrindo os setores que mais geram emissões e pesquisando a abundante literatura disponível. Esse trabalho de preparação funcionou para informar a escolha de quatro áreas cruciais que demonstram grande potencial para opções de baixo carbono: (i) uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (LULUCF), incluindo-se aqui o desmatamento; (ii) sistemas de transporte; (iii) produção e uso de energia, em especial de eletricidade e petróleo e gás; e (iv) resíduos urbanos, tanto sólidos quanto líquidos.⁶

Para determinar as emissões que o Brasil teria gerado nestes quatro setores chave durante o período do estudo, a equipe do estudo definiu um Cenário de Referência “que é posteriormente comparado ao “Cenário projetado de Baixo Carbono”. Nota-se que que o Cenário de Referência é baseado em uma metodologia diferente da utilizada pelo governo brasileiro em seu inventário nacional de GEE. Devido ao fato de que o estudo focaliza nestas quatro áreas, o Cenário de Referência construído por este estudo não abrange cem por cento de todas as fontes de emissões do país e, portanto, não deve ser considerado como uma simulação de futuros inventários nacionais de emissões.

Como o objetivo deste estudo não era o de simular a futura evolução da economia Brasileira ou questionar os objetivos de desenvolvimento afirmados pelo governo, este estudo aderiu, na medida do possível, aos atuais planos governamentais para o estabelecimento do Cenário de Referência. Portanto, o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), publicado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em 2007, foi adotado como o Cenário de Referência para o setor da energia. O estudo também considerou o Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo e o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), lançado em 2007, assim como outras políticas e medidas em outros setores que já haviam sido publicadas antes do estabelecimento do Cenário de Referência.⁷ Quando as publicações de planejamento a longo

6 Determinadas fontes de óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF_6) e outros gases GEE não cobertos pelo Protocolo de Quioto não estão incluídos neste estudo. Sem um inventário completo recente, não é possível determinar com precisão a participação de outras fontes no balanço nacional de GEE. Entretanto, com base na primeira Comunicação Nacional do Brasil (1994), a expectativa é que não excedam 5 por cento do total de emissões de GEE de Quioto. Nem todas as atividades agrícolas foram consideradas ao se estimar as emissões provenientes do setor; as culturas consideradas para o cálculo das emissões provenientes da agricultura representam cerca de 80% do total da área cultivada.

7 Como resultado da metodologia utilizada para estabelecer o Cenário de Referência, o mesmo difere das projeções das emissões nacionais e setoriais oficialmente anunciadas pelo Governo Brasileiro em 2009, juntamente com o compromisso voluntário de redução de emissões, refletido na lei Lei 12,187. A diferença entre o Cenário de Referência definido por este estudo e o cenário estabelecido pelo Governo Brasileiro, o qual foi baseado em tendências históricas, reflete o impacto positivo das políticas já adotadas na redução de emissões no momento do estabelecimento do Cenário de Referência do estudo. Notavelmente, o Cenário de Referência foi definido antes da elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e a aprovação

prazo não se encontraram disponíveis, a equipe construiu seu próprio Cenário de Referência, utilizando modelos de setor desenvolvidos ou adaptados para o estudo, de acordo com as principais premissas do PNE 2030. As interfaces chave (por exemplo, determinação da área necessária para a produção de biocombustíveis líquidos e sólidos dos setores de transportes e energia), foram tratadas pelas equipes devidamente responsáveis por estes setores conjuntamente com a modelagem de uso da terra.

Os resultados do Cenário de Referência para estes principais setores demonstram que o desmatamento continua sendo o principal impulsionador das futuras emissões de GEE no Brasil, até 2030. Os resultados da modelagem indicam que após um ligeiro decréscimo de 2009 a 2011, a expectativa é que as emissões oriundas do desmatamento sejam estabilizadas a uma taxa anual de aproximadamente 400–500 MtCO₂. Mesmo assim, a participação relativa cai para em torno de 30 por cento, enquanto continuam a crescer as emissões geradas pelos setores de energia, transporte e manejo de resíduos. Considerando-se que tanto o transporte quanto o consumo de energia são funções do crescimento econômico, certos subsetores dependentes de combustíveis fósseis (como, por exemplo, sistemas de ônibus urbanos ou a geração de energia térmica e processos industriais) registram significativo aumento em suas emissões; no caso dos subsetores que dependem de formas de energia com menor intensidade de carbono (como, por exemplo, veículos movidos a etanol ou energia hidrelétrica), os níveis de emissões permanecem relativamente estáveis. Um anexo de mapas e um banco de dados eletrônico detalham os resultados por estados.

Uso da Terra e Mudança no Uso da Terra: Em Direção a uma Nova Dinâmica

Apesar do significativo declínio verificado nos últimos quatro anos, o desmatamento continua a ser a maior fonte das emissões de carbono, representando aproximadamente dois quintos das emissões nacionais brutas (2008). Ao longo dos últimos 15 anos, o desmatamento contribuiu para reduzir o estoque de carbono brasileiro em aproximadamente 6 bilhões de toneladas métricas, o que equivale a dois terços das emissões globais anuais.⁸ Sem os recentes esforços da parte do governo do Brasil para proteger as florestas, o padrão atual de emissões oriundas do desmatamento seria significativamente mais alto.⁹ Os fatores que impulsionam o desmatamento ocorrem em múltiplos níveis. Nas regiões da Amazônia e do Cerrado, por exemplo, a dinâmica especial da expansão da agricultura e da pecuária, novas rodovias e a imigração determinam o padrão de desmatamento. A uma escala nacional ou internacional, são as mais amplas forças de mercado que afetam os setores de carne e de agricultura que estimulam o desmatamento.

A produção agrícola e a pecuária geram também emissões diretas, juntas respondendo por um quarto das emissões nacionais brutas. As emissões oriundas da agricultura resultam principalmente do emprego de fertilizantes e da mineralização do nitrogênio (N) no solo, do cultivo

da Lei 12,187, que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil, assim como um conjunto de metas voluntárias de redução dos gases de efeito estufa.

- 8 Entre 1970 e 2007, a Amazônia perdeu em torno de 18% da sua cobertura florestal original; ao longo dos últimos 15 anos, o Cerrado perdeu 20% da sua área original, enquanto que a Mata Atlântica, que já havia sofrido intenso desmatamento anteriormente, perdeu 8 por cento.
- 9 Depois de alcançar o pico em 27.000 km² em 2004, as taxas de desmatamento apresentaram substancial declínio, chegando a 11.200 km² em 2007, a segunda mais baixa taxa histórica registrada pelo programa de observação do desmatamento – PRODES – (INPE 2008). As taxas de desmatamento baixaram mais ainda em 2008 e 2009.

de arroz irrigado em várzeas, da queima da cana-de-açúcar e do emprego de maquinário agrícola movido a combustíveis fósseis. As emissões geradas pela pecuária resultam principalmente do processo digestivo do gado de corte, que libera metano (CH_4) na atmosfera.

Resultados de Modelos e Cenários de Referência

Com o objetivo de estimar a demanda futura por terra e as emissões geradas por LULUCF, o estudo desenvolveu dois modelos complementares: i) O Modelo Brasileiro de Uso da Terra (sigla BLUM, em inglês) e (ii) SIM Brasil. O BLUM é um modelo econométrico que calcula a alocação de terras e mede as mudanças no uso da terra como resultado da dinâmica oferta-e-demanda no caso de atividades concorrentes importantes.¹⁰ O SIM Brasil, um modelo georreferenciado de espacialização, calcula o uso futuro da terra de acordo com vários cenários; não altera os dados do BLUM, mas encontra um lugar para atividades que envolvam o uso da terra, levando em consideração critérios como aptidão para a agricultura, distância até as rodovias, atração urbana, custo do transporte até os portos, declividade e distância até áreas convertidas. O SIM Brasil trabalha com um nível de definição de 1 km^2 , possibilitando a geração de mapas e tabelas detalhados.

De acordo com o Cenário de Referência, são necessários aproximadamente 17 milhões de hectares adicionais de terras para poder acomodar a expansão de todas as atividades durante o período de 2006 a 2030. Em todo o Brasil, a área total alocada a usos produtivos, estimada em 257 milhões de hectares em 2008, deve passar por uma expansão de 7 por cento – atingindo em torno de 276 milhões de hectares em 2030; 24 por cento desse crescimento deve dar-se na Região Amazônica. Em 2030, da mesma forma que em 2008, a expectativa é que as terras de pastagem ocupem a maior parte dessa área (205 milhões de hectares em 2008 e 207 milhões em 2030). O crescimento verificado ao longo do tempo nesse valor total torna necessário converter a vegetação nativa em uso para produção, o que ocorre principalmente nas regiões de fronteiras, na Região Amazônica e – em menor escala, no Maranhão, no Piauí, no Tocantins e na Bahia.

Para calcular o balanço correspondente de emissões anuais e remoção de carbono ao longo do período seguinte de 20 anos, estes modelos e outros modelos relacionados calcularam o uso da terra e a modificação no uso da terra para cada parcela de terra de 1 km^2 , em vários níveis.¹¹ De acordo com os resultados, as mudanças no uso da terra geradas pelo desmatamento respondem pela maior parcela das emissões anuais relacionadas a LULUCF – praticamente $533 \text{ MtCO}_2\text{e}$ até 2030. As emissões anuais diretas geradas apenas pelo uso da terra (para agricultura e pecuária) registram aumento durante o período, com taxa anual média de $346 \text{ MtCO}_2\text{e}$. A remoção de carbono compensa menos de 1 por cento das emissões brutas geradas por LULUCF, sequestrando $29 \text{ MtCO}_2\text{e}$ em 2010, caindo para $20 \text{ MtCO}_2\text{e}$ em 2030. Durante o período de 20 anos, as emissões brutas geradas por LULUCF sofreram aumento de um quarto, chegando a $916 \text{ MtCO}_2\text{e}$ até 2030. **O balanço líquido entre o uso da terra, a mudança no uso da terra e a remoção de carbono resulta em um aumento das emissões, que chegam a aproximadamente $895 \text{ MtCO}_2\text{e}$ por ano até 2030¹².**

10 Essas atividades incluem seis cultivos principais (soja, milho, algodão, arroz, feijão e cana-de-açúcar), pastagens e matas de produção; além disso, o modelo projeta a demanda por vários tipos de carne e necessidades correspondentes de soja e de milho.

11 Micro-região, estado e país.

12 Ao calcular o inventário nacional de carbono, alguns países consideram a contribuição da regeneração natural com respeito à remoção de carbono; e, portanto, apesar do fato deste estudo não incluir esta contribuição no balanço de carbono das atividades do LULUCF, é justo acrescentar esta informação para fins de comparação. Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 109 MtCO_2 por ano, reduzindo assim as emissões líquidas.



Opções de Baixo Carbono para Mitigação de Emissões

De longe, evitar o desmatamento é a opção que oferece a maior oportunidade para a mitigação de GEE no Brasil. De acordo com o Cenário de Baixo Carbono resultante, as emissões geradas pelo desmatamento que seriam evitadas corresponderiam a em torno de 6,2 GtCO₂e ao longo do período entre 2010 e 2030, ou mais de 295 MtCO₂e por ano.

O Brasil desenvolveu políticas e projetos para a proteção das florestas para enfrentar a progressão da pressão nas fronteiras e tem experiência com atividades econômicas que são compatíveis com a sustentabilidade das florestas. **A migração para um Cenário de Baixo Carbono que possa garantir o crescimento da agricultura e da indústria de carne – ambos importantes para a economia brasileira – exigiria também o desenvolvimento de ações referentes à causa primária do desmatamento: a demanda por mais terra para a agricultura e para a pecuária.**

Para reduzir drasticamente o desmatamento, o presente estudo propôs uma estratégia dupla: (i) eliminar as causas estruturais do desmatamento e (ii) proteger a floresta contra tentativas ilegais de derrubadas. A eliminação das causas estruturais do desmatamento exigiria um aumento dramático da produtividade por hectare. **O aumento da produtividade da pecuária poderia liberar enormes áreas de pastagem.** Tecnicamente, essa opção é possível, uma vez que a produtividade da pecuária brasileira é em geral baixa e os sistemas existentes de confinamento de gado e de lavoura-pecuária poderiam ser expandidos; o emprego de sistemas mais intensivos de produção poderia desencadear retornos econômicos superiores e ganhos líquidos para a economia do setor (capítulo 7). **O potencial representado pela liberação e pela recuperação de áreas degradadas de pastagem seria suficiente para acomodar o mais ambicioso dos cenários de crescimento.**

A combinação da redução da área de pastagem e da proteção das florestas pode resultar em um acentuado declínio das emissões geradas pelo desmatamento. Isso ficou demonstrado durante o período de 2004 a 2007, quando novos esforços em prol da proteção das florestas, combinados a uma ligeira contração do setor de pecuária e, conseqüentemente, da área dedicada à pastagem¹³, levou a uma redução de 60 por cento no desmatamento (de 27.000 para 11.200 km²). **Essa rápida redução resultou do desmatamento e das emissões associadas a ele estando relacionadas à expansão marginal da terra usada para agricultura e pecuária,¹⁴ sem a qual não haveria necessidade de conversão de vegetação nativa adicional, com a conseqüente geração de emissões de GEE. Caso fossem negligenciados os esforços para reduzir a área dedicada à pastagem e para proteger as florestas, as emissões do desmatamento seriam imediatamente reiniciadas. Para proteção contra a derrubada ilegal, a floresta deveria ser ainda mais protegida contra interesses fraudulentos.** O governo brasileiro vem implementando esforços consideráveis nessa área, em especial como resultado do Plano de Ação de 2004 para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM).

De acordo com projeções baseadas em modelos, com a nova dinâmica de uso da terra, o desmatamento estaria reduzido em mais de dois terços (68 por cento) em 2030, em comparação com os níveis projetados no Cenário de Referência; na Mata Atlântica, a redução

13 O período de 2005 a 2007 testemunhou o primeiro declínio no tamanho do rebanho (de 207 para 201 milhões de cabeças) após um aumento que se estendeu por uma década, juntamente com uma ligeira contração da área dedicada à pastagem (de 210 milhões para 207 milhões de ha).

14 Diferentemente de outros setores, cujas emissões baseadas em energia são em geral proporcionais ao porte pleno das atividades do setor, as emissões do desmatamento relacionam-se apenas à expansão marginal da agricultura e da pecuária.

seria de aproximadamente 90%, enquanto na Amazônia e no Cerrado teríamos reduções de 68 e 64%, respectivamente. **Da mesma maneira, em 2030 as emissões anuais oriundas do desmatamento seriam reduzidas em quase 63% (de aproximadamente 530 MtCO₂ para 190 MtCO₂), em comparação com o Cenário de Referência projetado. Na Amazônia, o nível de desmatamento sofreria queda rápida, atingindo em torno de 17% da média histórica anual de 19.500 km² observada no passado recente, dessa forma atendendo à meta do PNMC, de reduzir em 72% o desmatamento na região Amazônica até 2017¹⁵.**

O estudo propôs ainda formas para reduzir as emissões diretas geradas pelas atividades de produção agrícola e pecuária. Em comparação com os sistemas agrícolas convencionais, o plantio direto envolve um número muitas vezes menor de operações, podendo assim reduzir as emissões causadas pela conversão do carbono do solo e que emprega equipamento movido a combustíveis fósseis. Quando empregado com efetividade, o plantio direto pode ajudar a controlar a temperatura do solo, melhorar a sua estrutura, aumentar a capacidade de armazenamento de água no solo, reduzir a perda desse solo e incrementar a retenção de nutrientes nas plantas. Por todos esses motivos, é acelerada a expansão do plantio direto no Cenário de Baixo Carbono, que deve chegar a 100% até 2015 e que deve resultar em 356 MtCO₂ e de emissões evitadas durante o período de 2010 a 2030.

Para reduzir as emissões diretas causadas pela criação de gado de corte, o estudo propôs a migração para sistemas mais intensivos de produção de carne, como já foi anteriormente mencionado. Além disso, apresentou opções de melhoramento genético para a redução do CH₄, incluindo melhoramento da forragem para herbívoros e touros geneticamente superiores, que possuem ciclo de vida mais curto. De acordo com projeções apresentadas pelo estudo, a combinação da forragem melhorada e dos touros, associada ao aumento de produtividade, resultaria na redução das emissões diretas causadas pelos animais de 272 para 240 MtCO₂ por ano até 2030, ou seja, mantendo-as próximas aos níveis de 2008.

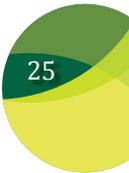
O estudo explorou ainda duas importantes opções de remoção de carbono: (i) restauro das matas nativas e (ii) florestas de produção para a indústria de aço e de ferro. No caso do restauro de florestas, o Cenário de Baixo Carbono considerou a observação das ações legais referentes à reconstituição obrigatória, de acordo com a legislação referente às matas ciliares e reservas legais.¹⁶ Nesse sentido, o Cenário de Baixo Carbono deu origem a um “Cenário da Legalidade”. Utilizando essas áreas definidas para reflorestamento, o estudo modelou o seu potencial para redução de CO₂.¹⁷ De acordo com o que ficou demonstrado pelo Cenário da Legalidade, o potencial de remoção de carbono é alto: um total cumulativo de 2.9 GtCO₂ e ao longo do período de 20 anos, ou aproximadamente 140 MtCO₂ e por ano, em média.¹⁸ No caso das florestas de produção, o Cenário de Referência supôs que o processo de termo-redução seria baseado no coque (66%), carvão vegetal não renovável (24%) e carvão vegetal renovável (10%). O Cenário de Baixo Carbono supôs uma substituição total do carvão vegetal não renovável até 2017 e o emprego do carvão vegetal renovável em até 46% da produção total de ferro e lastro de aço até 2030; o volume de emissões sequestradas totalizaria 377 MtCO₂ em 2030, ou 62 MtCO₂ a mais do que no Cenário de Referência.

15 Durante o período de 1996 a 1995, a taxa histórica de desmatamento verificada na região Amazônica foi de 1,95 milhão de hectares por ano, de acordo com o PNMC.

16 Nas áreas que exibissem condições ótimas, a recuperação das florestas conseguiria remover até 100 tC por ha na região Amazônica. No Cenário de Referência, sua contribuição fica limitada em termos de quantidade.

17 O modelo do estudo usou variáveis meteorológicas e climáticas (por exemplo, pluviosidade, estação de seca e temperatura) e variáveis edáficas (solo e topografia) para calcular o potencial de biomassa.

18 Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 112MtCO₂ por ano, em média.



Uma Nova Dinâmica no Uso da Terra

A construção de um Cenário de Baixo Carbono para o uso da terra envolve mais do que acrescentar as reduções de emissões associadas às oportunidades de mitigação; precisa também evitar o potencial de vazamento de carbono. Por exemplo, aumentar o restauro de florestas resulta em remoção de carbono, mas reduz também a área de terra que de outra forma estaria disponível para expansão das atividades da agricultura e da pecuária. Por sua vez, isso poderia provocar um excesso na demanda pelo uso da terra, o que poderia gerar desmatamento, induzindo um balanço líquido inferior de remoção de carbono. Para evitar o vazamento de carbono é preciso encontrar maneiras de limitar a demanda global por terra para outras atividades, mantendo ao mesmo tempo o mesmo nível de fornecimento de produtos encontrado no Cenário de Referência.

No Cenário de Baixo Carbono, a quantidade de terras adicionais necessárias para a mitigação das emissões e para a remoção de carbono chega a mais de 53 milhões de hectares. Dessa quantidade, mais de 44 milhões de ha – mais do que o dobro da expansão de terra projetada no Cenário de Referência – seriam destinados à recuperação de florestas. Juntamente com as terras adicionais necessárias de acordo com o Cenário de Referência, o volume total de terras adicionais necessárias chega a mais de 70 milhões de ha, mais do que duas vezes a extensão total de terras plantadas com soja (21,3 milhões de ha) e com cana-de-açúcar (8,2 milhões de ha) em 2008, ou mais do que duas vezes a área de soja projetada para 2030 no Cenário de Referência (30,6 milhões de ha) (Tabela 1).

Tabela 1: Sumário das Necessidades Adicionais de Terras nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono

Cenário	Terras Adicionais Necessárias (2006–30)
Cenário de Referência: volume adicional de terras necessário para a expansão das atividades de agricultura e pecuária	<i>Expansão da produção agrícola e de pecuária para atender às necessidades previstas para 2030: → 16,8 milhões de ha</i>
Cenário de Baixo Carbono: volume adicional de terras necessário para medidas de mitigação	Eliminação de carvão vegetal não renovável em 2017 e participação de 46% de carvão vegetal renovável para a produção de ferro e aço em 2030: → 2,7 milhões de ha
	Expansão da cana-de-açúcar, para aumentar a substituição da gasolina pelo etanol até atingir a marca de 80% no mercado interno e fornecimento de 10% da demanda global estimada, para alcançar uma média de 20% de etanol presente na mistura com a gasolina em todo o mundo até 2030: → 6,4 milhões de ha
	Restauração do passivo ambiental no que diz respeito às “reservas legais” de florestas, calculadas em 44,3 milhões de ha em 2030. → 44,3 milhões de ha
Total	70,4 milhões de hectares adicionais

Para aumentar a produtividade da pecuária, com vistas a atingir o nível necessário para liberação do volume exigido de terras de pastagem, o Cenário de Baixo Carbono considerou três opções: (i) promover a recuperação de áreas degradadas de pastagem, (ii)

estimular a adoção de sistemas produtivos que envolvam confinamento de gado para engorda e (iii) encorajar a adoção de sistemas de lavoura-pecuária. O aumento da taxa de lotação resultante da recuperação de áreas degradadas, combinado a sistemas integrados mais intensivos de lavoura-pecuária e confinamento de gado para engorda refletem-se em acentuada redução na demanda por terra, projetada para ser de aproximadamente 138 milhões de ha no Cenário de Baixo Carbono, em comparação com 207 milhões de hectares no Cenário de Referência para o ano de 2030. A diferença seria suficiente para absorver a demanda por terras adicionais associadas tanto à expansão das atividades de agricultura e pecuária no Cenário de Referência, quanto à expansão da mitigação e remoção de carbono, no Cenário de Baixo Carbono.

Energia: Sustentando Uma Matriz Energética Limpa

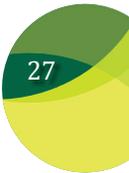
A intensidade das emissões de GEE no setor energético do Brasil é comparativamente baixa de acordo com padrões internacionais, devido ao papel significativo desempenhado pela energia renovável na matriz energética nacional. A energia renovável responde por quase a metade do fornecimento doméstico de energia no Brasil – com mais de três quartos de hidroeletricidade (MME 2007). Em 2005, o setor de energia do país gerava apenas 1,2% das 27 GtCO₂ de emissões de combustíveis fósseis registradas no mundo, o que corresponde a uma média anual *per capita* de 1,77 tCO₂, significativamente inferior às médias anuais globais *per capita* (4,22 tCO₂) e dos países da OCDE (11,02 tCO₂) (IEA 2007). Em 2010, as emissões resultantes da produção e do consumo de energia, excluindo-se o setor de transportes, representou quase um quinto das emissões nacionais.

Cenário de Referência: Aumento de 97% nas Emissões

O PNE 2030, no qual foi baseado o Cenário de Referência do setor, reflete as políticas setoriais recentes e tendências e características básicas de mercado, incluindo a dinâmica da incorporação **de tecnologia e a evolução da oferta e da demanda**¹⁹. A visão referente à consistência técnica e econômica de longo prazo faz do PNE 2030 uma ferramenta importante para a criação de um Cenário de Referência para o setor de energia; no entanto, por razões circunstanciais (ou seja, condições hidrológicas adversas), nos últimos anos houve maior utilização de energia termoelétrica no Brasil do que antecipada no PNE 2030. Se essa situação perdurar por mais longo prazo, o fator médio de emissões da rede brasileira seria maior do que o projetado pela MME em 2007. Se ficar comprovada a participação substancialmente menor da hidroeletricidade, em comparação com as previsões, o Cenário de Referência considerado neste estudo revelar-se-ia conservador.

Muito embora o PNE 2030 suponha um maior emprego de fontes renováveis de energia para o período de estudo, entre 2010 e 2030, com o tempo a matriz energética brasileira geraria maiores níveis de emissões, no que diz respeito ao Cenário de Referência. Para o ano de 2030, os números projetados para emissões, excluindo-se combustíveis empregados em transporte, ficariam pouco acima de 458 MtCO₂, o que representaria aumento de 97%, ou mais de um quarto das emissões nacionais. As estimativas indicam emissões cumulativas para o setor de 7,6 GtCO₂ ao longo do período de 20 anos.

19 O Cenário de Referência utilizado no estudo – o PNE 2030 – difere das projeções das emissões do setor de energia oficialmente anunciadas pelo governo brasileiro em 2009, juntamente com o compromisso voluntário de redução de emissões, refletido na Lei 12,187. A diferença entre o Cenário de Referência definido por este estudo e o cenário estabelecido pelo governo brasileiro, o qual foi baseado em tendências históricas, reflete o impacto positivo das políticas já adotadas na redução de emissões no PNE 2030.



Potencial de Mitigação do Cenário de Baixo Carbono: Menos de 20%

Para desenvolver um Cenário de Baixo Carbono, o estudo analisou opções de mitigação para eficiência energética e para troca de combustível na indústria, refino e “Conversão de gás natural em combustíveis líquidos”²⁰, geração de energia eólica e cogeração de bagaço, além de eletrodomésticos de alta eficiência.²¹ Considerando que a maior parte do principal potencial brasileiro remanescente em termos de hidroeletricidade já terá sido plenamente explorado até 2030 no Cenário de Referência considerado (PNE 2030), o estudo não considerou nenhuma outra oportunidade para reduzir as emissões através da expansão da hidroeletricidade, a mais do que havia sido estabelecido no Cenário de Referência. Além das oportunidades para reduzir as emissões domésticas, o estudo considerou duas oportunidades de redução no exterior: (i) a hidro-complementaridade (para redução das emissões de CO₂ dos setores de energia no Brasil e na Venezuela) e (ii) exportações de etanol em grande escala (para redução de emissões de combustíveis fósseis dos setores de transporte do mundo inteiro).

No período de 2010 a 2030, as reduções cumulativas de emissões chegariam a 1,8 GtCO₂, ou menos de 25% das emissões cumulativas do setor no Cenário de Referência.²² Caso viessem a ser implementadas todas as opções de baixo carbono propostas, as emissões anuais do setor de energia seriam reduzidas em 35% no ano de 2030.²³ Um fator não surpreendente é que o setor de indústria, que ainda está fortemente baseado em combustíveis fósseis, responderia por 75% das reduções até 2030 (68 MtCO₂ por ano), seguido pelo carvão vegetal renovável para a siderurgia (31%) e cogeração de biomassa (9%). **Mesmo assim, no Cenário de Baixo Carbono, as emissões geradas pelo setor de energia permaneceriam aproximadamente 28% mais altas em 2030, em comparação com 2008.**

Incremento de Exportações de Etanol:

Aumento de Um Terço no Potencial de Mitigação

O sucesso do Brasil com o bioetanol oferece uma oportunidade para reduzir as emissões globais através do aumento das exportações do produto. Em termos de emissões, custos sociais e custos econômicos de produção, o etanol produzido a partir do açúcar no Brasil mostra-se superior às alternativas apresentadas em outros países, refletindo uma vantagem comparativa significativa no atendimento à crescente demanda internacional por combustíveis de baixo carbono para veículos. A redução ou a eliminação das elevadas barreiras comerciais e dos enormes subsídios atualmente existentes em vários países geraria benefícios econômicos tanto para o Brasil quanto para seus parceiros comerciais, além de reduzir as emissões de GEE. Muito embora o porte dessas exportações dependa de suposições contrafatuais, este estudo adotou uma meta de 70 bilhões de litros até 2030 – 57 bilhões a mais do que o que aparece no Cenário de Referência do PNE e pouco mais de 2% do consumo global estimado de gasolina para aquele ano (igual a 10% da demanda por bioetanol para chegar à meta média de 20% de mistura de etanol na gasolina em todo o mundo). Essa meta corresponde ao limite inferior de um recente estudo sobre a

20 Sigla em inglês é GTL: *Gas-To-Liquid*.

21 Para evitar dupla contagem, o presente estudo considerou as reduções de emissões como resultado da troca de combustíveis de veículos como reduções de emissões do setor de transportes.

22 Excluindo as 667 MtCO₂ de emissões evitadas como resultado das exportações de etanol e as 28 MtCO₂ da linha de transmissão entre a Venezuela e o Brasil.

23 Em 2030, as emissões anuais seriam reduzidas de 458 para 297 MtCO₂ (excluindo-se os transportes) ou de 735 para 480 MtCO₂ (incluindo transportes), ou seja, uma redução anual semelhante às emissões da Argentina no ano de 2000.

viabilidade do aumento da produção do etanol para exportação.²⁴

O acréscimo nas reduções de emissões alcançado através de exportações de etanol chegaria a 73 MtCO₂ por ano e corresponderia a 667 MtCO₂ durante o período de 2010 a 2030, ou mais ou menos um terço da redução total das emissões do setor de energia. O etanol adicional exigiria um aumento da área cultivada com cana-de-açúcar de 6,4 milhões de hectares em 2030 (de 12,7 para 19,1 milhões de ha), a qual continuaria menor do que a área total hoje cultivada com soja (22,7 milhões de hectares em 2006) e um décimo da área atualmente dedicada à pastagem (210 milhões de hectares).²⁵ Como ficou explicado acima, supõe-se, contanto que sejam atendidas as metas propostas para incremento da produtividade da pecuária, que a expansão do plantio de cana-de-açúcar não redundaria em desmatamento, seja direta ou indiretamente através da expansão das áreas de pastagem – e a produção de cana-de-açúcar não ocorreria em áreas de conservação.

Transporte: Substituição de Modais e Troca de Combustíveis

O setor de transportes brasileiro apresenta intensidade menor de carbono, quando comparado ao de outros países, devido ao amplo uso do etanol como combustível nos veículos. Mesmo assim, o setor responde por mais da metade do consumo total de combustíveis fósseis no país, principalmente diesel. Em 2008, as emissões do setor eram de cerca de 149 MtCO₂e, o que representava 12% das emissões nacionais.

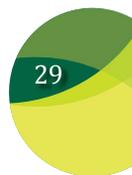
Originaram-se no transporte urbano aproximadamente 51% das emissões diretas do setor no ano de 2008. Entre as causas principais, surgem o emprego cada vez mais intenso de carros particulares, o congestionamento e os sistemas ineficientes de transporte de massa. **O estudo revelou que a troca de modais, para o Sistema de Trânsito de Ônibus Rápido (Sigla BRT, em inglês) e para o Metrô, associada a medidas de gestão de trânsito, teria potencial para reduzir as emissões em cerca de 26% em 2030;** entretanto, frequentemente aspectos ligados a políticas públicas, coordenação e financiamento impedem a sua implementação. Os mais de 5.000 municípios do país administram o seu próprio trânsito e sistemas de transporte, dificultando a mobilização de recursos onde é necessário. Além disso, os sistemas de transportes de massa exigem investimento de quantidades significativas de capital.

No caso do transporte regional, o estudo revelou um potencial de reduzir as emissões em cerca de 9% em 2030, através de mudanças de modais, tanto para o transporte de passageiros, quanto de carga. De acordo com simulações, a expansão do trem de passageiros de alta velocidade entre São Paulo e Rio de Janeiro, por exemplo, poderia atrair passageiros dos modos de transporte que envolvem níveis altos de emissões (como, por exemplo, aviões, automóveis e ônibus). No caso do transporte de fretes, a migração do transporte baseado em rodovias para o aquaviário e ferroviário poderia reduzir as emissões de modo significativo. Entre os obstáculos a essa mudança, incluem-se a inadequada infraestrutura para a transferência intermodal eficiente e a falta de coordenação entre as instituições públicas.

Sem o bioetanol, que já contribui para a baixa intensidade em carbono do setor de transporte, de acordo com o Cenário de Referência as emissões do setor em 2030 chegariam a ser quase 32% maiores do que as expressas no Cenário de Referência, e mais do que o dobro das emissões verificadas atualmente. Devido ao aumento dos veículos de combustível

24 Relatório do NIPE/UNICAMP para o CGEE/MCT, Campinas, dezembro de 2005.

25 As medidas propostas para reduzir o desmatamento a zero de acordo com o Cenário de Baixo Carbono consideraram a quantidade adicional de terras necessárias para o plantio de cana-de-açúcar para as exportações de etanol para evitar vazamento de carbono.



flex e à troca da gasolina pelo bioetanol, espera-se que as emissões geradas por veículos leves permaneçam estáveis ao longo dos próximos 25 anos, apesar de um crescimento projetado no número de quilômetros percorridos. **No Cenário de Baixo Carbono, essa troca de combustível poderia ser aumentada ainda mais, de 60 para 80% em 2030, o que resultaria na metade das reduções de emissões até 2030, e mais de um terço do total dessas reduções no setor de transportes durante o período (quase 176 MtCO₂).** O principal desafio é garantir que os sinais de preços do mercado estejam alinhados a esse objetivo. Por causa da volatilidade dos preços do petróleo, seria necessário um mecanismo financeiro apropriado, de modo a absorver os choques de preços e manter a atratividade do etanol para os proprietários de veículos.

Implementar o Cenário de Baixo Carbono significaria reduzir o aumento de emissões geradas pelo setor de transportes, de quase 65% para menos de 17% (de 149 MtCO₂ em 2008 para 174, em vez de 245 MtCO₂ por ano em 2030). O total de emissões evitadas corresponderia a cerca de 524 MtCO₂, durante o período de 2010 a 2030, ou em torno de 35 MtCO₂ por ano, em média – o que, grosso modo, equivaleria à combinação das emissões do Uruguai e de El Salvador.

Manejo de Resíduos: Alavancagem de Recursos Financeiros

O setor de manejo de resíduos do Brasil tem uma história de insuficiência de investimentos e de pouca participação do setor privado. Em parte, essa situação pode ser atribuída a uma falta de planejamento de longo prazo, à insuficiência de recursos alocados para o setor e à falta de incentivos. Tanto o manejo de resíduos sólidos quanto líquidos padecem de alto nível de complexidade institucional e descentralização, o que dificulta ainda mais a alavancagem dos recursos financeiros necessários. **Em 2008, as emissões do setor mostravam-se relativamente limitadas, ao nível de 62 MtCO₂e, o que representava 4,7% das emissões nacionais.**

Nos aterros sanitários modernos, onde a fermentação é anaeróbica, o metano (CH₄), um poderoso GEE gerado no final do processo, é liberado na atmosfera, e as emissões aumentam à medida que a coleta de resíduos e os locais de depósito continuam com o processo de expansão. De acordo com o Cenário de Referência, o CH₄ gerado não é necessariamente destruído. As emissões **são rapidamente impulsionadas, e poderiam aumentar mais de 50% ao longo do período do estudo, à medida que um número cada vez maior de pessoas começarem a beneficiar-se dos serviços de coleta de resíduos sólidos e líquidos. Entretanto, considerando que o CH₄ pode ser facilmente destruído, os incentivos criados pelo mercado de carbono poderiam estimular a participação em projetos desenhados para destruir os gases gerados nos aterros no Cenário de Baixo Carbono.** Com vistas a enfrentar os desafios do setor de manejo de resíduos, torna-se imperativo que tanto as municipalidades responsáveis pela promoção de parcerias quanto as entidades do setor privado tenham o conhecimento adequado para o melhor uso das estruturas jurídicas e institucionais existentes, assim como os procedimentos necessários para o acesso a fontes de financiamento disponíveis (ex: dentro de prazos estipulados etc.). Particularmente, parcerias intermunicipais e consórcios regionais devem ser estabelecidos para lidar com o tratamento de resíduos, e parcerias público-privadas (PPPs) devem ser estabelecidas através de concessões e contratos de longo prazo.

A implementação do Cenário de Baixo Carbono reduziria as emissões anuais do setor em 80% (de 99 MtCO₂e para 19 MtCO₂e em 2030). Durante o período 2010–30, o total de emissões evitadas seria igual a 1.317 MtCO₂, ou uma média de 63 MtCO₂ por ano, o que é comparável às emissões anuais do Paraguai.

Análise Econômica das Opções de Mitigação

Para informar o governo brasileiro e a sociedade em geral sobre os custos econômicos envolvidos na migração para uma via de desenvolvimento com baixa intensidade de carbono, a equipe do estudo desenvolveu uma análise econômica para determinar as condições financeiras sob as quais poderiam ser implementadas as opções propostas para mitigação e remoção de carbono. A análise econômica foi usada também para escolher as opções de mitigação que poderiam ser mantidas em um Cenário de Baixo Carbono. **Foram desenvolvidos dois níveis complementares de análise econômica: (i) uma avaliação microeconômica das opções consideradas, tanto do ponto de vista social quanto do setor privado, e (ii) uma avaliação macroeconômica dos impactos dessas opções sobre a economia nacional**, seja individual ou coletivamente, empregando um modelo de insumos e produtos (*input-output* ou I-O).

A abordagem social possibilitou uma comparação intersetorial do custo-eficiência das opções de mitigação e de remoção de carbono consideradas para a sociedade em geral. Com esse objetivo, foi calculado um custo marginal de abatimento (CMA) para cada uma das medidas, utilizando uma taxa de desconto social de 8%. Os resultados foram classificados por valores crescentes e plotados em um único gráfico, conhecido como curva de custos marginais de abatimento (CCMA), que permite uma rápida leitura de como é possível comparar as várias medidas, em termos de custos e de volume de emissões GEE.

Quanto à abordagem do ponto de vista do setor privado, explorou as condições de acordo com as quais as medidas propostas tornar-se-iam atraentes para desenvolvedores individuais de projetos. Corresponde ao mesmo princípio subjacente à abordagem *cap-and-trade*, adotada no Protocolo de Quioto: oferta de receitas adicionais aos agentes econômicos que optarem por soluções menos intensivas em carbono do que as da linha de base. O objetivo dessa abordagem é calcular o incentivo econômico mínimo – o “preço de equilíbrio do carbono” – a ser oferecido, para tornar atraente a medida proposta de mitigação. Essa abordagem baseia-se nas taxas esperadas de retorno dos agentes econômicos reais nos setores considerados, da forma observada pelas principais instituições de financiamento consultadas no Brasil.

Uma vez que as taxas de retorno esperadas pelo setor privado são em geral mais altas do que a taxa de desconto social, o preço de equilíbrio do carbono é geralmente superior ao CMA. Em alguns casos, o CMA chega a ser negativo, enquanto o preço de equilíbrio do carbono é positivo (por exemplo, a cogeração a partir da cana-de-açúcar, medidas para a prevenção do desmatamento, a substituição de combustível por gás natural, a iluminação e os motores elétricos ou o GTL), o que nos ajuda a compreender por que uma medida com CMA negativo não é automaticamente implementada. A maior parte das opções de mitigação e remoção de carbono presume incentivos para tornarem-se atraentes, com a exceção de medidas de eficiência energética.

O volume total de incentivos necessários durante o período do estudo alcançaria US\$445 bilhões, ou US\$21 bilhões por ano, em média.

De acordo com as estimativas, o incentivo para as medidas propostas para evitar emissões relacionadas ao desmatamento corresponderia a cerca de US\$34 bilhões durante o período, o que equivaleria a US\$1,6 bilhão por ano, e a US\$6 por tCO₂ (incluindo os custos com a proteção de florestas, de \$24 bilhões ao longo do período). Para 80% do potencial de mitigação e remoção de acordo com o Cenário de Baixo Carbono – ou seja, mais de 9 GtCO₂ – o nível necessário de incentivos seria de US\$ 6 por tCO₂ e ou menos.



O incentivo econômico a ser oferecido não passa necessariamente pela venda de créditos de carbono. Outros incentivos, como subsídios de capital para tecnologias de baixo carbono, condições de financiamento de investimentos, isenções e créditos fiscais, regulamentações ou outros instrumentos podem às vezes revelar-se mais efetivos para tornar as opções de baixo carbono preferíveis para os desenvolvedores de projetos.

Os efeitos macroeconômicos das opções de mitigação consideradas foram estimados individual e coletivamente, sendo o impacto incremental do Cenário de Baixo Carbono calculado em comparação com o Cenário de Referência, utilizando-se um simples modelo de IO. Muito embora os resultados devam ser considerados com cautela, sendo utilizados meramente para sugerir a magnitude do impacto, a simulação baseada em IO indica que **não se espera que o investimento, no caso do Cenário de Baixo Carbono, afete negativamente o crescimento econômico. Em vez disso, tanto o PIB quanto o emprego poderiam apresentar ligeira melhora, como resultado de efeitos colaterais em toda a economia gerados pelo investimento nas opções de baixo carbono.** Calcula-se que o PIB pudesse apresentar aumento de 0,5% por ano em média durante o período de 2010 a 2030, enquanto o emprego experimentaria em média crescimento de 1,13% ao ano durante o mesmo período.

Com base nessa análise econômica de dois níveis, o estudo selecionou as opções de mitigação e remoção de carbono consideradas para um Cenário de Baixo Carbono no Brasil durante o período de 2010 a 2030. Os critérios adotados foram que o CMA, que representa a perspectiva social em geral adotada nos exercícios de planejamento do governo, não deveria exceder US\$50 por tonelada de CO₂e, com exceção das opções impulsionadas mais pelos grandes co-benefícios esperados e seus impactos macroeconômicos positivos, o que se equilibraria com o CMA mais alto. Tipicamente, esse é o caso para a maioria das medidas propostas pelos setores de transporte e de resíduos.

Um Cenário Nacional de Baixo Carbono

O Cenário de Baixo Carbono elaborado para o Brasil neste estudo é um agregado dos que foram desenvolvidos para cada um dos quatro setores considerados no presente estudo. Em cada um dos setores, foram analisadas as oportunidades mais significativas para mitigar e sequestrar GEEs, enquanto deixaram de ser consideradas opções menos promissoras, ou já plenamente exploradas, no Cenário de Referência. Em resumo, esse Cenário nacional de Baixo Carbono deriva-se de uma simulação de baixo para cima e determinada pela tecnologia, focalizando subsetores individuais (por exemplo, conservação de energia na indústria ou de coleta e destruição de gases de aterros sanitários), baseando-se em avaliações detalhadas dos pontos de vista técnico e econômico das opções viáveis no contexto brasileiro, além da otimização setorial para dois dos quatro principais setores (uso da terra e transportes).

Esse Cenário nacional de Baixo Carbono foi construído de forma coordenada, de modo a garantir plena consistência entre os quatro principais setores considerados. Com o intuito de assegurar a transparência, os métodos e os resultados foram apresentados e discutidos em várias ocasiões com vários representantes de governo.²⁶ **Por outro lado, não existe a presunção de que esse Cenário de Baixo Carbono tenha explorado todas as opções possíveis para mitigação, ou que represente uma combinação preferida e recomendada.**

²⁶ Foram realizados três seminários nos últimos anos (14 a 16 de setembro de 2007, 30 de abril de 2008 e 19 de março de 2009) para apresentar e discutir a metodologia de estudo, os resultados intermediários e os resultados quase finais, com a participação de representantes de 10 ministérios. Equipes setoriais interagiram também em várias ocasiões com representantes de áreas técnicas e de agências públicas.

Este cenário, que simula o resultado combinado de todas as opções cobertas por este estudo, deve ser considerado como sendo modular – como um menu de opções – e não prescritivo, em especial já que a economia política pode revelar-se significativamente distinta entre setores ou regiões, o que faz com que determinadas opções de mitigação, que inicialmente possam parecer mais dispendiosas, sejam mais fáceis de ser aproveitadas do que outras, que no começo aparentem ser mais atraentes do ponto de vista econômico.

Esse Cenário de Baixo Carbono representa redução de 37% nas emissões brutas de GEE ao longo do período compreendido entre 2010 e 2030, em comparação com o Cenário de Referência. A redução cumulativa total das emissões durante o período chega a mais de 11,1 GtCO₂e, o que corresponde a cerca de 37% das emissões cumulativas observadas no Cenário de Referência. As projeções referentes às emissões brutas em 2030 são 40% mais baixas no Cenário de Baixo Carbono (1.023 MtCO₂e por ano), em comparação com o Cenário de Referência (1.718 MtCO₂e por ano) e 20% mais baixas do que em 2008 (1.288 MtCO₂e por ano – ver Tabela 2, Figura 1). Além disso, o plantio de florestas e a recuperação de reservas legais deverão sequestrar o equivalente a 16% das emissões verificadas no Cenário de Referência em 2030 (213 MtCO₂e por ano).²⁷

Tabela 2: Comparação da Distribuição das Emissões entre os Setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2008-2030

Setor	Referência 2008		Referência 2030		Baixo Carbono 2030	
	Mt CO ₂ e	%	Mt CO ₂ e	%	Mt CO ₂ e	%
Energia	232	18	458	26	297	35
Transporte	149	12	245	14	174	17
Resíduos	62	5	99	6	18	2
Desmatamento	536	42	533	31	196	19
Pecuária	237	18	272	16	249	24
Agricultura	72	5	111	6	89	11
Total Bruto de Emissões	1.288	100	1.718	100	1.023	100
Remoção de carbono	295	2	-21	-1	-213	21
Total Líquido de Emissões	1.259	98	1.697	99	810	79

As duas áreas onde o Cenário de Baixo Carbono proposto registra maior sucesso em termos de redução das emissões líquidas são a redução do desmatamento e o aumento da remoção de carbono. Os principais fatores impulsionadores são (i) a redução da extensão total de terras necessárias, através de ganhos significativos na produtividade da pecuária, para acomodar a expansão da agricultura e da produção de carne e (ii) o restauro das reservas legais de florestas e as florestas de produção para a produção de carvão vegetal renovável para a siderurgia. Até 2017, o Cenário de Baixo Carbono proposto reduziria o desmatamento em mais de 80%, em comparação com a média registrada no período de 1996 a 2005, garantindo assim a conformidade com o compromisso do governo brasileiro assumido em dezembro de 2008.

²⁷ Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 112MtCO₂ por ano, em média, reduzindo assim as emissões líquidas.

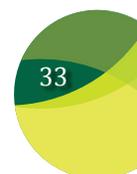
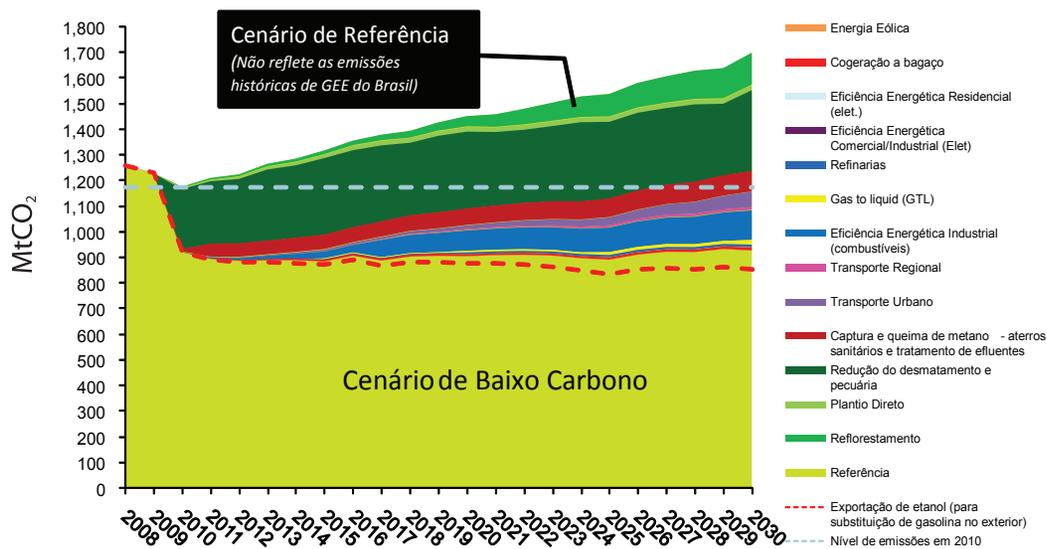


Figura 1: Diferenças de Mitigação de GEE no Cenário de Baixo Carbono, 2008–30



Nos setores de energia e de transportes, é mais difícil reduzir as emissões, uma vez que já estão em níveis baixos, de acordo com os padrões internacionais, o que é principalmente explicado pela hidroeletricidade e pelo bioetanol, como substituto para a gasolina na atual matriz energética. Conseqüentemente, a participação relativa desses setores nas emissões nacionais aumenta mais no Cenário de Baixo Carbono do que no Cenário de Referência.

Avaliação das Necessidades de Financiamento

A implementação das opções do Cenário de Baixo Carbono exigiria mais do que duas vezes o volume de financiamento necessário para as alternativas do Cenário de Referência – aproximadamente US\$725 bilhões em termos reais, em comparação com US\$336 bilhões de 2010 a 2030. A distribuição por setor é de US\$344 bilhões para energia, US\$157 bilhões para uso da terra, mudanças no uso da terra e florestas, US\$141 bilhões para transportes e US\$ 84 bilhões para manejo de resíduos.

Seria necessário em média mais US\$20 bilhões por ano em investimentos. Isso representaria menos do que 10% dos \$250 bilhões anuais em investimentos nacionais em 2008 (aproximadamente 19% do PIB²⁸), ou menos da metade dos \$42 bilhões em desembolsos de empréstimos feitos pelo BNDES e dois terços dos US\$30 bilhões em Investimento Direto Estrangeiro (IDE) no Brasil durante o ano de 2008. Essas necessidades comparam-se bem com o Plano de Aceleração do Crescimento do Governo do Brasil (PAC), que prevê despesas de \$504 bilhões de 2007 a 2010.

Para implementar os Cenários de Referência e de Baixo Carbono, há necessidade de investimentos, tanto do setor público quanto do setor privado. Considerando-se qualquer que seja o cenário, os setores de transporte e de resíduos exigem mais investimentos do setor privado do que hoje, enquanto o setor de energia continua a beneficiar-se da significativa participação do setor público; a potencial implementação de novas regras, ou a modificação das regras existentes, poderá favorecer um melhor emprego dos recursos (como GTL). No caso do setor de uso da terra, a redução de emissões do desmatamento continua a exigir intervenção

28 PIB de \$1,573 trilhões de acordo com o World Factbook da CIA.

do setor público, seja sob a forma de recursos especiais, como o Fundo da Amazônia, ou de ação legal para aplicação da legislação; ao mesmo tempo, a maior produtividade do setor de pecuária baseia-se em melhor acesso a financiamento, tanto do setor público quanto do privado. Da mesma maneira, o restauro das florestas através da observação da Lei de Reservas Legais exige ação do setor público e potencialmente maior participação do setor privado.

Para mobilização de investimentos do setor privado, seria preciso que os incentivos dessem um caráter mais atraente às opções de baixo carbono, em comparação com outras, mais convencionais. As opções de mitigação na área de transportes exigiriam o maior volume médio de incentivos por ano, ao nível aproximado de US\$9 bilhões, sendo seguidas pela área de energia, de US\$7 bilhões, resíduos, de US\$3 bilhões e LULUCF, de US\$2,2 bilhões. Por outro lado, a maior parte das medidas ligadas à eficiência energética não necessitaria incentivos.

Poucos dos muitos mecanismos e instrumentos de financiamento econômico do Brasil, hoje existentes, focalizam atividades relacionadas às mudanças climáticas. É possível que mecanismos não relacionados ao clima pudessem ser aplicáveis às opções de baixo carbono, da mesma forma que poderiam ser aplicados às alternativas do Cenário de Referência. Entretanto, sua disponibilidade, alcance, configuração e escala podem ser limitados, em especial quando aplicados a alternativas não convencionais. Muito embora os custos gerais possam não parecer exorbitantes quando se trata da implementação de um Cenário de desenvolvimento de Baixo Carbono, os recursos disponíveis para a implementação de atividades de mitigação podem não ser tão facilmente identificáveis ou suficientes ao nível específico de implementação dos projetos, ou os mecanismos de financiamento podem não ser apropriadamente definidos para tais opções. **Assim sendo, seriam necessários instrumentos e novas fontes específicos de financiamento, que promovessem a implementação das atividades propostas de mitigação.**

Enfrentando o Desafio do Cenário de Baixo Carbono

A implementação do Cenário de Baixo Carbono proposto exige que seja enfrentada uma variedade de desafios em cada uma das quatro áreas consideradas. A estratégia combinada de liberar áreas de pastagem e proteger florestas para reduzir o desmatamento a 83% dos níveis historicamente observados implica em cinco desafios principais. **Em primeiro lugar, os sistemas produtivos de criação de animais são muito mais intensivos em capital, tanto na etapa de investimento quanto em termos de capital de giro.** Fazer com que os pecuaristas migrem para esses sistemas significaria ter que oferecer-lhes grandes volumes de financiamento em condições atraentes, bem acima dos níveis atuais de oferta de crédito. Em outras palavras, grande volume de incentivos associados a critérios mais flexíveis de empréstimos, para que esse financiamento fosse viável, tanto para pecuaristas quanto para o sistema bancário. Uma primeira tentativa de estimar o volume de incentivos necessários sinaliza uma ordem de magnitude de US\$1,6 bilhão por ano, ou US\$34 bilhões durante o período. **Em segundo lugar, esses sistemas exigem níveis mais altos de qualificação do que o tipo tradicional de pecuária extensiva,** que está acostumado a passar para novas áreas tão logo a produtividade da pastagem se mostre degradada, eventualmente convertendo vegetação nativa em pasto. Assim sendo, o esforço de financiamento precisa ser acompanhado de um intenso desenvolvimento de serviços de extensão.

Um terceiro desafio tem a ver com evitar o efeito de rebote: níveis superiores de lucratividade oriundos da necessidade de menos terras para produzir o mesmo volume de carne poderiam desencadear incentivos para produzir mais carne e possivelmente converter mais florestas nativas em pasto. Um risco assim é especialmente alto em áreas onde tenham



sido abertas ou pavimentadas novas estradas. Portanto, é preciso que o incentivo oferecido seja seletivo, principalmente na região Amazônica. Somente deve ser concedido quando ficar claramente estabelecido, com base em títulos válidos e georreferenciados de propriedade da terra, que o projeto excluirá tanto a conversão de vegetação nativa em pasto, quanto áreas convertidas em anos recentes (por exemplo, há menos de cinco anos).

Em quarto lugar, várias opções atraentes no Cenário de Baixo Carbono, focalizadas em mitigar as emissões ou expandir a remoção de carbono, **ampliam a necessidade de liberar áreas de pastagem para evitar vazamento de carbono**. Por exemplo, se por um lado o replantio de floresta para atender à Lei das Reservas Legais funcionasse para remover grande quantidade de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, essa área já não estaria disponível para outras atividades. Uma quantidade adicional equivalente de pastagem teria que ser liberada, ou uma parte da produção teria que ser reduzida, ou mais floresta nativa seria eventualmente destruída em outro local. **Um tipo de obrigação legal mais flexível em relação às reservas florestais faria com que a meta para acomodar todas as atividades de agricultura, pecuária e florestais sem desmatamento fosse menos difícil de ser atingida, mas também poderia significar ao mesmo tempo uma menor remoção de carbono.**

No caso dos transportes urbanos, o principal desafio não é tecnológico, muito embora alguns ganhos de eficiência pudessem ainda resultar de inovações tecnológicas. Tecnologias de transporte de massa, opções não motorizadas de transporte e medidas de gestão da demanda são todas possibilidades disponíveis, e que já foram testadas na prática. **Na verdade, o principal desafio está na falta de financiamento e na necessidade de maior coordenação institucional.** Por exemplo, os mais de 5.000 municípios brasileiros administram independentemente os seus sistemas de transporte e de trânsito, o que dificulta a harmonização de planos e políticas públicas para todo o país. Além disso, sistemas de transporte de massa em áreas urbanas exigem grande quantidade de capital, o que impede que muitos municípios os implementem. Uma maneira de superar a capacidade limitada de investimentos do setor público é promover PPPs.

Em termos do transporte regional, atender as metas de transporte de fretes em um Cenário de Baixo Carbono exige melhor integração e parcerias entre concessionárias de ferrovias e entre as concessionárias e o governo, incluindo as agências reguladoras. Os vários modos de transporte são em geral operados pelo setor privado; assim sendo, para haver eficiência na sua integração, é preciso que haja infraestrutura e terminais, o que exige uma maior coordenação e apoio da parte das autoridades públicas. Com relação à região Amazônica, a abertura de novas estradas nas florestas pode resultar em maior desmatamento e, portanto, mais emissões. Para o sucesso de políticas públicas que envolvam projetos de transferência intermodal, mitigando impactos negativos, é necessário que haja planejamento adequado, alocação apropriada de recursos, bem como medidas para facilitar o financiamento dos grandes investimentos indispensáveis para a construção e adaptação da infraestrutura necessária.

Com relação à substituição ainda mais intensa da gasolina pelo bioetanol, o principal desafio é garantir que os sinais de preços de mercado estejam alinhados a esse objetivo. A maior parte dos carros novos produzidos no Brasil é de combustível *flex*, podendo por definição ser abastecidos com etanol ou gasolina, indistintamente. Os sinais de preços do mercado são fatores cruciais para a determinação da alta participação de mercado do etanol. Devido à alta volatilidade dos preços do petróleo, é necessário desenhar e implementar um mecanismo financeiro para absorção dos choques de preço e manutenção da atratividade do etanol para os proprietários de veículos.

No caso do setor de energia, os principais desafios relativos à mitigação das emissões não envolvem apenas a implementação das medidas propostas no Cenário de Baixo Carbono; algumas premissas em que se baseia o Cenário de Referência exigem também esforços importantes. No Cenário de Baixo Carbono, baixa intensidade de carbono do setor de energia resulta do nível já baixo no Cenário de Referência. O PNE 2030 projeta que a hidroeletricidade responderá com mais de 70% da geração de energia em 2030, o que implica em aumentar a capacidade de geração a um ritmo ainda não registrado.

A participação da hidroenergia em novos leilões de energia vem sendo limitada devido ao processo de licenciamento ambiental. Como resultado, aumentou a participação de usinas elétricas a óleo combustível, diesel e até mesmo das baseadas em carvão. Entre as medidas a serem tomadas para melhorar a eficiência do processo de licenciamento ambiental para a geração de hidroeletricidade, poderiam incluir-se (i) garantir que planos, programas e políticas do setor de eletricidade levem em consideração fatores sociais e ambientais, juntamente com os aspectos econômicos, financeiros e técnicos; (ii) promover e estabelecer mecanismos para a solução de litígios entre os atores do processo de licenciamento; (iii) preparar um guia de operações, que defina as abordagens usadas durante o processo e (iv) construir capacidade técnica e expandir e diversificar as qualificações profissionais das agências ambientais.²⁹

O controle do potencial de mitigação da eficiência energética de acordo com o Cenário de Baixo Carbono exige a exploração plena das opções oferecidas pela estrutura legal e institucional existente. Ainda que lento, houve progresso na implementação da lei de eficiência energética, e vários mecanismos que promovem essa eficiência consideram as necessidades de todos os grupos de consumidores (por exemplo, leilões planejados pelo PROCEL, CONPET e pela EPE). Essas iniciativas oferecem a possibilidade de criar um mercado sustentável de eficiência energética. Os principais problemas a serem enfrentados são (i) as distorções de preços que introduzem desincentivos para a conservação de energia e (ii) a separação dos esforços em prol da eficiência energética das instituições de eletricidade e de óleo e gás. Seria possível alcançar uma melhor coordenação através de uma comissão responsável pelo desenvolvimento de ambos os programas.

Para a cogeração de bagaço e para a energia eólica, a principal barreira à implementação é o custo de interconexão com a rede de subtransmissão, às vezes distante ou com restrições de capacidade. Caso esse custo continue a ser integralmente pago respectivamente pelas usinas de açúcar e pelas usinas eólicas, a contribuição da cogeração e da energia eólica provavelmente permanecerá baixa, o que resultará na participação de um número maior de alternativas baseadas em combustíveis fósseis. A questão crucial é como financiar a rede necessária. Um programa ambicioso de desenvolvimento de rede inteligente poderia ajudar a otimizar a exploração desse promissor – mas distribuído – potencial de geração de baixa intensidade em carbono.

Com relação ao setor de resíduos, **tanto o manejo de resíduos sólidos quanto líquidos enfrentam alto nível de complexidade e descentralização institucional, o que faz com que seja mais difícil alavancar o grande volume necessário de recursos financeiros.** A expansão de formas adequadas de coleta, tratamento e descarte, juntamente com ações para evitar emissões, exigiria mais coordenação intermunicipal, regulamentos claros e PPPs, juntamente com a continuação de incentivos baseados no carbono para a destruição ou o uso do gás gerado por aterros sanitários.

²⁹ Ver “Licenciamento Ambiental para Projetos de Hidroeletricidade no Brasil: Uma Contribuição para o Debate”, Relatório Sumário. Unidade de Administração de Países do Banco Mundial, 28 de março de 2008.

Comentários Finais

O Brasil possui muitas oportunidades em relação à mitigação e a remoção das emissões de GEE na atmosfera. Isso coloca o país na posição de um dos principais atores capazes de enfrentar o desafio representado pela mudança climática global. O presente estudo conseguiu demonstrar que toda uma série de medidas de mitigação e remoção de carbono são tecnicamente viáveis, e que já estão em curso esforços promissores. **Por outro lado, a implementação dessas medidas propostas exigiria grandes volumes de investimentos e de incentivos, que podem estar além de uma resposta estritamente nacional, exigindo suporte financeiro internacional. Além disso, para que o Brasil possa aproveitar todo o leque de oportunidades para mitigação das emissões de GEE, não seriam suficientes mecanismos de mercado. Políticas públicas e planejamento seriam essenciais, com o gerenciamento da competição pela terra e a proteção das florestas no seu cerne.**

The left side of the page features a large, abstract graphic composed of several overlapping, curved shapes in various shades of green and yellow. The colors range from a deep forest green to a bright, almost white yellow. The shapes are layered, creating a sense of depth and movement. The overall effect is a modern, organic design that complements the text on the right.

Capítulo 1

Introdução

A necessidade urgente de combater a mudança climática global já está firmemente estabelecida. Um volume impressionante de evidências científicas, incluindo o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC 2007) e uma recente análise da economia da mudança climática, liderada por Nicholas Stern (Stern 2007), sublinham os riscos severos para o mundo natural e para a economia global. De acordo com Stern, serão as nossas decisões sobre como desejamos viver durante os próximos 20 a 30 – como tratamos as florestas, como geramos e usamos energia e como organizamos os transportes – que irão determinar se os riscos da mudança climática global poderão continuar a ser administráveis. (Stern 2009).

1.1 Administrando o Risco: Níveis das Metas

O fato de não conseguirmos manter as concentrações dos gases geradores do efeito estufa (GEE) abaixo de determinados níveis envolveria grande risco para o nosso planeta. Estudos recentes propuseram vários níveis de metas, todas considerando as emissões como atingindo o seu pico muito em breve. O IPCC (2007) concluiu que para estabilizar as concentrações de GEE em 550 partículas por milhão (ppm) – o nível ao qual pode ser possível reter o aumento da temperatura global média abaixo de 3°C acima dos níveis pré-industriais³⁰ – seria preciso que as concentrações atingissem o pico até 2030, para em seguida cair drasticamente até 2050; nesse cenário, o IPCC estima que as emissões globais necessitariam ser reduzidas a cerca de 29 GtCO₂ e até 2030.

Um outro estudo recentemente concluído, realizado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), projeta emissões para 61,5 GtCO₂ e até 2030. Nesse cenário, as emissões anuais dos países do Anexo I (industrializados) cresceriam de 21 GtCO₂ e para apenas 22.1 GtCO₂ e até 2030,³¹ enquanto o grosso das emissões globais – 50 a 70% do potencial de mitigação de emissões – viria dos países de fora do Anexo I (em desenvolvimento). Apesar da faixa de incerteza, fica claro que os países em desenvolvimento têm um papel crucial a desempenhar na conformação das políticas internacionais e nas ações para reduzir emissões à escala necessária.

1.2 O Contexto Brasileiro: Função Crucial das Florestas e de Outros Setores

Sem a presença do Brasil para desempenhar uma função proeminente, é difícil imaginar uma solução efetiva para a estabilização das concentrações de GEE na escala necessária. A floresta tropical amazônica, que cobre mais da metade do país, é um reservatório de cerca de 100 bilhões de toneladas de carbono, sequestrando mais de 10 vezes o volume de carbono emitido globalmente todos os anos. Considerando as enormes áreas florestais do Brasil – inferiores apenas às encontradas na Indonésia – talvez não seja surpreendente constatar que a maior parte das emissões oriundas de desmatamento venha desses dois países.

Ao mesmo tempo, o Brasil muito provavelmente deverá sofrer os efeitos adversos da mudança do clima. De acordo com sugestões de alguns modelos avançados, grande parte da porção oriental da região amazônica poderá ter sido transformada em ecossistema semelhante à savana antes do final do século. Esse fenômeno, conhecido como Colapso da Amazônia (*Amazon Dieback*), combinado aos efeitos de mais curto prazo do desmatamento através de queimadas, poderia reduzir a ocorrência de chuvas nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, o que redundaria em produtividade menor da

30 Ou aproximadamente 2,5°C acima do nível do início dos anos 2000.

31 Mais detalhes estão disponíveis em http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/time_series_annex_i/items/3814.php

agricultura e menor disponibilidade de água para geração de hidroeletricidade³².

Sendo o maior país tropical do mundo, o Brasil mostra-se singular quanto ao seu perfil de emissões de gases do efeito estufa (GEE). Em décadas passadas, a disponibilidade de grandes volumes de terras para cultivo e pastagem ajudou a transformar a agricultura e a pecuária em setores cruciais para a sustentação do crescimento econômico do país. Durante os últimos dez anos, esses dois setores responderam por uma média de 25% do PIB nacional. A expansão constante da área necessária para agricultura e pastagem exigiu ainda a conversão de mais terras nativas, fazendo da mudança do uso da terra a principal fonte de emissões de GEE atualmente existente no país. Ao mesmo tempo, o Brasil utilizou os recursos naturais, tão abundantes em seu vasto território, na exploração e no desenvolvimento de energias renováveis, tendo construído várias usinas hidrelétricas de grande porte e expandido a produção do bioetanol como substituto da gasolina, o que, por sua vez, explica a baixa intensidade de carbono na matriz energética do país.

Além do uso da terra, das mudanças no uso da terra e das florestas (sigla inglesa LULUCF), o Brasil responde apenas por 2,3% das emissões globais de GEE, sendo que até poucos anos atrás, esse percentual costumava subir mais 3% quando se considera a parte correspondente a LULUCF.³³ Na verdade, o setor de LULUCF é central, tendo sido responsável por cerca de dois terços das emissões brutas de CO₂ e no Brasil (2008), sendo dois terços desse valor resultantes somente do desmatamento. Em contraste, o setor brasileiro de energia revela uma intensidade de carbono *per capita* de apenas 1.9 tCO₂ por ano – cerca da metade da média global e menos de um quinto da média dos países da OCDE. Não fosse pelos grandes investimentos em energia renovável realizados pelo Brasil no passado, a atual matriz energética do país seria muito mais intensiva em carbono, com presumivelmente o dobro da quantidade de emissões geradas pelo setor de energia, e elevando em 17% as emissões nacionais.

São quatro os principais setores a contribuírem para as emissões de GEE no Brasil. O primeiro, e o mais importante, é o setor de LULUCF, que engloba as dimensões referentes às florestas descritas acima. Além disso, existem outros três setores importantes quanto às emissões que produzem: (i) energia, (ii) transportes e (iii) manejo de resíduos. No ano de 2008, as respectivas contribuições em emissões desses três setores foram de 18, 14 e 5 por cento. Muito embora a contribuição do manejo dos resíduos tenha sido baixa em 2008, registrou aumento de mais de 60% ao longo das duas últimas décadas.

1.3 Compromisso Nacional para o Combate à Mudança do Clima

Há muito tempo a mudança climática vem sendo uma parte vital da agenda nacional do Brasil. No mês de junho de 1992, o país sediou a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Cúpula da Terra do Rio, que resultou na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC – e, posteriormente, no Protocolo de Quioto. Desde então, o Brasil vem desempenhando papel ativo no diálogo internacional sobre mudança climática. Em 2007, o governo brasileiro criou a Secretaria de Mudança Climática, subordinada ao Ministério do Meio Ambiente. No ano seguinte, o Presidente Luiz Inácio Lula da Silva lançou o Plano Nacional de Mudança Climática (PNMC),³⁴ que colocou o tema na vanguarda da agenda nacional. No dia 29 de dezembro de 2009, o Parlamento Brasileiro aprovou

32 “Assessment of the Risk of Amazon Dieback”, Banco Mundial, 2010.

33 O alinhamento dos métodos usados para a contabilidade de remoção de carbono no Brasil aos adotados por outros países pode afetar essas percentagens.

34 O PNMC está baseado no trabalho da Comissão Interministerial sobre Mudança Climática e de seu Grupo Executivo, em colaboração com o Fórum Brasileiro sobre Mudança Climática e organizações da sociedade civil.

a Lei 12,187, que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil, assim como um conjunto de metas voluntárias de redução dos gases de efeito estufa, entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020.

Da mesma forma que outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta o duplo desafio de estimular o desenvolvimento e, ao mesmo tempo, reduzir as emissões. O Presidente Lula expressou essa preocupação na apresentação que fez do PNMC, quando declarou que quaisquer ações para evitar emissões futuras de GEE não deveriam afetar adversamente os direitos dos pobres ao desenvolvimento, que na verdade nada fizeram para causar o problema. Reconhecendo a necessidade de uma via de baixo carbono que o leve ao desenvolvimento, o Brasil optou por beneficiar-se do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um mecanismo financeiro inovador originalmente proposto pelo próprio país, que aparece definido no Artigo 12 do Protocolo de Quioto.³⁵ Até os dias de hoje, o Brasil já deu início a mais de 300 projetos de acordo com o MDL.

1.4 Objetivo e Abordagem do Estudo

Para dar suporte ao esforço integrado do Brasil em reduzir as emissões de GEE e promover o desenvolvimento econômico de longo prazo, o objetivo deste estudo foi construir um Cenário de Baixo Carbono transparente e internamente consistente, que o governo brasileiro pudesse usar como ferramenta para avaliar as contribuições necessárias para preparar um caminho de baixo carbono em direção ao crescimento.³⁶

1.4.1 Visão Geral do Método

A equipe do estudo analisou oportunidades em cada um dos quatro setores identificados (Tabela 1.1). Construiu o Cenário de Referência até o ano de 2030, com base nas projeções atuais e em exercícios de modelagem disponíveis para cada um dos setores. No caso dos setores de energia e de transportes, a equipe utilizou planos de longo prazo, nacionais e de cidades.³⁷ Uma vez que não havia planos semelhantes para os setores de LULUCF e de gestão de resíduos, foram desenvolvidos novos modelos e conjuntos de equações, consistentes com as projeções macroeconômicas e demográficas dos setores de energia e de transportes, até o ano de 2030.³⁸ Para o setor de LULUCF, a equipe usou dois modelos complementares: (i) o Modelo Brasileiro de Uso da Terra (BLUM, sigla em inglês), um modelo econométrico para a projeção de utilização futura da terra para agricultura, desenvolvido pelo Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (ICONE) e (ii) o SIM Brasil, um modelo de espacialização georreferenciado para a alocação de uso da terra a locais e anos específicos, desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Para o setor de manejo de resíduos, a equipe trabalhou com a

35 O MDL permite que países que não constem do Anexo I desenvolvam atividades de projetos que reduzam as emissões de GEE. Essas emissões, por sua vez, podem ser certificadas e adquiridas por países do Anexo I, para atender aos compromissos assumidos por eles de acordo com o Protocolo de Quioto.

36 Este estudo é um dos cinco estudos de caso de país em contribuição para a preparação da Estrutura de Investimento em Energia Limpa (*Clean Energy Investment Framework*, CEIF).

37 No caso do setor de energia, a equipe baseou-se no Plano Nacional de Energia, desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), instituição pública subordinada ao Ministério das Minas e Energia (MME). Para o setor de transportes, a equipe recorreu ao Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), do governo brasileiro, ao Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) e a planos de logística urbana e transportes desenvolvidos pelas principais cidades.

38 Para as emissões relacionadas ao desmatamento, a equipe baseou-se nos exercícios de modelagem do sistema SimAmazônia, calibrado através de dados históricos de satélites (Soares et al. 2006) e estendeu essa modelagem para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica. Para as emissões geradas pela agricultura e pela pecuária, a equipe trabalhou com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), instituição pública que desenvolveu extenso trabalho baseado em emissões geradas pela pecuária e pelo uso da terra.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), para desenvolver conjuntos de equações para modelagem da gestão dos resíduos.

Tabela 1.1: Sumário do Método de Estudo, por Setor

<i>Etapa*</i>	<i>LULUCF</i>	<i>Energia</i>	<i>Transportes</i>	<i>Manejo de Resíduos</i>
1. Construção do Cenário de Referência	Projeção do uso da terra e das mudanças no uso da terra (consistente com biocombustíveis líquidos e sólidos projetados) (desenvolvimento de modelagem de uso da terra geoespacialmente explícita), desmatamento (adaptação de modelagem existente) e emissões.	Projeção da demanda de energia (consistente com a demanda em outros setores) (utilizando projeções do Modelo para Análise da Demanda de Energia - MAED); <i>mix</i> otimizado da oferta de energia (usando projeções do MESSAGE – <i>Mobile Environmental Sensing System Across Grid Environments</i> , do Reino Unido) e emissões.	Projeção das demandas de transporte regional e urbano, da participação dos modais no transporte regional e urbano (usando modelagem do TRANSCAD – <i>Transportation Computer-Assisted Design</i>), <i>mix</i> de combustíveis para os modais de transporte e emissões (usando adaptação da modelagem COPERT).	Projeção da produção de resíduos e efluentes, teor de carbono e potencial de metano (CH ₄), <i>mix</i> da disposição de resíduos e efluentes e emissões.
2. Exploração das opções de mitigação e remoção de carbono	Análise das opções para redução da pressão do desmatamento e da proteção de florestas, mitigação de emissões da agricultura e da pecuária e remoção de carbono; realização de análise econômica (custo de abatimento) das opções propostas.	Análise das opções para administrar a demanda e reduzir a intensidade de carbono na oferta; realização de análise econômica (custo de abatimento) das opções propostas.	Análise das opções para melhorar a eficiência do transporte regional e expandir os modais interurbanos com baixo teor de carbono; melhoria da eficiência do transporte urbano e expansão dos modais urbanos com baixo teor de carbono; e migração para biocombustíveis. Realização de análise econômica (custo de abatimento) das opções propostas.	Análise das opções para redução da produção de efluentes e resíduos e expansão do emprego de modos de coleta e disposição com baixo carbono; realização de análise econômica (custo de abatimento) das opções propostas.
3. Avaliação da viabilidade das opções identificadas	Identificação de barreiras que limitem ou evitem a implementação das opções analisadas, co-benefícios ambientais e econômicos e medidas para superá-las.	Identificação de barreiras que limitem a implementação da administração da demanda de energia e das opções de mitigação de emissões analisadas, co-benefícios ambientais e econômicos e medidas para superação das barreiras.	Identificação de barreiras que limitem a implementação de modais de baixo carbono e eficientes para transporte urbano e regional e co-benefícios ambientais e econômicos e medidas para superação das barreiras.	Identificação de barreiras que limitem a implementação da redução da produção de efluentes e resíduos e de modos de disposição de resíduos e de efluentes com baixo carbono, além de co-benefícios ambientais e econômicos e medidas para superação das barreiras.
4. Construção do Cenário de Baixo Carbono	Projeção de novos usos da terra e mudanças no uso da terra (incluindo terra adicional necessária para opções de mitigação e remoção de carbono), estimativa da redução de desmatamento e projeção da redução de emissões.	Revisão da demanda de energia (incluindo um novo <i>mix</i> de combustíveis do transporte); definição de um <i>mix</i> de energia de baixo carbono novo e internamente consistente para a oferta de energia; e projeção de redução de emissões.	Projeção da nova demanda de transportes (consistente com um novo uso da terra), nova distribuição de modais para transporte urbano e regional, novo <i>mix</i> de combustíveis e redução de emissões.	Projeção de nova produção de resíduos e efluentes, novo teor de carbono e potencial de CH ₄ , novo <i>mix</i> de modos de disposição de resíduos e efluentes e redução de emissões.

Em seguida, a equipe do estudo passou a explorar opções de mitigação e remoção de carbono. Para cada setor, fez-se uma triagem dos subsetores relevantes, para identificação das principais opções técnicas para a redução de GEEs até 2030; a equipe classificou essas opções quanto ao incremento de custos, para em seguida compará-las às opções do Cenário de Referência. A equipe adaptou o conceito de “cunha” desenvolvido por Pacala e Socolow (2004), que expande uma única área ou tecnologia para chegar a reduções significativas nas GEE, que possam ser deduzidas do Cenário de Referência. Devido à natureza sistêmica dos setores de LULUCF e de transportes, a equipe constatou que não seria apropriado adotar uma pura abordagem de cunha e desenvolveu uma abordagem de modelagem específica.³⁹ Para o setor de LULUCF, foi analisado o potencial do país para grande volume de remoção de carbono e para evitar emissões de GEE em outros países, através da expansão das exportações de etanol.

Para determinar a viabilidade das opções de mitigação e remoção de carbono identificadas, a equipe do estudo avaliou o acréscimo de custos envolvidos nas opções técnicas no Cenário de Baixo Carbono e as comparou com as do Cenário de Referência. Para as opções de baixo carbono que se mostravam teoricamente mais custo-eficientes, foram identificadas as principais barreiras à sua adoção, sendo propostas medidas para superá-las. Considerando que muitas das opções propostas não eram custo-eficientes e que enfrentariam dificuldades de financiamento, a equipe avaliou o volume de suporte necessário para garantir o seu financiamento ou competitividade.

A última etapa foi a construção do Cenário de Baixo Carbono, um agregado das conclusões diversificadas dos setores e subsetores. Para assegurar a consistência das estimativas de mitigação e de remoção de carbono, evitando conflitos ou dupla contagem, a equipe preparou um Cenário indicativo de Baixo Carbono: o cenário desenvolvido não é uma projeção do inventário completo das emissões de GEE brasileiras, além de não ter a pretensão de capturar 100 por cento de todas as fontes de emissões de GEE.⁴⁰ Na verdade, até onde foi possível, a equipe desenvolveu e empregou ferramentas de modelagem que permitiriam construir outros Cenários de Baixo Carbono, de forma modular.⁴¹ Ainda, para analisar as potenciais compensações que tal Cenário de Baixo Carbono poderia implicar, em termos de sustentabilidade setorial, a equipe pesquisou os potenciais impactos macroeconômicos envolvidos na migração do Cenário de Referência para o de Baixo Carbono (Tabela 1.1).

1.4.2 Um Processo Consultivo e Interativo

O estudo enfatizou duas importantes dimensões. Em primeiro lugar, até onde foi possível, baseou-se na literatura e em estudos existentes, de forma a efetivamente alavancar a riqueza da informação existente. Em segundo lugar, o processo enfatizou uma abordagem consultiva, interativa, que envolveu longas discussões e trocas com especialistas do campo e com representantes do governo brasileiro (Anexo B). A equipe realizou extensa pesquisa da literatura e, através de um amplo processo de consultas, reuniu-se com mais de 70 reconhecidos

39 Possíveis efeitos de feedback dos impactos das alterações climáticas sobre a mitigação e oportunidades de remoção de carbono não foram incorporados na modelagem nesta fase do estudo.

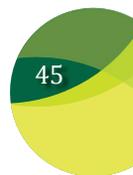
40 Por exemplo, não são contabilizadas aqui fontes industriais de óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF_6) e outros gases GEE não contemplados pelo Protocolo de Quioto. Na ausência de inventário completo recente, não é possível determinar com precisão a participação de outras fontes no balanço nacional de GEE. Por outro lado, com base na primeira Comunicação Nacional do Brasil (1994), imagina-se que não excedam 5% do total de emissões de GEE cobertas pelo Protocolo.

41 Considerando as várias possíveis combinações e o fato de que pode ser possível ou não a superação de determinadas barreiras, em especial as relacionadas aos custos mais altos e ao financiamento, este Cenário de Baixo Carbono deve ser considerado como sendo um entre outros, que poderiam também ser simulados.

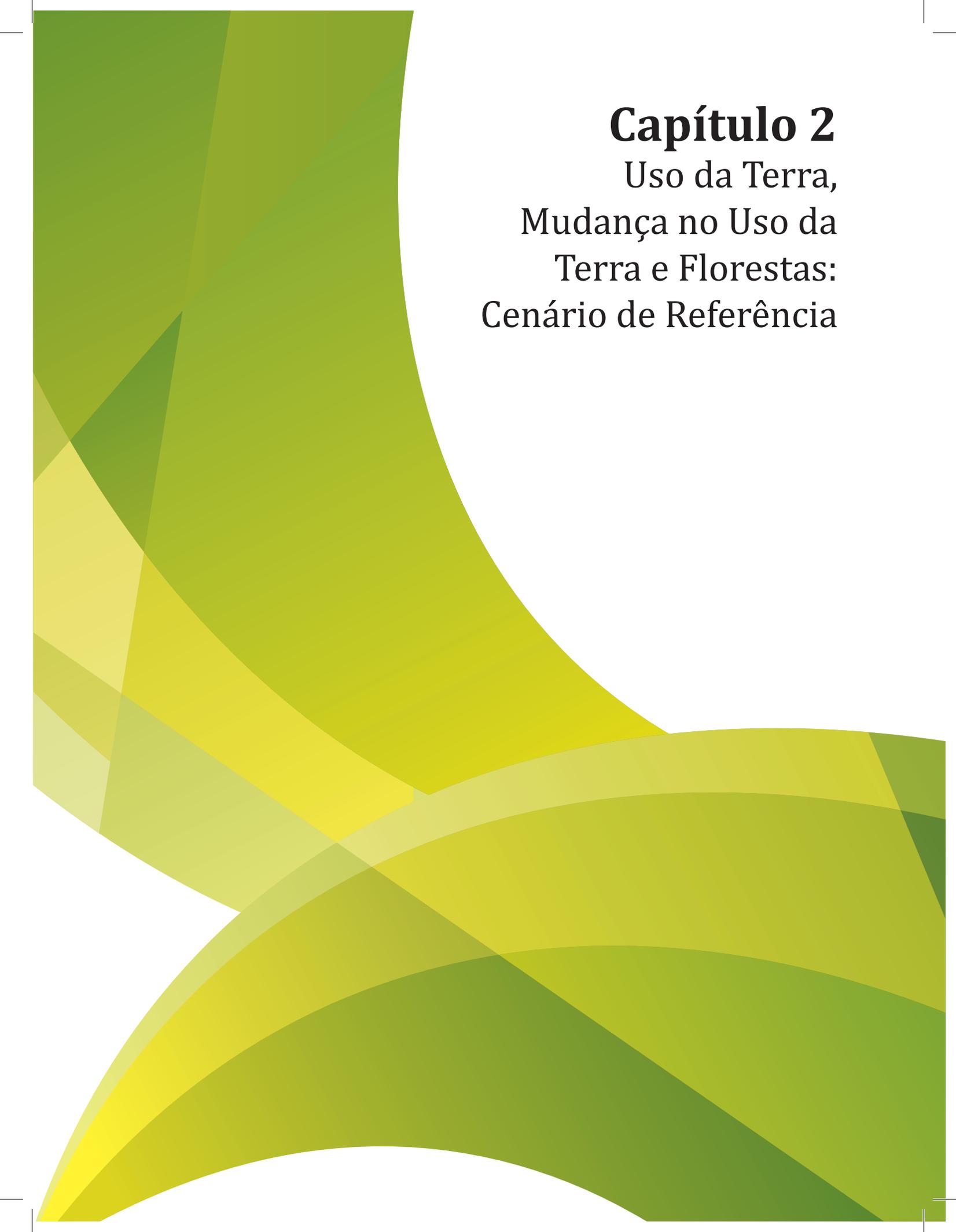
especialistas brasileiros, técnicos e representantes do governo. O processo consultivo, combinado ao amplo conhecimento do Banco Mundial sobre as instituições brasileiras, permitiu que a equipe construísse parcerias com centros de excelência reconhecidos por sua experiência nacional e internacional nesses setores.

1.5 Estrutura deste Relatório

Os Capítulos 2 a 6 descrevem os resultados do estudo para os quatro setores analisados. Os resultados referentes ao setor de LULUCF estão divididos em dois capítulos: o Capítulo 2 apresenta os resultados do Cenário de Referência, enquanto o Capítulo 3 descreve o Cenário de Baixo Carbono. Os Capítulos 4 a 6 descrevem os Cenários de Referência e de Baixo Carbono para os setores de energia, transportes e resíduos, respectivamente, enquanto o Capítulo 7 exibe a análise econômica para as várias opções de mitigação e remoção de carbono usadas para construí-los. O Capítulo 8 apresenta o Cenário nacional de Referência e o Cenário de Baixo Carbono proposto, com base nos resultados agregados dos quatro setores. Um anexo de mapas e um banco de dados eletrônico detalham os resultados por estados. Em seguida, o Capítulo 9 avalia as necessidades de financiamento do Cenário de Baixo Carbono proposto. Finalmente, o Capítulo 10 descreve os principais desafios referentes à sua implementação.







Capítulo 2

Uso da Terra,
Mudança no Uso da
Terra e Florestas:
Cenário de Referência

As florestas do Brasil representam enorme estoque de carbono. A Amazônia, reservatório de cerca de 47 bilhões de toneladas de carbono⁴², sequestra permanentemente mais de 10 vezes o volume emitido globalmente a cada ano. Ao mesmo tempo, em 2010, o Brasil era o segundo maior emissor de dióxido de carbono (CO₂) como resultado do desmatamento – fenômeno com frequência causado pela necessidade de converter terras em áreas de produção agrícola e de pastagem para pecuária.⁴³

Algo que não é surpreendente é que o setor de uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (LULUCF) responde por mais de dois terços das emissões brutas de CO₂ e do Brasil; desse volume, cerca de dois terços resultam do desmatamento, sendo o restante originário da produção agrícola e da pecuária. A conversão de floresta para outros usos da terra resulta em emissões de GEE provenientes dos solos, enquanto o processo digestivo de ruminantes resulta em emissões de metano (CH₄). Um desafio importante desse setor é identificar as oportunidades para controlar o balanço líquido de emissões de GEE oriundas do desmatamento e promover o crescimento econômico.

Este capítulo descreve o histórico e o desenvolvimento do Cenário de Referência do LULUCF. A Seção 2.1 explica como o LULUCF afeta as emissões de GEE, enquanto a Seção 2.2 descreve em linhas gerais a abordagem integrada de modelagem adotada e estima o uso futuro da terra para produção agrícola e para pecuária, além da mudança projetada do uso da terra, como resultado do desmatamento. Em seguida, a Seção 2.3 apresenta uma estimativa das emissões de GEE resultantes dessas atividades, bem como do potencial de remoção de carbono. Finalmente, a Seção 2.4 apresenta os resultados de emissões para o cenário de referência.

2.1 Efeitos do Uso da Terra e da Mudança no Uso da Terra sobre as Emissões

Existem três maneiras principais através das quais o uso da terra e as mudanças no uso da terra contribuem para as emissões de carbono: (i) conversão de terras florestais para outros usos da terra (agricultura, pastagens, assentamentos etc.), (ii) a produção agrícola e (iii) a pecuária. Além disso, o carbono absorvido através das atividades de reflorestamento afeta os níveis líquidos de GEE.

2.1.1 Desmatamento

De acordo com os resultados deste estudo, em 2008, o desmatamento respondeu por 40% das emissões brutas do Brasil. Quando a biomassa da floresta é destruída, principalmente através de queimadas e decomposição, o carbono é lançado na atmosfera. O Brasil vem convertendo áreas cobertas de floresta a um ritmo acelerado (aproximadamente 420.000 km² durante os últimos 20 anos). A Amazônia perdeu cerca de 18% de sua cobertura florestal original entre 1970 e 2007, o Cerrado perdeu cerca de 20% de sua área original entre 1990 e 2005, enquanto a Mata Atlântica perdeu em torno de 8% durante o mesmo período (INPE 2009). Entre 1990 e 2005, o estoque de carbono do Brasil foi reduzido em 6 milhões de toneladas métricas, em grande parte como resultado do desmatamento⁴⁴, volume que equivale a um ano de emissões globais, combinando-se todas as fontes.

Desde que atingiram o máximo de 27.772 km² durante o período 2004-05, as taxas de desmatamento brasileiras vêm experimentando queda acentuada, chegando a 11.200 km² em 2007, a segunda taxa histórica anual mais baixa estimada pelo programa de avaliação do desmatamento (PRODES, desde 1998,

42 Phillips et alii, 2009: "Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest" in *Science*.

43 Erin C. Myers Madeira: "Policies to Reduce Emissions from Deforestation and Degradation (redd) in Developing Countries", RFF, December 2008.

44 National Plan for Climate Change, p.67

de acordo com o INPE 2008)⁴⁵. Esta queda se acentuou nos últimos anos. Em parte, esse declínio reflete a valorização da moeda brasileira, o real (R\$), em comparação com o dólar dos Estados Unidos (US\$), o que fez com que a produção baseada em exportações se tornasse menos lucrativa. A implementação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAM), a melhor aplicação da legislação ambiental através de maior capacidade de monitoramento, além de políticas mais rigorosas de conservação, são fatores que contribuíram para essa redução.⁴⁶

Ainda que por um lado a dinâmica especial da expansão da pecuária e da agricultura na Amazônia determine o padrão do desmatamento ao nível regional, esse mesmo desmatamento é também afetado por uma dinâmica mais ampla. São forças nacionais e internacionais de mercado que impulsionam o desenvolvimento dos setores de carne e de agricultura no Brasil. Dependendo das tendências dos preços, toda uma linha de atividades agrícolas e de pecuária compete pela terra. Muitos estudos geográficos já demonstraram que a dinâmica espacial resultante tem escala nacional. Ao longo dos últimos trinta anos, verificou-se uma expansão do cultivo da soja de mais de 1.500 quilômetros, de Sul para Norte (de Gouvello, 1999).

Uma recente análise geo-estatística mostra que a pecuária é o principal fator que impulsiona o desmatamento, seguido pela expansão da produção agrícola, muito embora outros fenômenos, como a migração, a abertura de estradas pavimentadas e a especulação fundiária também contribuam (Soares-Filho et al. 2009).

2.1.2 Produção Agrícola

As emissões de GEE geradas pela produção agrícola são principalmente causadas por modificações nos estoques de carbono no solo e, em menor intensidade, por fertilizantes e resíduos, pelo cultivo de arroz irrigado de várzea, pela queima de resíduos agrícolas e pelo uso de combustíveis fósseis nas operações agrícolas. De acordo com os resultados deste estudo, em 2008, as emissões diretas oriundas da agricultura responderam por cerca de 6% das emissões nacionais brutas. A variação no estoque de carbono do solo corresponde à perda de matéria orgânica no solo, como resultado de um uso específico da terra.

2.1.3 Pecuária

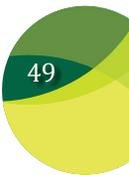
A principal fonte de emissões oriundas da pecuária no Brasil é o metano (CH₄) gerado pelo processo digestivo dos ruminantes. De acordo com os resultados deste estudo, em 2008, as emissões diretas da pecuária responderam por cerca de 18 por cento das emissões nacionais brutas, estando predominante relacionadas à criação de gado de corte. De acordo com a Comunicação Nacional Inicial à Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, em 1994 as emissões de metano provenientes do gado de corte foram responsáveis por mais de quatro quintos do total de emissões entéricas geradas pela pecuária brasileira. Assim sendo, este estudo deu ênfase às emissões e às alternativas de mitigação referentes a esse setor.

2.1.4 Remoção de carbono baseado na Silvicultura

Além das fontes de emissões de GEE associadas ao uso da terra e à mudança no uso da terra, as árvores removem CO₂ da atmosfera e armazenam carbono no tronco, galhos, folhas,

45 11,030 km² em 1990

46 No período de 2003 a 2007, por exemplo, foram criadas 148 áreas protegidas, cobrindo 640.000 km².



flores e frutos, assim gerando emissões negativas.⁴⁷ No Brasil, a remoção de carbono ocorre principalmente na recuperação natural de florestas degradadas e nas florestas de produção. De acordo com os resultados deste estudo, em 2008, estimou-se que a remoção de carbono florestal de deslocamento representa cerca de 4% das emissões nacionais brutas.

2.2 Modelando o Uso da Terra e as Mudanças no Uso da Terra

Esta seção focaliza a modelagem das emissões e os resultados do Cenário de Referência do LULUCF. A Seção 2.2.1 enfatiza a abordagem econômica e geoespacial de modelagem, usada para estabelecer o modelo. A Seção 2.2.2 apresenta os resultados de modelagem para o uso projetado da terra devido à produção agrícola e à pecuária. Finalmente, a Seção 2.2.3 estima as mudanças no uso da terra como resultado do desmatamento.

2.2.1 Modelos Econômicos e Geoespaciais

Para explorar as opções de mitigação das emissões originadas pelo desmatamento, é preciso primeiro projetar o desmatamento futuro, o que, por sua vez, exige simular o uso futuro da terra e a mudança nesse uso. Para estabelecer o Cenário de Referência, o estudo desenvolveu dois modelos: i) o Modelo Brasileiro de Uso da Terra (BLUM⁴⁸) (Quadro 1) e o (ii) SIM Brasil (Quadro 2), modelos complementares que foram usados sequencialmente. O BLUM projetou o uso da terra e de mudanças no uso da terra até o ano de 2030, enquanto o SIM Brasil, em seguida, alocou esse uso da terra e essa mudança no uso da terra a locais e anos específicos.

Quadro 2.1 Projetando o Uso da Terra para Cultivos até 2030: (*Brazil Land Use Modeling – BLUM*)

O Modelo Brasileiro do Uso da Terra (BLUM), um modelo econométrico de equilíbrio parcial desenvolvido pelo Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (ICONE), opera a dois níveis: (i) oferta e demanda dos cultivos finais e (ii) alocação de terras para produtos agrícolas, pastagem e florestas de produção. A oferta e a demanda são calculadas simultaneamente, de acordo com o princípio microeconômico do equilíbrio de mercado, que indica que a oferta é igual à demanda por cada produto. Esse equilíbrio ocorre quando existe um preço que leva à convergência entre a oferta e a demanda durante o mesmo período de tempo. Os principais parâmetros são a renda da demanda e a elasticidade de preços, a elasticidade de preço da oferta e a elasticidade cruzada.

A alocação de terra para cada cultivo em cada região foi estimada usando duas variáveis explicativas: (i) a lucratividade regional do cultivo considerado e (ii) a lucratividade regional de cultivos concorrentes. As regiões que exibiram retornos mais altos para produtos específicos receberam áreas mais extensas alocadas a eles. A estimativa da quantidade de terra alocada à pastagem dependeu (i) da quantidade de terra usada para cultivos agrícolas e (ii) da evolução esperada dos rebanhos. Foram obtidas projeções até 2030 para seis grandes regiões, todas divididas em microrregiões criadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

47 Para as culturas anuais, o aumento de estoques de biomassa em um único ano é considerado como igual às perdas de biomassa através da colheita e mortalidade durante o mesmo ano - portanto não há acúmulo das reservas de carbono através da biomassa. (IPCC GPG, página 3.71)

48 BLUM: Brazil Land Use Modeling

Quadro 2.2 Alocando o Uso Futuro da Terra a Localidades e Anos: SIM Brasil

O SIM Brasil é um modelo georreferenciado de espacialização, estruturado e implementado de acordo com a Plataforma DINAMICA – Ambiente para Geoprocessamento de Objetos, uma plataforma integrada de *software*. Desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) do Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Minas (CSR/UFMG), o SIM Brasil opera em dois níveis espaciais: (i) microrregiões do IBGE e (ii) raster de 1km² de resolução. O modelo cria mapas de favorabilidade para a alocação de cultivos, através de critérios como aptidão para a agricultura (Assad e Pinto, 2008), distância de estradas, atração urbana, custo de transporte até portos, declividade e distância de áreas convertidas. Para cada microrregião, o modelo faz a alocação de atividades de uso da terra projetadas pelo BLUM a um nível de 1 km², usando a aptidão para a agricultura como base para cada cultivo modelado e fatores estimados de custos de produção de acordo com a *proximity* de infraestrutura e a distância de mercados consumidores.

Quando existe insuficiência de terra em uma determinada microrregião, o SIM Brasil realoca a distribuição para regiões vizinhas, criando um efeito de derramamento (*overspill*). Dessa forma, ficam contabilizadas as taxas calculadas de expansão agrícola. Foram construídas três sequências principais: (i) cálculo da terra disponível para expansão, (ii) simulação de mudanças no uso da terra e (iii) estimativa das emissões de carbono resultantes.

2.2.2 Uso da Terra Projetado: Agricultura e Pecuária

Os resultados da modelagem projetam um crescimento de 7% (cerca de 16,8 milhões de ha) em terras alocadas para a produção agrícola e para a pecuária de 2006 até 2030 (Tabela 2.1). Das seis principais regiões estudadas, calcula-se que o Norte da Amazônia deverá exibir a taxa mais alta de crescimento, de 24%, esperando-se que a pastagem para pecuária tenha a maior participação. Esses resultados sugerem que será necessário converter vegetação nativa para usos na produção (principalmente nas regiões de fronteira, no Norte da Amazônia e – em menor escala – em MAPITO e na Bahia).

Tabela 2.1: Expansão projetada no Uso da Terra para produção agrícola e pecuária para os anos selecionados no período 2006-30 (Milhões de ha)

Região	2006	2008	2018	2030
Sul	34.17	33.56	33.61	34.24
Sudeste	54.84	53.52	53.75	53.96
Centro-Oeste (Cerrado)	61.78	61.09	61.84	62.99
Norte da Amazônia	56.64	57.70	61.83	70.40
Costa do Nordeste	14.57	14.62	14.91	15.23
MAPITO e Bahia	37.30	36.82	37.68	39.30
Total	259.28	257.30	263.62	276.13

Fonte: ICONE

As expectativas indicam que o crescimento do uso produtivo da terra nas regiões de fronteira do Brasil deverá resultar de dois fenômenos: (i) maior demanda por carne e crescimento significativo no crescimento do rebanho, principalmente na Amazônia (44%) e, em menor escala, no MAPITO e na Bahia (13%) e (ii) expansão da produção agrícola, principalmente no MAPITO. O crescimento esperado no tamanho do rebanho e nas áreas de pastagem nessas regiões pode ser efeito indireto da maior produção agrícola em áreas de pastagem nas regiões Sul e Central. O modelo do estudo projeta que o crescimento das terras de pasto no Norte da Amazônia, onde a produtividade da pecuária é inferior, deverá exceder a perda de pastagem nas outras cinco regiões, como resultado da concorrência com a agricultura e com as florestas de produção (Tabela 2.2).

As expectativas indicam que a demanda por soja – o cultivo mais importante em relação ao uso da terra no Brasil – deverá crescer, em especial nas regiões Sul e no Leste do Centro, no Triângulo Mineiro e em partes dos estados da Bahia, Piauí e Maranhão; prevê-se a expansão da terra dedicada ao cultivo da soja, sendo que parte dessa expansão deve dar-se na fronteira amazônica. O cultivo da cana-de-açúcar deve expandir-se, principalmente no Nordeste do Paraná, em Goiás, no Oeste-Centro de São Paulo, no Triângulo Mineiro, Goiás, no centro de Tocantins, Mato Grosso do Sul e na costa nordestina. Espera-se também expansão nos estados da Bahia, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Piauí, Maranhão e Mato Grosso. De acordo com Assad (2008) e outras fontes de dados usadas para criação dos mapas de favorabilidade, o cultivo da cana-de-açúcar está crescendo em todos os estados que demonstram potencial para o seu desenvolvimento. O cultivo do milho, amplamente distribuído por todo o território, deverá aumentar ou permanecer estável na maioria dos estados, com exceção de Mato Grosso, onde provavelmente deverá cair.

Tabela 2.2: Variação Absoluta em Área Alocada, 2006–30 (milhares de ha)

<i>Uso da Terra</i>	<i>Sul</i>	<i>Sudeste</i>	<i>Centro-Oeste (Cerrado)</i>	<i>Norte da Amazônia</i>	<i>Costa nordestina</i>	<i>MAPITO e Bahia</i>	<i>Total Brasil</i>
Algodão	(8)	(25)	270	12	8	297	555
Arroz	206	(14)	(46)	5	20	42	213
Feijão (1ª colheita)	(195)	(122)	(39)	(101)	(122)	279	(300)
Feijão (2ª colheita)	6	6	(2)	-	-	(212)	(201)
Milho (1ª colheita)	(123)	169	330	(24)	205	103	660
Milho (2ª colheita)	632	(56)	1.344	328	-	28	2.276
Soja	3.097	228	1.845	1.615	-	1.067	7.852
Cana-de-Açúcar	809	3.111	1.093	(3)	235	1.275	6.520
Floresta de Produção	1.160	255	591	188	310	677	3.181
Pastagem	(4.881)	(4.488)	(2.806)	12.074	11	(1.739)	(1.829)
Total	65	(884)	1.239	13.765	667	2.001	16.852

Os valores em parênteses representam valores negativos

Com relação às terras de pastagem, deve continuar a expansão na Amazônia, que até hoje resultou principalmente da conversão de florestas. As projeções sugerem áreas relativamente

estáveis dedicadas à pastagem nos estados de Minas Gerais (à exceção da região do Triângulo), Bahia (com exceção da parte Oeste do estado), Ceará, Rio de Janeiro, partes do Rio Grande do Sul, grande parte do Mato Grosso do Sul, bem como Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Paraíba. Em contraste, no Centro e no Sul do Brasil a expansão das terras de pastagem deve permanecer limitada, devido à concorrência direta com a produção agrícola.

2.2.3 Mudança Esperada no Uso da Terra: Desmatamento

A equipe do estudo combinou os resultados da modelagem econômica do uso da terra e da análise geoestatística para projetar a conversão de florestas para outros usos da terra.⁴⁹ Usou ainda a plataforma EGO para modelar o desmatamento, e trabalhou com três variáveis fixas (taxas de migração, áreas protegidas e infraestrutura [incluindo estradas pavimentadas e não pavimentadas]) e duas outras (áreas ocupadas pela agricultura e crescimento do rebanho). Os dados de base incluíram o mapa das microrregiões e os lançamentos tabulares referentes às áreas protegidas, áreas de floresta original, tabelas de cultivos e rebanhos para os anos estudados e tabelas de densidade de rodovias. Foi aplicada uma regressão espacial – *spatial lag regression* –, que combinou as taxas anuais de expansão da agricultura e da pecuária (calculadas por microrregião), as tabelas de densidade rodoviária, as taxas líquidas de migração e as áreas protegidas. Com base nos resultados da regressão, o modelo calculou a taxa líquida de desmatamento para cada microrregião. Na região da Amazônia, o desmatamento estimado no Cenário de Referência foi maior do que a conversão por uso da terra projetada pela modelagem econômica, o que reflete o efeito das variáveis diferentes da expansão agrícola.

A taxa anual bruta esperada de desmatamento no Cenário de Referência é de cerca de 14.500–15.500 km² em média, durante o período de 2010-2030. Essa faixa é inferior à média histórica anual de 19.000 km² (1996–2005), mas bem superior às metas descritas no Plano Nacional de Mudança Climática do Brasil (PNMC) (Figura 2.1).⁵⁰

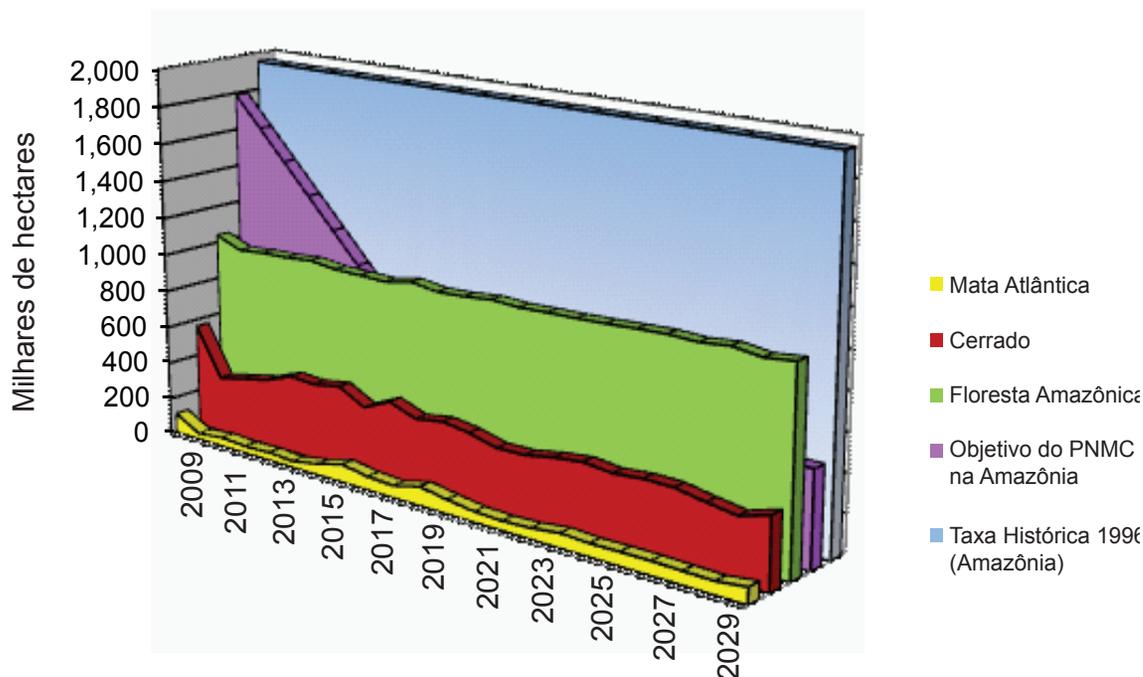
A intenção do governo brasileiro é reduzir as taxas de desmatamento em 72% ou mais (a cerca de 5.300 km² até 2017). Para que essa meta ambiciosa possa ser viável, o governo está implementando uma série de medidas, incluindo a criação de uma política florestal, a PPCDAM, concentrada no monitoramento e no controle do desmatamento.

49 A análise geoestatística do desmatamento reflete processos socioeconômicos, demográficos e de políticas públicas, que são em geral menos óbvios do que os processos associados à conversão direta para atendimento à demanda por terra..

50 A modelagem não incorporou os efeitos potenciais dos objetivos de redução de desmatamento no PNMC do Brasil. A obediência aos códigos florestais e à nova legislação sobre áreas de preservação permanente e reservas legais é considerada no contexto de um novo “Cenário da Legalidade” (Capítulo 3).



Figura 2.1: Evolução do desmatamento no Cenário de Referência, 2009–30



Fonte: UFMG (2009).

2.3 Estimando o Balanço de Emissões para o Uso da Terra e a Mudança no Uso da Terra

O uso projetado da terra e da mudança no uso da terra, conjuntamente com o potencial de remoção de carbono, foram utilizados para estimar as emissões futuras de GEE. As subseções a seguir descrevem as principais emissões e as fontes de remoção de carbono, métodos de cálculo e total de emissões projetadas no período considerado.

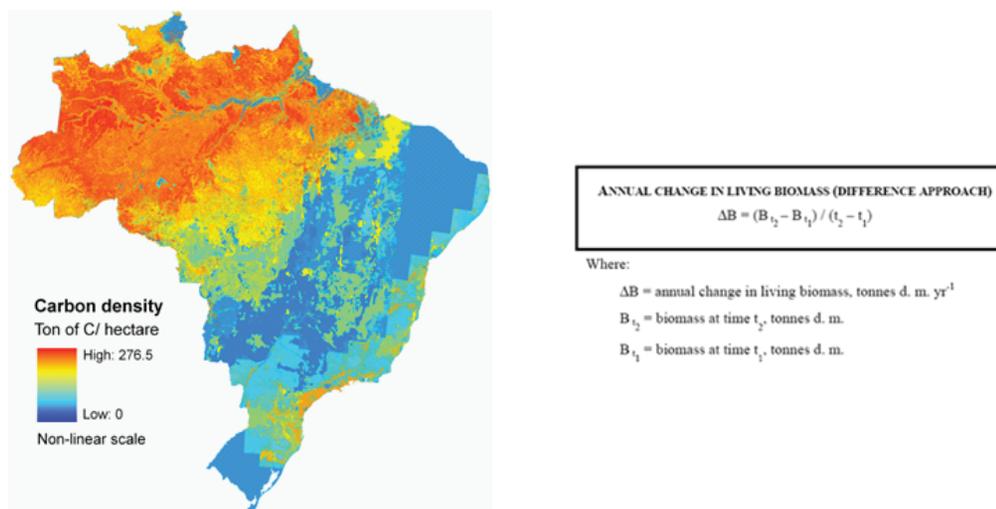
2.3.1 Desmatamento

A estimativa das emissões futuras através da conversão da floresta para outros usos da terra foi baseada nas metodologias provenientes do *Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry of the Intergovernmental Panel on Climate Change (GPG / LULUCF)* (IPCC, 2003).⁵¹ Foi subtraído o estoque de carbono da pastagem após a conversão do estoque de carbono da floresta antes dessa conversão. Devido à variação da biomassa, foi construído um mapa indicativo do estoque de carbono no início do período, como base para o cálculo (Figura 2.2). Os valores variaram entre 0 e 276.5 tC por ha (da biomassa acima e abaixo do solo), enquanto o valor médio encontrado nas terras de pastagem foi de 4tC por ha.⁵² O total de emissões esperadas do desmatamento foi de 9.9 GtCO₂e durante o período de 2010 a 2030, ou 474 MtCO₂e por ano, em média.

51 Ver IPCC (2003), "Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change, and Forestry," disponível em www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html.

52 Ver Saatchi et al. (2007) para a região amazônica e (PROBIO-MMA 2007) para o restante do país.

Figura 2.2: Mapa do estoque de carbono usado para estimar emissões geradas por desmatamento



2.3.2 Pecuária

Os ruminantes emitem CH_4 e óxido nitroso (N_2O), em função da quantidade de alimento ingerido e da qualidade da dieta. De forma geral, quanto mais fibroso for o alimento (para um nível determinado de ingestão), maior será a quantidade de CH_4 emitida; quanto mais alto o teor proteico – e, assim, quanto mais nitrogênio (N) excretado – maior é a quantidade de emissões de N_2O . Quanto mais alimento ingerido, maiores serão as emissões diárias de CH_4 e N_2O para uma determinada dieta por animal. Entretanto, quando se aumenta a ingestão de alimento, aumenta-se também o desempenho do animal, encurtando-se assim o seu ciclo de vida ou reduzindo o número de bezerros necessários para a produção de animais para abate, o que eventualmente reduzirá as emissões de CH_4 por unidade de produto e para a produção total de carne.

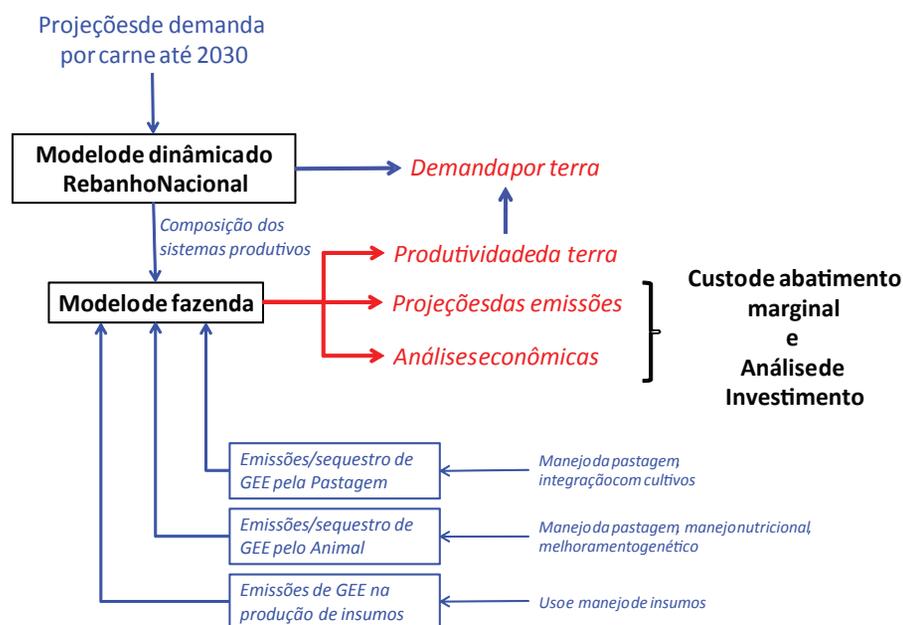
Para estimar a quantidade de alimento ingerido e as emissões de CH_4 , é preciso determinar o peso do animal, sua condição fisiológica, sua raça e o seu desempenho (ganho de peso, taxa de natalidade e produção de leite). Considerando que essas características são heterogêneas em um rebanho, é boa prática determinar a categoria do rebanho e calcular a ingestão e as emissões para cada categoria (IPCC 2006).⁵³

A equipe do estudo adotou uma abordagem sistêmica para rastrear as emissões de GEE geradas pela pecuária de gado de corte. Foram identificadas fazendas protótipo, usando vários tipos de sistemas em um ciclo completo (pré-lotação, pós-lotação e engorda), que reflete os níveis de uso da terra e a intensificação da produtividade animal. Foram considerados quatro tipos de sistemas de produção: (i) ciclo completo em pastagem degradada, (ii) ciclo completo em pastagem extensiva, (iii) criação extensiva de vacas e bezerros em pastagem acrescida de lotação suplementada e engorda em sistemas de integração lavoura-pecuária e (iv) criação extensiva de vacas e bezerros em pastagem acrescida de lotação suplementada e engorda em áreas de confinamento.

53 No presente estudo, o rebanho foi dividido em nove categorias de animais, de acordo com a idade (vacas, touros, novilhas de menos de 1 ano de idade, novilhas de 1 a 2 anos de idade, novilhos de 2 a 3 anos de idade, novilhos de menos de 1 ano de idade, touros jovens de 1 a 2 anos de idade, touros jovens de 2 a 3 anos de idade e touros jovens de mais de 3 anos de idade).

Foram modeladas fazendas protótipo, para estimar as necessidades de terras de pastagem nesses sistemas de produção (Figura 2.3); foram calculadas as emissões de GEE, usando dados sobre a demanda projetada por carne e as características de cada sistema de produção. Assim sendo, o volume de emissões geradas pela pecuária é uma função da combinação de sistemas de produção observados ao nível nacional para atender à demanda correspondente por carne.

Figura 2.3: Fluxograma de Fazendas Protótipo



Para cada sistema de produção, foram calculados a composição do rebanho, o peso médio e o desempenho, com base em índices zootécnicos típicos. A produtividade de cada fazenda protótipo, representando cada um dos quatro sistemas de produção, foi assim calculada com base nesses índices. Os números resultantes podem ser considerados como base para estimar o número de animais confinados (FNP 2008), a produtividade média estimada para a produção total de carcaças (CNA 2009) e a quantidade de gado (IBGE 2009) (Tabela 2.3). Os dados referentes à produção de carne bovina gerados pelo modelo econômico de uso da terra foram utilizados para projetar o tamanho necessário do rebanho, sua composição e distribuição por sistema de produção para atender à demanda nacional.

Tabela 2.3: Área e Quantidade de Gado em Cada Sistema de Produção para o Cenário de Referência, Ano Base (2008)

Sistema de Produção	Área (milhões de ha)	Qt. de gado (milhões de cabeças)	Emissões (MtCO ₂ e/ano)
Ciclo completo em pastagem degradada	59.53	22.38	26.94
Ciclo completo em pastagem extensiva	132.18	155.51	171.36
Criação extensiva de bezerros e vacas em pasto acrescido de lotação suplementada e engorda em sistemas de integração lavoura-pecuária	5.50	10.00	12.11

Criação extensiva de bezerros e vacas em pasto acrescido de lotação suplementada e engorda em áreas de confinamento	8.18	14.88	18.94
Total	205.39	202.77	229.35

As emissões de CH₄ e de N₂O foram estimadas com base no peso dos animais, na qualidade da dieta e no desempenho para cada sistema de produção, de acordo com modelos em camadas do IPCC (2006). As modificações consideraram estimativas de ingesta de material seco para o cálculo reverso do NRC (2000) com um fator de manutenção para os zebus Nelore (predominantes no Brasil) e a equação de CH₄ descrita por Ellis et al. (2006).

De acordo com as projeções deste estudo, as emissões anuais geradas pela pecuária deverão aumentar de 229 MtCO₂e em 2008 para 272 MtCO₂e em 2030. O total cumulativo para o período de 2010 a 2030 é de 5.2 GtCO₂e.

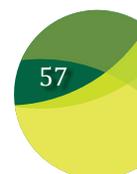
2.3.3 Produção Agrícola

As principais fontes de emissões de GEE relacionadas à produção agrícola são (i) mudanças nos estoques de carbono no solo, (ii) CH₄ do cultivo de arroz irrigado e queima de resíduos de culturas, (iii) N₂O de fertilizantes e gestão de estrume animal e (iv) CO₂ da utilização de combustível fóssil nas operações agrícolas. Para estimar as emissões equivalentes de CO₂ resultantes, recorreremos à metodologia no GPG/LULUCF para as mudanças no estoque de carbono em áreas de cultivo, que considera as variações do estoque de carbono no Cenário de Referência (estoque de carbono antecipado no tipo de solos sob vegetação nativa) e suas alterações devido à gestão (ex: plantio direto), uso da terra (ex: cultivada a longo prazo, mas em descanso), e de insumos para o solo (ex: fertilizantes, orgânicos ou minerais).

As emissões associadas dependem não apenas da extensão da área sendo usada, da forma determinada pelo modelo econômico de uso da terra, mas também (i) do estoque de carbono sob a vegetação nativa e (ii) das mudanças no estoque de carbono no solo, que variam por região e pelo tipo de atividade agrícola.

A equipe do estudo estimou o estoque de carbono sob a vegetação nativa para as regiões definidas através das diferentes classes de solo e vegetação. Utilizando classificações simplificadas de solo e de vegetação, foram criadas 30 combinações solo-vegetação, e a cada uma foi atribuído um valor de estoque de carbono baseado em dados publicados disponíveis e bases de dados sobre solo da Rede Agrogás da EMBRAPA. Subsequentemente, a equipe criou um mapa do estoque de carbono sob a vegetação nativa.

Os sistemas convencionais de preparação do solo para o cultivo de grãos levam em geral a uma redução do estoque de carbono no solo, em relação à vegetação nativa (Zinn et al. 2005; Fernside et al. 1998); em contraste, em um sistema de plantio direto, fica preservado ou aumenta-se o estoque de carbono no solo (Zinn et al. 2005; Cerri et al. 2007). Os fatores de mudança de estoque de C do solo foram estimados considerando a metodologia do GPG/LULUCF, onde os valores padrão para os fatores de uso dos solos, gestão e de insumos estão disponíveis. Além disso, os fatores de variação estimados foram ajustados em função da literatura disponível para o Brasil. Por exemplo, os fatores de mudança para as sequências de culturas de soja-milho (para o Brasil Central) ou de trigo-soja (região Sul) sob plantio convencional foram estimados em 0,48 e 0,69, respectivamente, utilizando os valores padrão GPG. Estes fatores de mudança significam que após 20 anos, solos sob cultivo de soja apresentarão estoques de C no solo em 48% e 69% do conteúdo original. Os dados obtidos no Brasil sugerem que estes



fatores poderiam ser ainda menores. Além disso, na Primeira Comunicação Nacional de GEEs o fator de mudança para as culturas foi de 0,43. Sendo que os fatores de variação foram ajustados para 0,50 para a região Sul e 0,40 para o Brasil Central. Os fatores considerados para o plantio convencional sugerem que o uso do solo reduz os estoques de carbono a até 44–63% dos volumes encontrados sob a vegetação nativa; essa variação foi constatada em amostras colhidas no Brasil (Zinn et al. 2005). As diferenças entre regiões e cultivos se devem ao clima e às características de produção de resíduos dos cultivos.

O método do IPCC foi também usado para calcular as emissões de CH₄ geradas pela produção de arroz irrigado no Sul do Brasil e as emissões de N₂O e CH₄ que resultam da queima de palha de cana-de-açúcar durante a colheita. Segundo dados do INPE (2009), a proporção da cana-de-açúcar colhida sem queima foi de 46,5% em 2006-2007 e 49,1% em 2008-2009. Esta proporção aumentou para 54,4% durante a colheita de 2009-2010. No Cenário de Referência, supunha-se que a área com colheita sem queima aumentaria, para estabilizar-se em cerca de 90% até 2020, com exceção da costa nordestina, onde seria estabilizada em aproximadamente 40 por cento.⁵⁴

Durante os próximos 20 anos, as emissões de CH₄ geradas pela produção de arroz irrigado e pela queima de palha de cana-de-açúcar deverão totalizar 434 MtCO₂e. Aproximadamente quatro quintos desse volume deverão resultar do cultivo de arroz irrigado de várzea, principalmente no Sul. As emissões de N₂O do solo geradas pelos fertilizantes e resíduos, bem como da queima de cana-de-açúcar, acrescentam mais 686 MtCO₂e. De acordo com projeções do Cenário de Referência, até 2030 apenas cerca de 3% dessas emissões de N₂O resultarão da queima de cana-de-açúcar, enquanto o restante resultará da decomposição de resíduos da colheita, principalmente do cultivo da soja, que são mais ricos em nitrogênio (N), e em pastagens com gado.

De 2009 a 2030, calcula-se que cerca de 55% do N₂O emitido por resíduos (171 MtCO₂e) resultará do cultivo da soja. A aplicação de fertilizantes responderá por cerca de 121 MtCO₂e em emissões do solo. Por outro lado, devido ao fato de que a produção e o transporte de cada 100 kg do N usado na agricultura gera 450 kg de CO₂e, em emissões geradas pelo combustível fóssil, o emprego de fertilizantes nitrogenosos resultaria em um total de emissões de 250 MtCO₂e. Estima-se que as emissões resultantes de emissões de energia fóssil associadas a operações agrícolas (por exemplo, equipamento movido a diesel) cheguem a 344 MtCO₂e durante o período (Tabela 2.4).

Tabela 2.4: Emissões da Produção Agrícola no Cenário de Referência

<i>Fonte de emissões de GEE</i>	<i>MtCO₂e</i>	<i>% do total</i>
Mudanças no estoque de carbono no solo	585,2	28,6
Fertilizantes, resíduos (incluindo a queima da cana-de-açúcar) e a mineralização do nitrogênio no solo (N ₂ O)	685,6	33,4
Cultivo de arroz irrigado de várzea e queima da cana-de-açúcar (CH ₄)	433,6	21,2
Uso de energia fóssil para alimentar operações agrícolas (CO ₂)	343,5	16,8
Total	2.048,0	100,0

Em resumo, as expectativas indicam que as emissões de GEE resultantes da produção agrícola devem totalizar cerca de 2.0 GtCO₂e ao longo do período, correspondentes a aproximadamente 102.4 MtCO₂e por ano (Tabela 2.4). Pouco mais de 40% dessas emissões resultam da perda de

54 As áreas utilizadas para plantação de cana-de-açúcar nos estados de Pernambuco e Alagoas têm em média 70 e 30%, respectivamente, de declividade acima de 12%, o que incapacita a colheita mecanizada com a tecnologia atual; o corte manual sem queima em grande escala torna-se inviável.

material orgânico no solo, principalmente causada pela conversão de terras de pastagem em áreas agrícolas no Sudeste, no Centro-Oeste e nas regiões do MAPITO e da Bahia. A área agrícola sob plantio direto é mantida a 77% da área cultivada com milho (primeira colheita) e soja, e pouco acima de 8% da área dedicada a outros cultivos até 2030. A eliminação gradual da queima de cana-de-açúcar deverá reduzir as emissões anuais durante esse período.

2.3.4 Remoção de Carbono

As oportunidades potenciais do Brasil para remoção de carbono residem principalmente (i) no restauro florestal através de atividades de florestamento ou reflorestamento, ou regeneração natural assessorada e (ii) nas florestas de produção. O restauro de florestas tem um potencial significativo para a remoção de carbono; por exemplo, os resultados e os dados de modelagem disponíveis na literatura indicam que o restauro da cobertura vegetal para as matas ciliares apenas de São Paulo poderia resultar na remoção de cerca de 400 MtCO₂. Enquanto isso, na Amazônia, o potencial é até superior, considerando que as condições climáticas em grande parte desse bioma aumentam o potencial de remoção de carbono pelas florestas que vão crescendo.

Entretanto, nos ecossistemas degradados, como áreas abandonadas de pastagem e de plantio, fica prejudicado o potencial de regeneração de espécies arbóreas e de espécies de sucessão secundária. Entre os obstáculos botânicos específicos, incluem-se a falta ou a inadequação de bancos de sementes, a má dispersão de sementes, a concorrência de gramíneas com alto teor de biomassa, a ação predadora de herbívoros, a queimada e a ausência de polinizadores. Assim sendo, no Cenário de Referência, a recuperação de florestas nativas, que representa a principal parte da remoção de carbono através de atividades antrópicas, permanece limitada em comparação com o potencial teórico, permanecendo a aproximadamente 10.3 MtCO₂ por ano. Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 109MtCO₂ por ano.⁵⁵

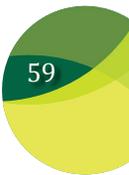
Com relação às florestas de produção do Brasil,⁵⁶ a alternância de plantio e de colheita gera um estoque médio de carbono cuja dinâmica de fluxo é determinada pelo ciclo das espécies cultivadas; por exemplo, o ciclo das espécies de eucalipto é de aproximadamente 21 anos (três ciclos de sete anos). O estoque médio de carbono dos grupos de florestas é ligado às atividades econômicas vinculadas (por exemplo, produção de ferro e aço ou de papel e celulose), e, assim, ao risco de que a atividade econômica possa entrar em declínio ou terminar.⁵⁷

Este estudo focalizou as florestas de produção de carvão vegetal renovável para a indústria de ferro e aço. A substituição do carvão vegetal não renovável ou carvão mineral pode resultar em maior remoção de carbono, sem alterar a oferta e a demanda pelos produtos finais. Não é isso o que ocorre em outros setores, onde o potencial de reflorestamento fica limitado ao crescimento do mercado da atividade de uso final (caso das plantações para papel e celulose). As projeções futuras para florestas de produção usando carvão vegetal renovável basearam-se no crescimento anual estimado do mercado de ferro e aço durante o período do estudo (3,7%) e na participação no mercado de todos os agentes termo-redutores.

55 Ao calcular o inventário nacional de carbono, alguns países consideram a contribuição da regeneração natural com respeito à remoção de carbono; e, portanto, apesar do fato de este estudo não incluir esta contribuição no balanço de carbono das atividades do LULUCF, é justo acrescentar esta informação para fins de comparação. Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 109MtCO₂ por ano.

56 Atualmente, o Brasil possui cerca de 5 milhões de ha de florestas de produção.

57 Por outro lado, os riscos associados a eventos extremos, como incêndios e pragas, são ostensivamente menores, devido à necessidade de replantar as áreas para compensar pela atividade de uso final.



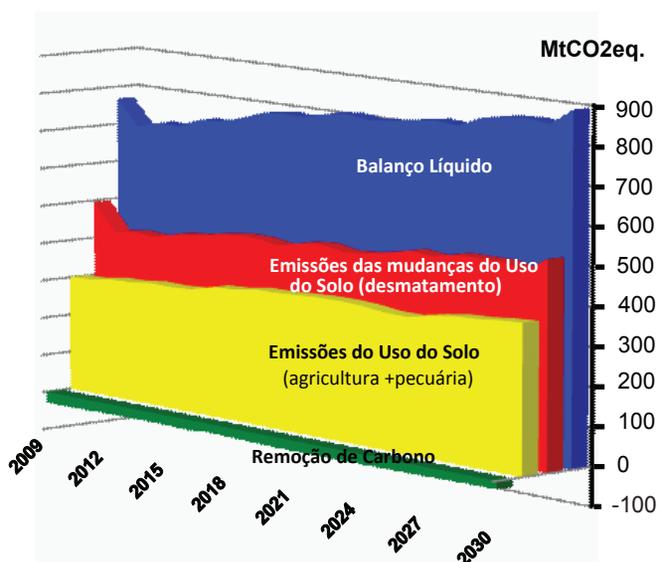
O Cenário de Referência supõe a continuação da situação de mercado atual. Com respeito à participação da termo-redução, supõe 66% baseados em coque mineral, 24% em carvão vegetal não renovável e 10% em carvão vegetal renovável. O Cenário de Referência supõe ainda (i) a continuação da carência de políticas públicas e de financiamento adequado do setor, (ii) a continuação da atual estrutura regulatória, que deixa espaço para o uso de carvão vegetal não renovável e (iii) o desenvolvimento de baixa produtividade, em termos de plantio de árvores para produção de madeira, e a eficiência do processo de carbonização da madeira.

De acordo com o Cenário de Referência, calcula-se que as florestas de produção possam sequestrar 315 MtCO₂e durante o período analisado.

2.4 Resultados de Emissões do Cenário de Referência

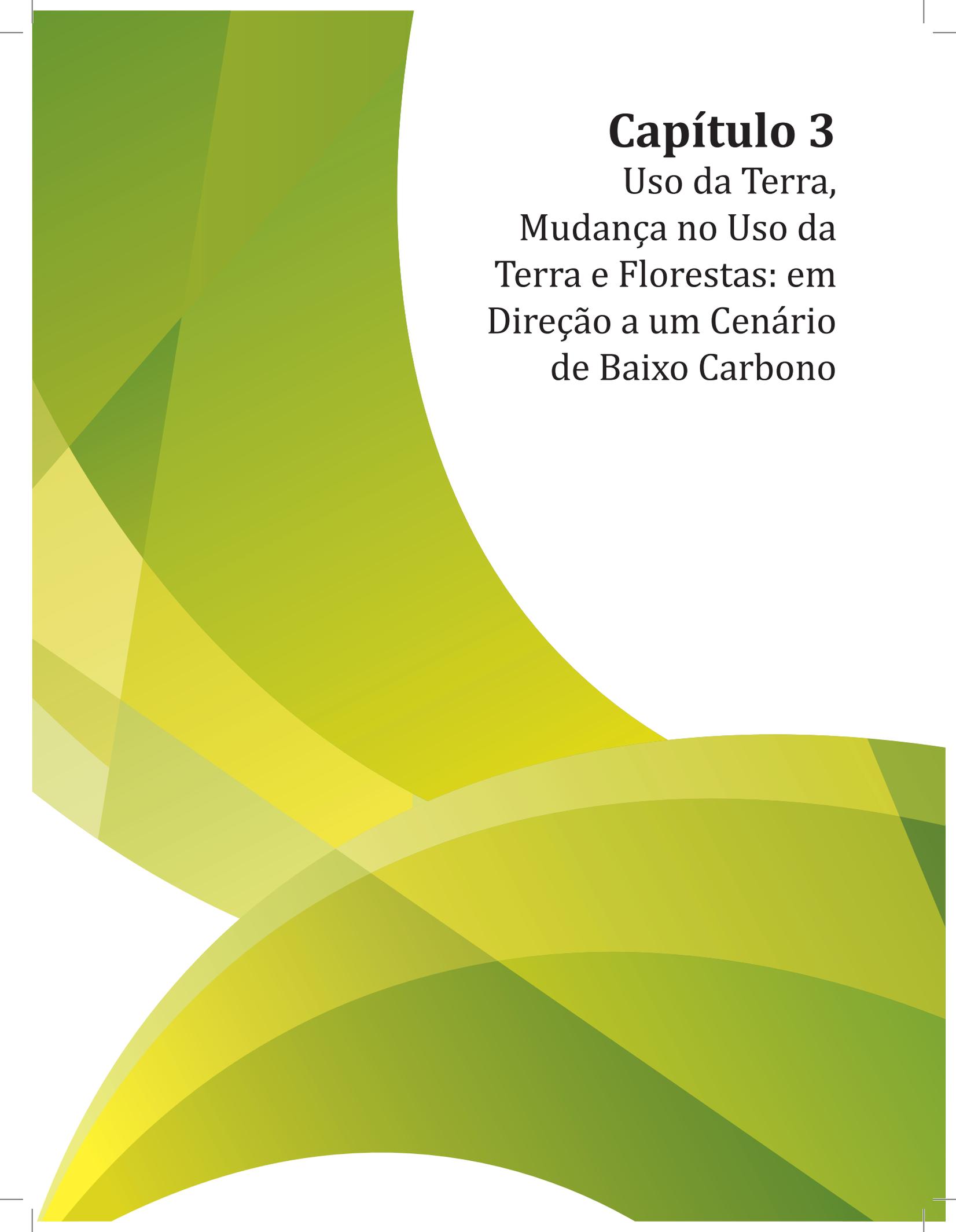
Com base em análises dos subsetores, a equipe do estudo gerou um Cenário integrado de Referência para LULUCF. Esse Cenário de Referência utilizou os métodos de cálculo de emissões indicados acima, que foram integrados ao modelo do SIM Brasil. O uso desses modelos possibilitou a geração de mapas e tabelas que registraram as emissões anuais e a remoção durante o período estudado, calculados para cada trecho de 1km² e integrados por microrregião, por estado e por país (Figura 2.4).

Figura 2.4: Resultados do Cenário de Referência:
Emissões do Uso da Terra e das Mudanças no Uso da Terra, 2009–30



As emissões geradas pela mudança no uso da terra através do desmatamento respondem pela maior parcela isolada do total das emissões por LULUCF – até 533 MtCO₂e por ano até 2030. As emissões anuais diretas geradas pelo uso da terra (produção agrícola e pecuária) aumentam durante o período, até a taxa anual de 383 MtCO₂e. O modelo revela uma queda na taxa anual de remoção de carbono, de 28 MtCO₂e em 2010 para 20 MtCO₂e em 2030. Para todo o período considerado, o balanço líquido de uso da terra, mudança no uso da terra e remoção de carbono resulta em um aumento das emissões, que alcançam aproximadamente 895 MtCO₂e por ano até 2030.⁵⁸

⁵⁸ Ao calcular o inventário nacional de carbono, alguns países consideram a contribuição da regeneração natural com respeito à remoção de carbono; e, portanto, apesar do fato de este estudo não incluir esta contribuição no balanço de carbono das atividades do LULUCF, é justo acrescentar esta informação para fins de comparação. Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 109MtCO₂ por ano, reduzindo assim as emissões líquidas.



Capítulo 3

Uso da Terra,
Mudança no Uso da
Terra e Florestas: em
Direção a um Cenário
de Baixo Carbono

Com base na evolução projetada gerada por emissões do setor de LULUCF no Cenário de Referência (Capítulo 2), este estudo tratou de explorar oportunidades para redução de emissões e aumentar a remoção de carbono. As Seções 3.1 a 3.3 identificam as opções de mitigação para a produção agrícola, pecuária e desmatamento, respectivamente; da mesma maneira, a Seção 3.4 identifica opções para a remoção de carbono baseado na silvicultura. Cada uma destas quatro Seções analisa as barreiras à adoção das respectivas medidas de mitigação, explorando meios para superá-las. A Seção 3.5 sugere como essas opções de mitigação, em conjunto, poderiam criar uma nova dinâmica de uso da terra para o Brasil. A Seção 3.6 propõe outras medidas de proteção para as florestas, de forma a aprofundar e fortalecer ainda mais as reduções de emissões. Por fim, a Seção 3.7 resume a estratégia integrada para um Cenário de Baixo Carbono.

3.1 Opções de Mitigação para a Produção Agrícola

A redução do estoque de carbono no solo responde por mais de dois quintos das emissões diretas geradas pela agricultura, como já discutimos no Capítulo 2, o que sugere a necessidade de esforços de mitigação, através da adoção de práticas que reduzam a conversão do estoque de carbono do solo e do nitrogênio mineral (N) em dióxido de carbono (N_2O) e metano (CH_4).

A equipe que participou do estudo identificou a aceleração da disseminação do cultivo através de plantio direto como sendo a opção mais promissora para a redução das emissões de GEE geradas pela produção agrícola. Verificou-se que as emissões no Cenário de Baixo Carbono, com o maior emprego do plantio direto, eram aproximadamente 21% menores do que no Cenário de Referência, que empregava sistemas convencionais de agricultura (Tabela 3.1). O plantio direto pode reduzir a perda de solo em cerca de três quartos, o que resulta em um aumento de 20% na infiltração de água. Outros benefícios potenciais incluem o controle da temperatura do solo, melhor estrutura do solo, maior capacidade de armazenamento de água e maior retenção de nutrientes pelas plantas. Nos sistemas de arroz irrigado de várzea, o plantio direto conseguiu reduzir as emissões de CH_4 em cerca de 15% (Lima 2009). O total de emissões evitadas através do plantio direto poderia chegar a 356 MtCO₂e durante o período de 2010 a 2030 (Figura 3.1). Por esses motivos, o cultivo através de plantio direto seria expandido em 100% até 2015 no Cenário de Baixo Carbono.

Apesar da extensa experiência do Brasil com o cultivo através de plantio direto, a migração do sistema convencional para esse implica em uma variedade de dificuldades culturais, técnicas e financeiras:

- **Falta de conhecimento.** Mitos sobre compactação do solo, baixa eficiência da calagem e probabilidade de pragas e doenças desencorajam os pequenos agricultores a experimentar o plantio direto;
- **Falta de acesso à tecnologia.** Pequenos produtores são responsáveis por uma parte importante da produção de grãos (por exemplo, feijão e milho), mas possuem pouco ou nenhum acesso à assistência técnica necessária para adaptação de seus sistemas de produção;
- **Custos iniciais da conversão.** O início de um sistema de plantio direto pode implicar na aquisição de maquinário e maiores quantidades de insumos, e existe uma falta de consenso sobre as vantagens econômicas do sistema em todas as regiões;
- **Falta de pesquisa.** Muito embora a agricultura de plantio direto seja amplamente praticada no Sul do Brasil, onde as condições climáticas são amenas, é necessário desenvolver mais pesquisa para certas regiões como o Norte e o Noroeste do Estado do Paraná e para outras regiões como os Cerrados (por exemplo, pesquisa sobre a cober-

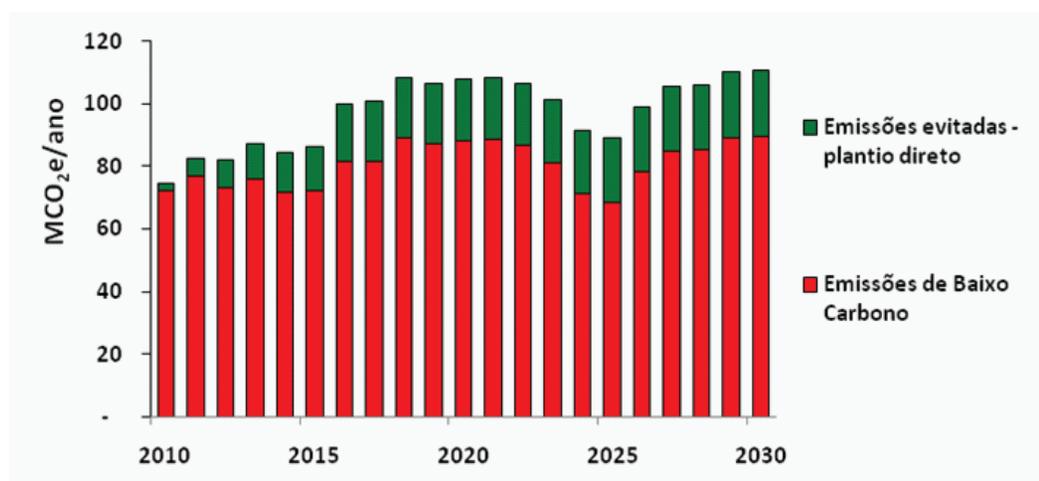
tura vegetal durante o período posterior à colheita de verão, para garantir quantidade suficiente de resíduos para cobertura do solo durante todo o ano);

- **Falta de infraestrutura e marketing.** Os agricultores brasileiros frequentemente enfrentam problemas no armazenamento e no transporte até os mercados. O valor superior da soja dificulta o armazenamento de cultivos como o milho, uma opção crucial para o rodízio de verão. Além disso, os agricultores não têm garantia da venda de cereais alternativos. O resultante domínio da monocultura da soja fragiliza a diversificação, que é uma exigência para que o plantio direto seja bem-sucedido.

Tabela 3.1: Redução de Emissões Geradas pela Produção Agrícola no Cenário de Baixo Carbono com o Emprego do Plantio Direto, durante o período de 2010-2030

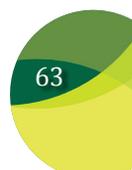
Fonte de Emissões	Emissões de GEE no Cenário de Baixo Carbono (MtCO ₂ e)	Diferença em comparação com o Cenário de Referência	
		MtCO ₂ e	% redução
Mudança no estoque de carbono no solo	348,4	236,8	40,5
Fertilizantes e resíduos (incluindo queima de cana-de-açúcar) e mineralização de nitrogênio do solo	631,0	54,6	8,0
Cultivo de arroz irrigado de várzea e queima da cana-de-açúcar	390,8	42,8	9,9
Uso de energia fóssil nas operações agrícolas	322,4	21,1	6,1
Total	1 692,5	355,5	17,3

Figura 3.1: Emissões Evitadas através do Plantio Direto no Cenário de Baixo Carbono, 2010–30



Várias medidas podem ser implementadas para superar essas barreiras, incluindo:

- **Fortalecimento de pesquisa básica e tecnológica** e geração de informações sobre o plantio direto, que possam garantir a sustentabilidade do sistema em todo o país;
- **Reestruturação do sistema de extensão rural** e treinamento de técnicos que possam servir de elo entre instituições de pesquisa, universidades e vários segmentos do setor produtivo. É vital que as universidades e escolas técnicas incorporem o sistema de plantio direto nos currículos de capacitação profissional;
- **Estabelecimento de prioridade de crédito** para os agricultores que adotarem o



sistema (por exemplo, aumentar o orçamento para empréstimos a baixas taxas de juros, ou prêmios mais baixos de seguros com o passar do tempo);

- **Expansão das instalações de armazenamento e garantia de compra da produção** (por exemplo, milho). **Desenvolvimento de instrumentos financeiros de garantia** para os preços de insumos essenciais para o sistema de plantio direto, como herbicidas.

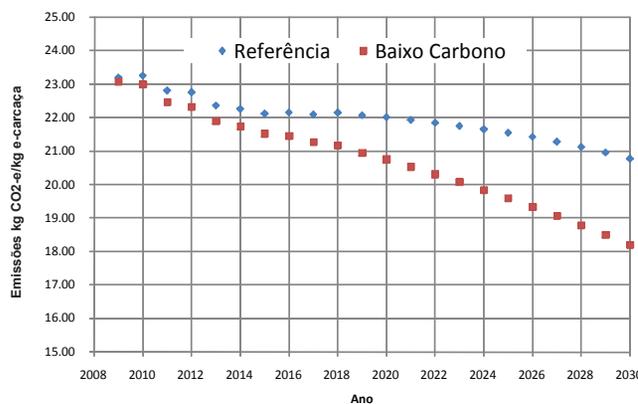
3.2 Opções de Mitigação na Pecuária

Considerando que as emissões de metano (CH_4) originárias da criação de gado de corte respondem pela maior participação das emissões de GEE da pecuária⁵⁹, foram exploradas as opções abaixo para mitigação:

- Programas de melhoramento genético da forragem, para reduzir a metanogênese (FAO 2007);
- Programas de incentivo para o emprego de touros geneticamente superiores: os animais melhorados têm um ciclo de vida mais curto e emitem quantidade menor de CH_4 até o abate.

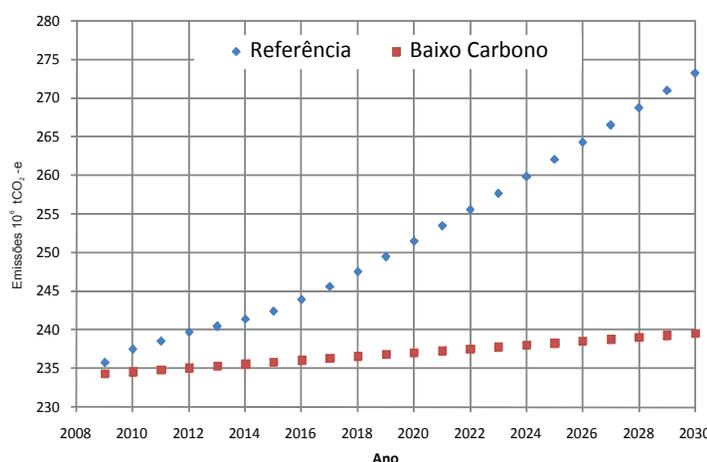
Estas duas opções afetam diretamente a redução de emissões por unidade de produto, convencionalmente medida em toneladas de carcaça-equivalente. Além dessas duas opções, as emissões geradas na pecuária podem ser reduzidas através de ganhos na produtividade. Considerando-se somente a transição de um sistema de produtividade mais baixa para outro, de mais alta produtividade, seria pouco o efeito sobre as emissões de GEE por animal (1,25 tCO₂e no cenário de pastagem degradada, em comparação com 1.15 tCO₂e em outros cenários); por outro lado, a produtividade mais alta em sistemas mais intensivos gera uma redução significativa no rebanho projetado para 2030 (208 milhões de cabeças no Cenário de Baixo Carbono, *versus* 234,4 milhões no Cenário de Referência), o que, por sua vez, geraria uma redução significativa por unidade de carne (Figura 3.2) e no valor total (Figura 3.3).

Figura 3.2: Comparação das Emissões de Metano por Unidade de Carne (kg CO₂e por kg), 2008–30



59 As emissões de CO₂ equivalentes da pecuária são estimadas com base em um GWP de 21. No entanto, se uma métrica diferente fosse utilizada, por exemplo, o GTP, as estimativas correspondentes poderiam variar significativamente. Em particular, utilizando o GTP, o número de emissões seria menor. No entanto, considerando que o debate sobre a questão continua, o estudo optou por manter a métrica do GWP, utilizando o valor de 21 para o metano.

Figura 3.3: Comparação das Emissões de Metano Geradas pela Criação de Gado de Corte (MtCO₂e por ano), 2008–30



A combinação da forragem melhorada e dos touros geneticamente superiores, juntamente com o aumento proposto de produtividade da pecuária, reduziria as emissões diretas oriunda da pecuária de 273 para 240 MtCO₂ por ano em 2030, ou seja, manter-se-iam as emissões aproximadamente ao mesmo nível de 2008.

Entretanto, os ganhos de produtividade podem ter um efeito maior no balanço geral de emissões associadas ao uso da terra e à mudança do uso da terra. Na verdade, taxas mais altas de produção de carne por hectare implicam na necessidade de áreas menores de pastagem. A liberação de terra de pastagem para outros usos auxilia na redução da demanda geral por terra e da necessidade de remoção da vegetação nativa, e, conseqüentemente, das emissões geradas pelo desmatamento. Essa potencial contribuição da pecuária para ajudar a reduzir as emissões do desmatamento é explorada em maiores detalhes na Seção 3.3.

As dificuldades envolvidas nessas opções propostas de mitigação poderiam ser solucionadas com base nos programas e políticas atuais. Hoje, os programas brasileiros de melhoramento de forragem, que enfatizam o uso de materiais genéticos com características agrônômicas favoráveis de resistência a pragas e a doenças, não incluem o objetivo de reduzir as emissões de GEE; por outro lado, programas existentes de pesquisa testam técnicas de avaliação da produção *in vitro* de CH₄ por plantas forrageiras. Assim sendo, poderiam ser aprovadas políticas públicas para promover o financiamento de programas de pesquisa que estimulem universidades e instituições de pesquisa para a seleção de forrageiras de mais alto valor nutricional e para a implementação de melhores estratégias de manejo para a produção de cultivares para ruminantes com potencial mais baixo de geração de emissões de CH₄. De acordo com estimativas preliminares da equipe da EMBRAPA, o lançamento de um programa de pesquisa de 12 anos sobre cultivares geneticamente melhorados custaria cerca de R\$4 milhões.

O emprego de touros geneticamente superiores possui um período mais longo de retorno. Os programas que fornecem incentivos para a avaliação de touros e subsídios para a aquisição de animais testados e de boa linhagem podem contribuir para a eficiência do setor no médio prazo, além de reduzir as emissões de GEE. Supondo que seriam necessários 2,3 milhões de touros para a manutenção do rebanho nacional (considerando a proporção touro-vaca de 30:1), um prêmio de 50 por cento acima do valor de abate para os animais melhorados e quatro anos de vida útil

para o touro, o valor total de subsídios para rebanho nacional chegaria a cerca de R\$350 milhões por ano. Entre as externalidades positivas para a adoção dessa medida, incluem-se o aumento da produtividade, carcaças de melhor qualidade e taxas mais altas de natalidade de bezerros (supondo a testagem andrológica dos touros melhorados).

Desde a década de 1990, a elevação da produtividade por animal verificada na pecuária de gado de corte reduziu significativamente as emissões por quilo de carcaça produzida. A produtividade mais alta coincidiu com a adoção mais comum de sistemas de lavoura-pecuária e de confinamento. Por outro lado, a taxa de lotação dos pastos mudou pouco durante o período, o que sugere que a degradação da pastagem pode contrapor-se aos ganhos de produtividade observados em outros locais (IBGE 2008), o que justificaria a importância de promover a renovação das áreas degradadas de pastagem.

Ainda que sistemas melhorados e mais intensivos sejam mais atraentes com relação aos retornos econômicos gerados, o custo de restauração de pastagem com baixa produtividade é relativamente alto (estimado em R\$2.924,92 por ha em investimentos e em R\$21.300,00 por ha em despesas). Ainda mais custosos são os investimentos necessários para a implementação desses sistemas, em especial para a aquisição de animais. Considerando que o valor econômico da atividade não é alto, seria necessário crédito a baixas taxas de juros para financiamento da compra de animais para aumentar a taxa de lotação; caso contrário, os pecuaristas muito provavelmente subutilizariam os recursos disponíveis da forragem. O desempenho econômico favorável de programas passados, com o uso de sistemas de lavoura-pecuária (por exemplo, o PROLAPEC e o PRODUSA) sugere que incentivos assim poderiam reduzir o risco do negócio, aumentar a renda no campo e renovar áreas degradadas de pastagem, facilitando a expansão do sistema de lavoura-pecuária em áreas já desmatadas. Políticas de incentivo ao abate precoce de animais podem também gerar ganhos em produtividade e reduzir emissões (por exemplo, o Programa de Novilhos Precoces do Mato Grosso do Sul). Por fim, considerando que sistemas mais intensivos exigem mais manejo, é importante que haja políticas públicas que promovam a extensão rural e capacitação para os criadores de gado de corte.

3.3 Maior Produtividade da Pecuária para Evitar Emissões Geradas por Desmatamento

No Cenário de Referência, o desmatamento surge como a principal fonte de emissões. Embora significativos, os potenciais de remoção e mitigação descritos acima permanecem limitados, quando comparados ao grande volume de emissões de GEE resultantes do desmatamento. Como já foi mencionado, um dos principais fatores que desencadeiam o desmatamento é a necessidade de converter vegetação nativa em terras que possam acomodar a expansão da agricultura e da pecuária. A modelagem de uso da terra desenvolvida por este estudo possibilita a estimativa do volume de terra adicional necessário e o desmatamento associado a essa necessidade no Cenário de Referência. Para evitar as emissões geradas pelo desmatamento é preciso encontrar maneiras de reduzir a demanda global por terra, mantendo ao mesmo tempo o mesmo nível de oferta de produtos existente no Cenário de Referência. Em termos sistêmicos, a mitigação das emissões geradas pela mudança no uso da terra poderia ser alcançada absorvendo-se a expansão dessas atividades através de uma maior produtividade em outras.

As principais atividades agrícolas no Brasil já exibem altos níveis de produtividade, e conseqüentemente, não oferecem oportunidades de aumentar esse nível na escala necessária para poderem absorver esses níveis adicionais de demanda por terra. Por exemplo, a

produtividade de uma plantação de soja no Brasil era de 2,86 toneladas por ha em 2008, comparadas às 2,81 toneladas por ha verificadas nos Estados Unidos (Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Produtividade Média de Cultivos Seleccionados em Vários Países (ton por ha), 2008

País	Cultivo (toneladas por ha)			
	Soja	Milho	Algodão	Arroz
Argentina	2,78			
Bangladesh				3,93
China, República Popular da	1,61	5,17	1,30	6,43
UE-27		5,67		
Índia	1,06	2,3	0,57	3,31
Indonésia				4,66
México		3,22		
Paquistão			0,65	
Paraguai	2,62			
Tailândia				2,76
Estados Unidos	2,81	9,46	0,99	
Uzbequistão, República do			0,83	
Brasil	2,86	3,99	1,49	4,20

A criação de gado de corte revela um potencial muito maior para aumento da produtividade por hectare, que pode ser aplicado a uma área muito mais ampla de pastagem, considerando-se que os pastos ocupam 207 milhões de ha, comparados a 70 milhões de ha dedicados à agricultura em 2030 no Cenário de Referência. Consequentemente, o aumento do nível tecnológico e a intensificação da criação de animais pode desempenhar um papel essencial na redução da necessidade de terras para essa atividade, ao mesmo tempo liberando terras necessárias para a expansão de outras atividades.

3.4 Remoção de GEE através de Opções de Remoção de Carbono

As principais opções de remoção de carbono disponíveis no Brasil, como já se discutiu no Capítulo 2, são as florestas de produção e o restauro de florestas nativas – em especial o reflorestamento de matas ciliares e de reservas legais. Esta seção tratará de identificar o potencial de remoção de carbono dessas opções, analisando e explorando formas de superar barreiras à sua implementação.

3.4.1 Florestas de Produção

O Brasil é dotado de condições climáticas e de características de solo que favorecem a criação de florestas de produção. Além disso, o país possui algumas das mais avançadas tecnologias de produção de madeira, baseadas em clones de crescimento rápido e alta produtividade. Apesar desses recursos e dos esforços coordenados dos empreendimentos do setor, dos centros de pesquisa e das universidades, o Brasil enfrenta um déficit na plantação de florestas.

O maior potencial de remoção considerado no Cenário de Baixo Carbono foi estimado supondo



a substituição total de carvão vegetal não renovável a partir de 2017 e a intensificação do uso de carvão vegetal para até 46% da produção total de lastro de ferro e aço até 2030 (final do período considerado). Com isso, dobraria a remoção anual até o final de 2030, em comparação com o Cenário de Referência; o volume total sequestrado no Cenário de Baixo Carbono seria igual a 377 MtCO₂, 62 MtCO₂ a mais do que no Cenário de Referência na mesma época.

Por outro lado, alcançar esse potencial pressupõe superar certas barreiras. O ciclo do eucalipto, a principal espécie usada no Brasil no plantio de florestas, é em geral completado em 21 anos (ou seja, três rodízios de sete anos), como já foi discutido no Capítulo 2. Assim sendo, a atividade requer um longo período de maturação que envolve grandes volumes de investimento em terras. Considerando que os primeiros retornos sobre o investimento ocorrem apenas após o sétimo ano, os empréstimos correspondentes deveriam idealmente ter um período de carência de 7 anos, e a duração mínima de 10 anos. Atualmente, essa estrutura de crédito não existe nos bancos comerciais brasileiros, e é rara nos bancos públicos. Os recursos da maior parte dos programas federais de financiamento (por exemplo, o PROPFLORA ou o PRONAF) são limitados à produção em pequena escala que, ainda que necessária, é insuficiente para enfrentar o déficit de plantações de florestas no Brasil. Muito embora experiências dos estados, como o Programa Proflorestas, do Banco de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais (BDMG), tenham sido relativamente bem-sucedidos, eles sofrem também da falta de recursos financeiros.

O acesso a crédito é uma outra barreira, por causa de aspectos referentes às garantias e às exigências da política ambiental. Por exemplo, vários bancos ainda usam as florestas plantadas como garantia de empréstimos, enquanto, para outros cultivos, a “planta no chão” possa ser usada como garantia. Frequentemente, só a terra já pode ser considerada como garantia. A não observação de requisitos do licenciamento ambiental pelas empresas que buscam crédito exacerba a questão, o que demonstra a necessidade de uma melhor coordenação entre as políticas de financiamento público e a capacidade dos agentes econômicos.

Outros problemas têm a ver com o arcabouço regulatório para a silvicultura, com os custos de transação e com a conversão das tecnologias usadas. As empresas são obrigadas a obter licenças para a colheita e para o transporte de madeira das florestas plantadas, o que não ocorre no caso da colheita de cultivos agrícolas. Além disso, os custos de transação para o plantio e o manejo de florestas de produção de carvão vegetal renovável (por exemplo, longo período de maturação e grande quantidade de mão-de-obra necessária) são significativamente mais altos do que os aplicados a produtos alternativos que resultam do desmatamento (como o carvão vegetal não renovável). Por fim, as tecnologias tradicionais de carbonização usadas para transformar a madeira em carvão vegetal são ineficientes.

A superação dessas barreiras sugere medidas importantes para melhorar o financiamento e o ambiente regulatório. Em primeiro lugar, os atuais instrumentos de financiamento poderiam ser ajustados, para facilitar a maior disponibilidade de crédito durante toda a cadeia produtiva da indústria do ferro e do aço que usa o carvão vegetal renovável. O apoio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto permitiria que o Brasil se beneficiasse de métodos já existentes, que cobrem uma parte significativa da cadeia de produção.⁶⁰ Além disso, a revisão do arcabouço regulatório do setor poderia visar a simplificação do processo de licenciamento ambiental, sem prejudicar a integridade socioambiental das atividades. Para garantir o controle sobre a origem da madeira, poderiam ser implementadas medidas para fortalecer a estrutura de inspeção do uso ilegal de carvão vegetal não renovável resultante do desmatamento.

60 Várias metodologias já foram aprovadas pelo MDL para reflorestamento tanto para o uso industrial como comercial e para o reflorestamento em áreas protegidas.

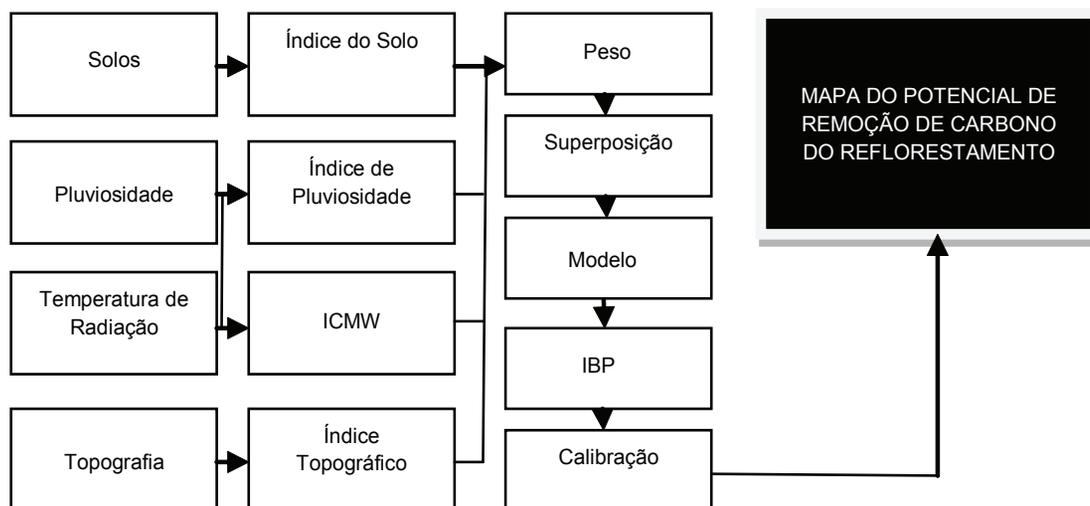
3.4.2 Restauração de Florestas Nativas

Como já ficou ilustrado no Capítulo 2, existe algum potencial para remoção de CO₂ através do crescimento natural de florestas degradadas, que já foi mencionado no Cenário de Referência. Entretanto, devido aos obstáculos de natureza botânica mencionados anteriormente, permanece limitado o potencial de captura de carbono associado ao crescimento natural. Apesar desses desafios, vários estudos e projetos já demonstraram que o plantio de florestas pode promover o reestabelecimento acelerado da cobertura de plantas nativas; esses plantios induzem mudanças microclimáticas, que favorecem a germinação e o estabelecimento de brotações e a geração de uma camada de serapilheira e húmus que aumentam a fertilidade do solo. Ainda, a sombra das árvores jovens ajuda a suprimir as gramíneas invasoras. Por causa das grandes áreas de ecossistemas degradados, como terras abandonadas de pastagem e de agricultura, onde poderiam ser implementadas atividades de restauração florestal, essas atividades podem representar significativo potencial de remoção de carbono no Brasil.

3.4.2.a Modelagem do potencial de remoção de carbono através do restauro de florestas nativas

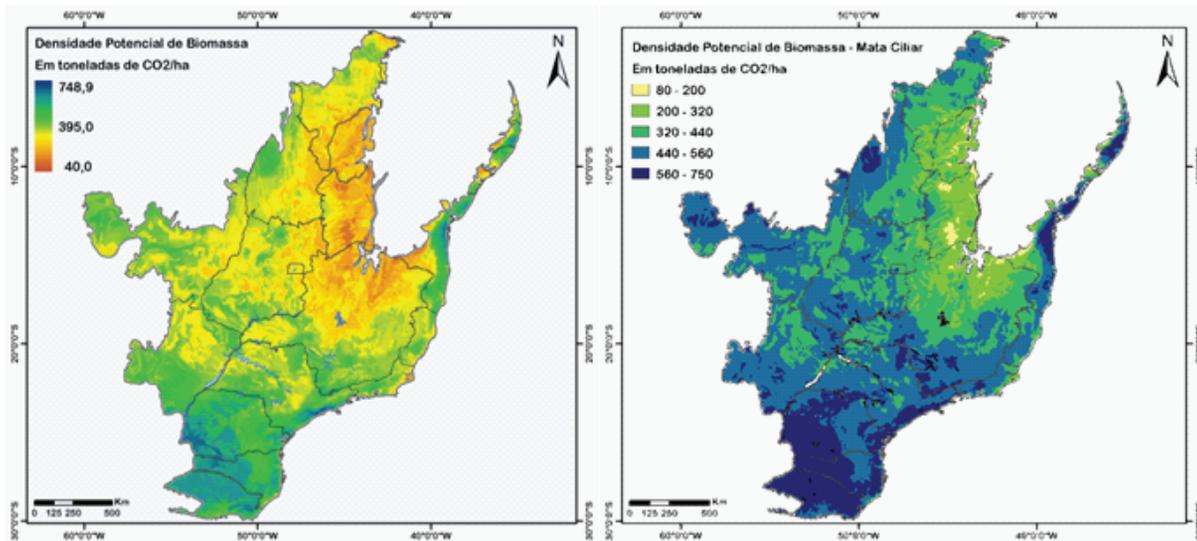
Para avaliar o potencial de remoção de CO₂ obtido através do restauro de florestas nativas, o estudo desenvolveu um modelo de potencial de biomassa nos biomas mais promissores: o Cerrado e a Mata Atlântica. Esses biomas, que abrigaram grandes áreas florestais no passado, foram severamente agredidos pelo desmatamento ao longo dos últimos 200 anos. Foram usados dados meteorológicos (por exemplo, pluviosidade, estação seca e temperatura), além de variáveis edáficas (solo e topografia) para geração dos índices de potencial de biomassa (Figura 3.4). Em seguida, os resultados foram calibrados com valores encontrados na literatura, para simulação do potencial de remoção de carbono para matas ciliares e não ciliares nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica,⁶¹ para os quais foram criados mapas (Figura 3.5).

Figura 3.4: Fluxograma do Modelo Usado para Mapear o Potencial de Remoção de CO₂ através do Reflorestamento



61 Florestas ripárias, que margeiam rios, são menos sujeitas ao déficit hídrico do que outras formações florestais nesses biomas.

Figura 3.5: Mapas do Potencial de Biomassa nos Biomas Brasileiros do Cerrado e da Mata Atlântica (tCO₂ por ha)



Matas Não Ciliares

Matas Ciliares

Existem motivos tanto econômicos quanto ecológicos que limitam o restauro de florestas nativas. Para começar, é uma atividade dispendiosa. Em segundo lugar, propriedades rurais perderiam áreas produtivas durante o período de regeneração da cobertura vegetal. Por esses motivos, é raro o restauro florestal ser uma atividade voluntária; na verdade, ocorre principalmente como obrigação legal. Entretanto, devido aos custos incorridos pelos proprietários de terras, não é fácil a aplicação da legislação. Por exemplo, o estado de São Paulo possui um déficit de mais de 1 milhão de hectares de matas ciliares, apesar dos esforços do governo do estado de criar programas de reflorestamento (por exemplo, o Projeto de Restauro de Florestas secundárias, com financiamento do GEF) e das linhas federais de créditos dirigidas à restauração da cobertura vegetal em propriedades rurais. Assim, a estimativa do potencial de remoção do carbono através do restauro florestal exige o estabelecimento de metas para essas atividades. Como resultado de consultas com representantes do governo, este estudo adotou como meta a obediência à lei florestal com relação às áreas de preservação florestal e reservas. Os custos de implementação dessa meta são analisados no Capítulo 7.

3.4.2.b Obediência à legislação florestal

O maior potencial de reflorestamento para remoção de carbono no Brasil considerado por este estudo gira em torno de um “Cenário da Legalidade”, que envolve a obediência e a aplicação das leis que regem o manejo e a utilização de matas ciliares e reservas legais (Quadro 3.1). A estimativa desse potencial envolve um cálculo com duas etapas: (i) determinação da área exigida para obediência da legislação e (ii) estimativa do potencial de remoção de CO₂ resultante do restauro da floresta nativa nessa área.

Quadro 3.1: Em Direção a um “Cenário Legal”: Principais Áreas para Proteção

Áreas de Preservação Permanente

As Áreas de Preservação Permanente (APP) são áreas florestais, encontradas às margens de rios, lagos e outros corpos aquáticos, que preservam os recursos hidrológicos, evitam a erosão do solo, mantêm a paisagem e a estabilidade geológica, assegurando o bem-estar de seres humanos. No caso das matas ciliares no Brasil, a largura da APP depende da largura do rio (Tabela A).

Tabela A: Comparação da largura do rio e da APP

Largura do rio (m)	Largura da APP (m)
Até 10	30
10-50	50
50-200	100
200-600	200
Mais de 600	500

Reservas Legais

Reservas Legais são áreas no interior de propriedades ou terrenos rurais brasileiros (com exceção das APP) que são vitais para o uso sustentável dos recursos naturais, para a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e para a conservação da biodiversidade. O percentual de terra separado como reserva legal varia por bioma :

- 80%, em propriedade rural localizada na Amazônia Legal;
- 35%, em propriedade rural situada em área de cerrado e localizada na Amazônia Legal;
- 20%, em propriedade rural situada em áreas de floresta ou outras formas de vegetação nativa nas demais regiões do país, principalmente a Mata Atlântica.

Para estimar a quantidade de terras necessárias para atender às disposições da Lei de Reservas Legais, este estudo utilizou a área do município como base para cálculo do percentual da reserva legal. Excluiu as unidades de conservação (UC's), as terras indígenas, as APPs dos principais cursos d'água, áreas com declividade superior a 15%, solos inadequados e áreas urbanas. Foram usados os percentuais de reservas legais definidos pelo Código Florestal (Quadro 3.1, Tabela B). Além disso, foram excluídas áreas com vegetação nativa, incluindo vegetação secundária, savanas e florestas. A área que restou foi igual à área para restauro florestal em cumprimento da Lei de Reserva Legal.

Para estimar o potencial de remoção, a equipe do estudo supôs que as áreas de reserva legal a serem restauradas seriam reflorestadas de forma gradual até 2030, quando seria atingida a situação de legalidade plena. A partir de 2010, seria deduzido a cada ano 1/21 da área total a ser reflorestada da área disponível para produção agrícola. O passivo ambiental para o país foi estimado como sendo cerca de 44 milhões de ha, dos quais aproximadamente um terço estaria localizado na região amazônica (Tabela 3.3).

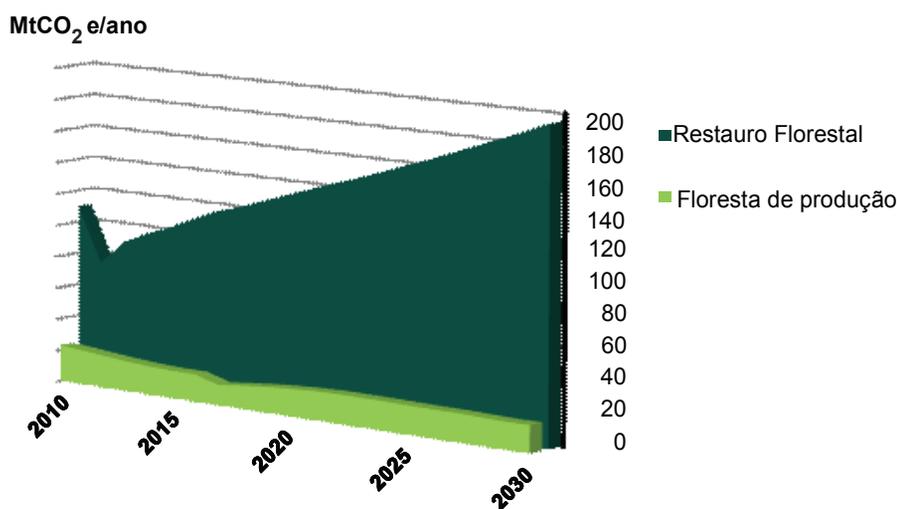
Tabela 3.3: Área Necessária para Reflorestamento de Acordo com a Lei de Reservas Legais do Brasil, por Estado

<i>Estado</i>	<i>Área para reflorestamento (ha)</i>	<i>Estado</i>	<i>Área para reflorestamento (ha)</i>
Mato Grosso do Sul	3.398.792	Acre	721,161
Mato Grosso	9.465.888	Amazonas	34,848
Goiás	2.611.730	Roraima	46,757
Distrito Federal	0	Pará	11,369,199
Maranhão	40.959	Amapá	0
Piauí	0	Tocantins	1,644,537
Rio Grande do Norte	3.062	Paraná	1,711,257
Paraíba	27.167	Santa Catarina	398,679
Pernambuco	58.239	Rio Grande do Sul	1,184,241
Alagoas	91.861	Minas Gerais	2,682,095
Sergipe	118.800	Espírito Santo	205,436
Bahia	242.079	Rio de Janeiro	178,087
Rondônia	4.794.589	São Paulo	3,314,927
Total para o Brasil: 44.344.390 ha			

Fontes: ICONE, UFMG.

O estudo estimou o potencial de remoção de carbono para o Cenário da Legalidade como sendo aproximadamente 2.9 GtCO₂ durante o período estudado, ou seja, cerca de 140 MtCO₂e por ano (Figura 3.6).⁶²

Figura 3.6: Potencial de Remoção de Carbono das Atividades de Restauo Florestal e Florestas de Produção



62 Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 112MtCO₂ por ano, em média.

É importante observar que a observação das disposições referentes às reservas legais implica em liberar a terra correspondente atualmente ocupada por outras atividades (por exemplo, plantio ou pastagem). Isso quer dizer que o uso da terra e a mudança no uso da terra projetados no Cenário de Referência (Capítulo 2) precisariam ser revistos. Essa revisão seria significativa, uma vez que a área liberada para a aplicação da lei florestal seria igual a mais do que o dobro da área desmatada estimada no Cenário de Referência. Com isso, corre-se o risco de ver os benefícios conquistados pela remoção de carbono resultante das atividades desenvolvidas nas florestas parcialmente perdidos, devido à maior conversão de vegetação nativa para acomodar as plantações e pastagens deslocadas pelas reservas legais restauradas.

3.5 Chegando a um Equilíbrio: Uma Nova Dinâmica para o Uso da Terra e a Mudança no Uso da Terra

Este estudo propõe um Cenário de Baixo Carbono para o uso da terra e a mudança no uso da terra no Brasil que focalize principalmente (i) a contenção da demanda nacional por terras para cultivo e pastagem, para reduzir as emissões geradas pelo desmatamento, (ii) a expansão das opções identificadas de mitigação para a agricultura e a pecuária e (iii) a maximização do potencial de remoção de carbono associado às reservas legais de florestas e às florestas de produção. Esta Seção apresenta formas sugeridas para a implementação desse cenário, bem como os resultados esperados de um balanço melhorado de carbono no setor de LULUCF.

3.5.1 Uma Nova Dinâmica para um Cenário de Baixo Carbono

Uma conclusão importante das investigações do estudo sobre a mitigação de emissões foi que a redução da fonte principal de emissões, o desmatamento, exige a liberação de terras suficientes de pastos existentes para acomodar todas as novas atividades, e assim evitar a conversão de vegetação nativa.

As seções anteriores apresentaram oportunidades para evitar as emissões de GEE e de remoção de carbono associadas ao uso da terra e às mudanças no uso da terra, em especial emissões resultantes da agricultura e da pecuária, além de remoção de carbono através de florestas de produção e restauro de florestas nativas. Entretanto, organizar um Cenário de Baixo Carbono não é exercício simples que envolva somar (no caso de evitar as emissões) ou subtrair (no caso da remoção de carbono) os volumes de GEE associados a essas oportunidades. Por exemplo, se por um lado, aumentar a área de terras alocadas ao restauro de florestas e às florestas de produção resulta em remoção de carbono e na redução das emissões das usinas de ferro, por outro, reduz a quantidade de terra que poderia estar disponível para a expansão da agricultura e da pecuária. Na sequência, o potencial de conversão de mais áreas com vegetação nativa para esta expansão da agricultura e da pecuária geraria um vazamento de carbono. Para evitar essa situação, é preciso encontrar maneiras não apenas de reduzir a quantidade adicional de terras necessárias de acordo com o Cenário de Referência, mas também de liberar terras para as atividades consideradas de mitigação e remoção, mantendo ao mesmo tempo o mesmo nível de produtos.



3.5.1.a Necessidades Adicionais de Terra para Atividades Ligadas à Remoção de Carbono e Exportação de Biocombustível

No Cenário de Baixo Carbono, a quantidade de terras adicionais necessárias para a redução das emissões e para a remoção de carbono totaliza mais de 53 milhões de ha. Desse volume, mais de 44 milhões de ha – o dobro da expansão de terras projetada no Cenário de Referência – destina-se ao restauro de florestas segundo a Lei de Reserva Legal (Brasil). O volume total de terra adicional necessária é maior do que 70 milhões de ha, mais de duas vezes a quantidade de terra plantada com soja (21,3 milhões de ha) e cana-de-açúcar (8,2 milhões de ha) em 2008, ou mais do que duas vezes a área de soja projetada para 2030 no Cenário de Referência (30,6 milhões de ha) (Tabela 3.4).

Tabela 3.4: Opções de Mitigação e Remoção para um Cenário de Baixo Carbono e Necessidades Associadas de Terra Adicional

<i>Cenário</i>	<i>Terra adicional necessária (2006–30)</i>
Cenário de Referência: volumes adicionais de terras necessárias para a expansão da agricultura e da pecuária	<i>Expansão da produção da agricultura e da pecuária para atender as necessidades previstas para 2030: → 16,8 milhões de ha</i>
Cenário de Baixo Carbono: volumes adicionais de terras necessárias para medidas de mitigação	<i>Eliminação do carvão não renovável em 2017 e participação de 46% de carvão renovável para a produção de ferro e aço em 2030: → 2,7 milhões de ha</i>
	<i>Expansão da cana-de-açúcar, para aumentar a substituição da gasolina com etanol em até 80% no mercado interno e fornecer 10% da demanda global estimada, para chegar a uma mistura global média na gasolina de 20% de etanol até 2030. → 6,4 milhões de ha</i>
	<i>Restauro do passivo ambiental das florestas legais, calculadas em 36,2 milhões de ha em 2030. → 44,3 milhões de ha</i>
Total	70,4 milhões de hectares adicionais

Uma consequência possível é que a expansão do uso da terra para atividades que promovam níveis inferiores de emissões, substituição de combustíveis fósseis (da forma detalhada no Capítulo 4) ou até mesmo a captura do carbono poderão provocar um excesso na demanda pelo uso da terra que, por sua vez, poderia gerar desmatamento, induzindo um balanço líquido mais baixo de remoção de carbono.

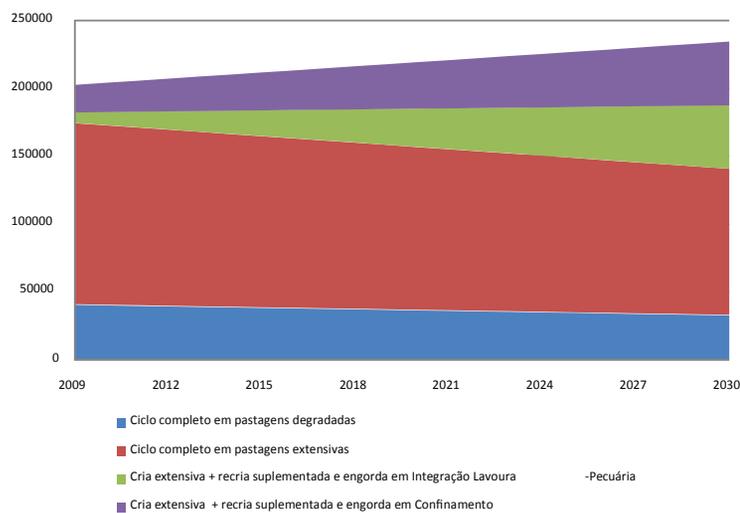
3.5.1.b Em Direção a um Novo Padrão de Produtividade para a Pecuária

O estudo simulou a nova distribuição de sistemas produtivos para a pecuária, que deveriam ser promovidos para liberar terras de pastagem suficientes para acomodar toda a demanda por terra adicional derivada da expansão do cultivo no Cenário de Referência e para a implementação de novas opções de redução e remoção propostas de acordo com o Cenário de Baixo Carbono.

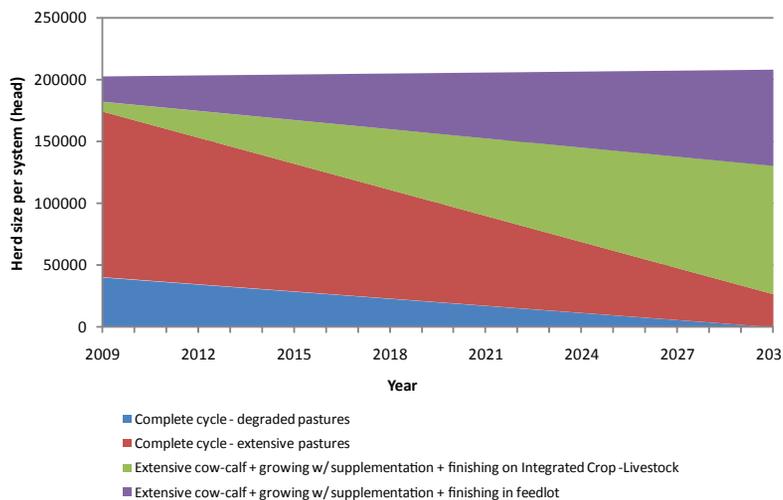
Para aumentar a produtividade da pecuária por hectare – absorvendo assim a expansão da agricultura e outras atividades de baixo carbono sem causar desmatamento e ao mesmo tempo reduzindo as emissões por unidade de carne – foram consideradas cinco opções: (i) promoção da recuperação de pastagem degradada; (ii) estímulo à adoção de sistemas produtivos que empreguem confinamento na engorda; (iii) estímulo à adoção de sistemas lavoura-pecuária; (iv) desenvolvimento de programas de melhoramento genético para forragem adaptada ao Brasil, de qualidade superior e geradora de menos emissões e (v) desenvolvimento de programas de incentivo para o uso de touros geneticamente superiores.

O efeito projetado dos sistemas produtivos considerados para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono são comparados a seguir (Figura 3.7).

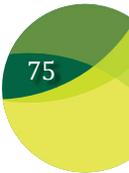
Figura 3.7: Variação do Número de Cabeças de Gado em Sistemas Produtivos, 2009–30



Cenário de Referência



Cenário de Baixo Carbono



As taxas mais altas de lotação associadas à maior produtividade do rebanho, como efeito combinado da recuperação de áreas degradadas e da adoção de sistemas mais intensivos de lotação e engorda (integração de sistemas de lavoura-pecuária e confinamento), refletem-se na acentuada redução da demanda por terra, projetada para ser de 137,82 milhões de hectares no Cenário de Baixo Carbono, comparados a 207,06 milhões de ha no Cenário de Referência para o ano 2030 (Tabela 3.5). A diferença seria suficiente para absorver a demanda por terra adicional associada tanto à expansão da agricultura e da pecuária no Cenário de Referência, quanto à expansão das atividades de mitigação e remoção no Cenário de Baixo Carbono (Figura 3.8).

Tabela 3.5: Comparação dos Resultados de Uso da Terra nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (milhões de ha)

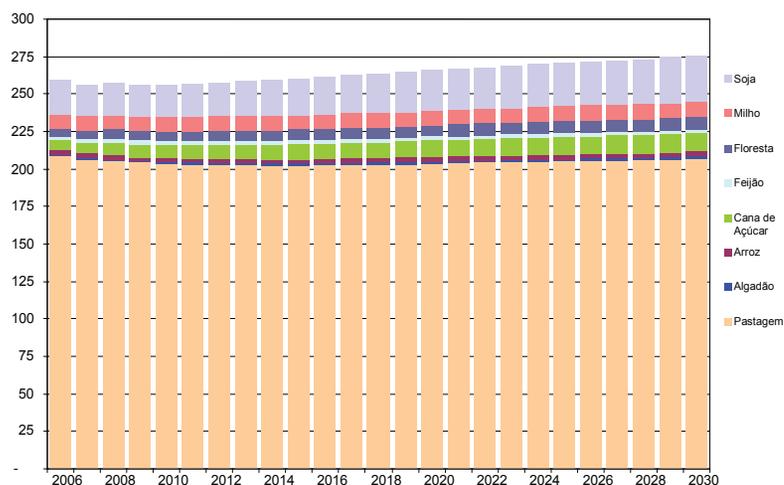
Uso da Terra	2006	2008	Cenário de Referência		Cenário de Baixo Carbono		Diferença em 2030 – baixo carbono / referência
			2030	Var. 2030-2006	2030	Var. 2030-2006	
Grãos (colheita)	38,94	37,79	47,92	8,98	47,86	8,92	(57)
Cana-de-açúcar	6,18	8,24	12,70	6,52	19,19	13,01	6,49
Floresta de Produção	5,27	5,87	8,45	3,18	11,17	5,90	2,72
Pastagem	208,89	205,38	207,06	(1,83)	137,82	(71,07)	(69,24)
Área total para agricultura e pecuária ¹	259,27	257,28	276,13	16,85	216,04	(43,23)	(60,08)
Restauração	-	-	-	-	44,34	44,34	44,34
Balanço						1,11 ²	(15,74)
Rebanho (por 1.000 cabeças)	205,90	201,10	234,46	28,570	208,000	2,120	(26,46)

¹ Área total alocada a algodão, feijão (1ª colheita), milho (1ª colheita), soja, cana-de-açúcar, floresta de produção e pastagem.

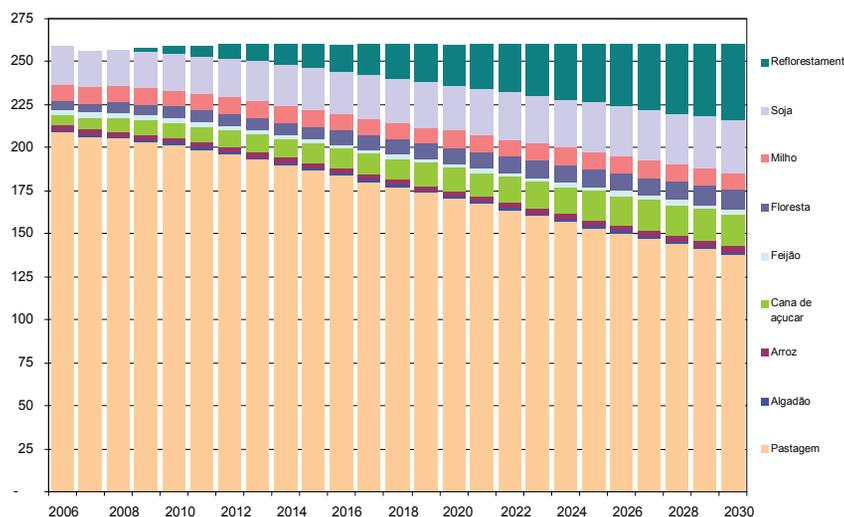
² Representa a expansão da área agrícola entre 2006 e 2008 nas regiões Norte e Nordeste.

Fonte: ICONE

Figura 3.8: Evolução da Demanda por Terra no Brasil, por Cultivo - 2006-30 (Milhões de ha)



Cenário de Referência



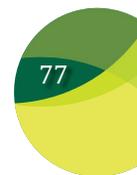
Cenário de Baixo Carbono

Fonte: Adaptado de ICONE (2009).

3.5.1.c Um Novo Cenário de Uso da Terra para os Principais Cultivos e para Pastagem

Com os novos dados fornecidos pelo grupo de modelagem econômica referente à demanda por terra no Cenário de Baixo Carbono – cujo desenvolvimento baseou-se numa ampla variedade de melhorias nos índices zootécnicos da pecuária e, conseqüentemente, na redução de áreas dedicadas à pastagem, maior área dedicada à produção de cana-de-açúcar, restauração do passivo ambiental com respeito às reservas legais e APPs e maior participação do carvão vegetal renovável nas usinas de ferro – o modelo de simulação para mudanças no uso da terra adotado no Cenário de Referência foi rodado novamente.

Com base nos resultados da simulação, foram criados mapas que mostram a dinâmica da mudança do uso da terra no Cenário de Baixo Carbono para os principais produtos agrícolas,



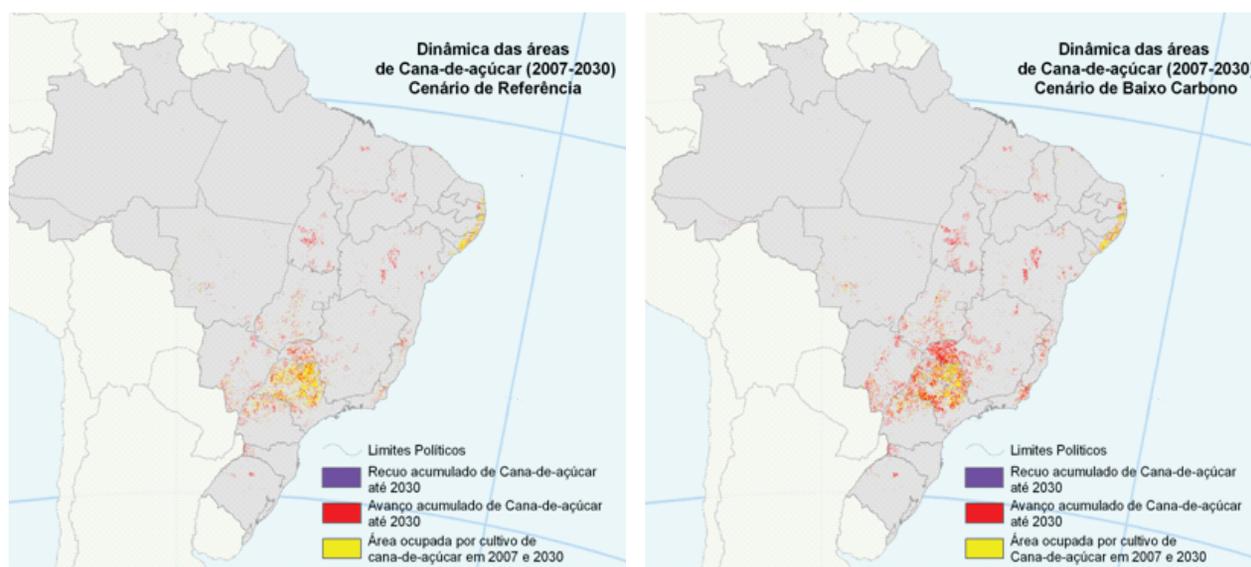
terras de pastagem e plantações de florestas. De todos os produtos simulados, é a cana-de-açúcar que exibe a dinâmica mais alterada, em comparação com o Cenário de Referência, devido à maior extensão da área de cultivo necessária para expandir a produção do etanol. Os padrões de distribuição geográfica permanecem os mesmos, acompanhados por uma intensificação das áreas de expansão mencionadas no Cenário de Referência (Figura 3.9).

Com respeito à dinâmica da cobertura de plantação de florestas, os resultados da simulação revelaram diferenças importantes entre as projeções dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono. No Cenário de Referência, eram poucas as áreas de expansão; por outro lado, no Cenário de Baixo Carbono ocorreram com frequência, em áreas próximas às plantações anteriores.

No caso do cultivo da soja, os resultados da simulação mostraram poucas mudanças entre o Cenário de Referência e o de Baixo Carbono. O padrão da distribuição geográfica permaneceu o mesmo (por exemplo, nos estados do Sul, do Centro-Oeste, no Triângulo Mineiro e na parte Ocidental de Minas Gerais, na parte Ocidental da Bahia, nas regiões do Piauí e do Maranhão).

Percebe-se uma intensa alteração da dinâmica das áreas de pastagem em relação ao Cenário de Referência, devido aos novos pressupostos do Cenário de Baixo Carbono. Considerando-se a previsão de considerável redução na demanda por terras de pastagem no Cenário de Baixo Carbono, as terras já utilizadas com essa finalidade em 2007 intensificaram o seu papel de “doadoras” para outros cultivos, em especial nas regiões Centro-Sul e Nordeste. Com exceção de poucas áreas isoladas na parte Nordeste de Minas Gerais, no Rio Grande do Sul, no Paraná e em Santa Catarina, predomina a contração de áreas de pastagem nessa vasta parte do país. Ainda, nas microrregiões onde ocorrem tanto a demanda por terras quanto o passivo ambiental (ou seja, desmatamento acima dos limites legais), o Cenário de Baixo Carbono indica uma virada na taxa de desmatamento, devido à implementação do processo de recuperação ambiental. Porém, ainda podem ser observadas áreas de expansão de pastagem, como resultado do desmatamento na Amazônia, considerando a coincidência entre a demanda por mais terras para esse tipo de emprego e a ausência de passivos ambientais nas terras desenvolvidas (Figura 3.10).

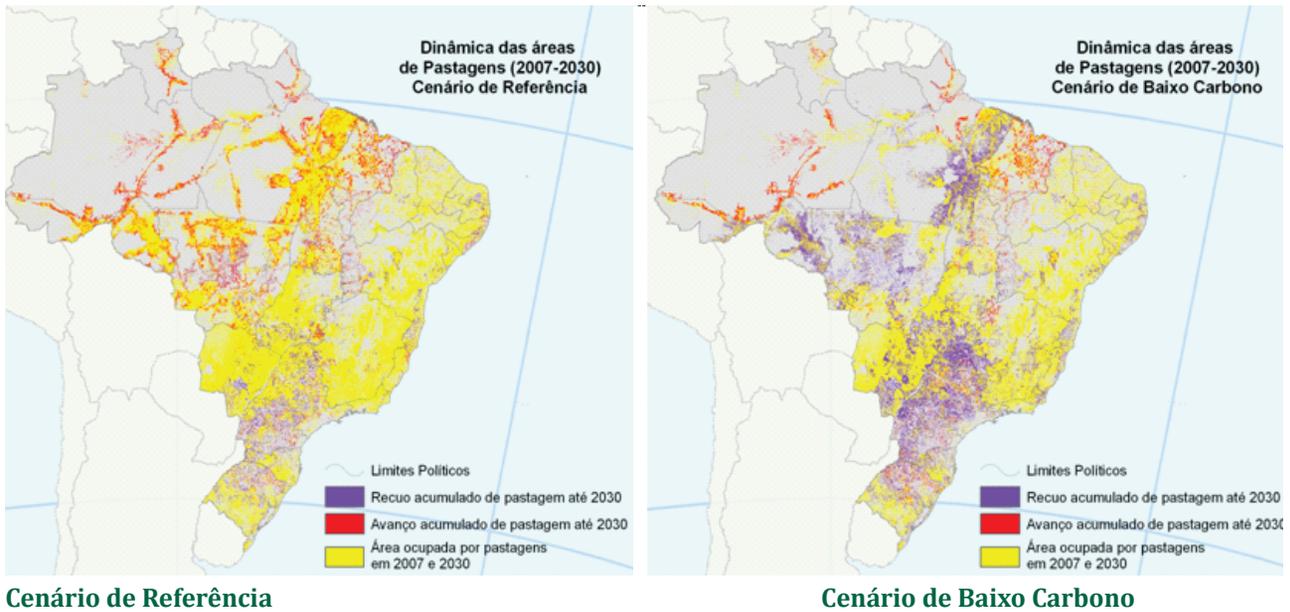
Figura 3.9: Comparação entre a Dinâmica do Uso da Terra para o Cultivo de Cana-de-Açúcar, 2007–30



Cenário de Referência

Cenário de Baixo Carbono

Figura 3.10: Comparação da Dinâmica do Uso da Terra para Áreas de Pastagem, 2007–30



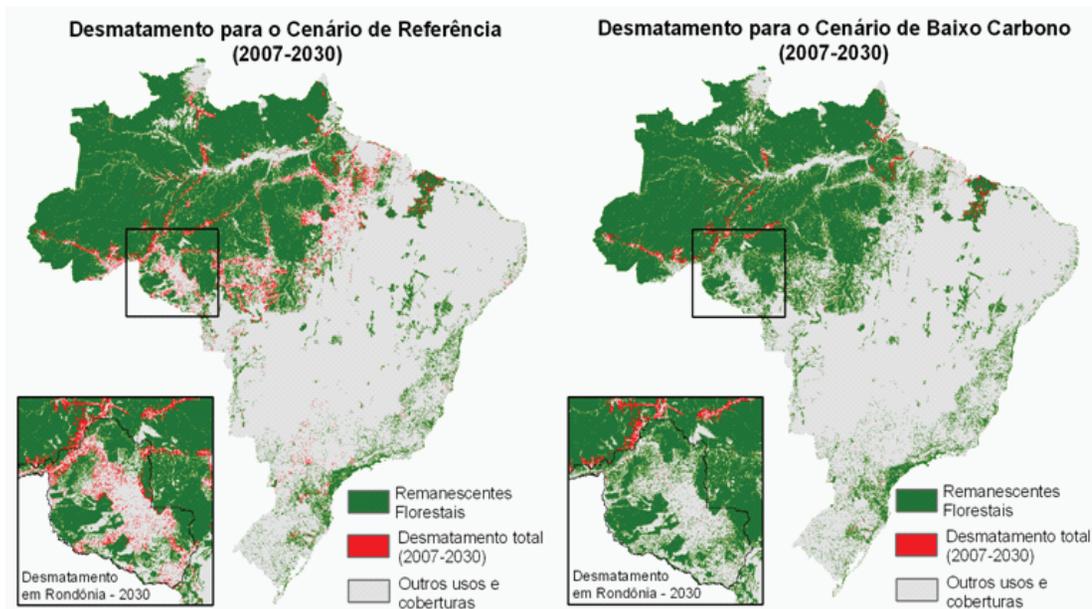
Cenário de Referência

Cenário de Baixo Carbono

Fonte: UFMG (2009).

A redução na demanda por terra, calculada com base em suposições geradas pelo Cenário de Baixo Carbono, levaria a uma redução das taxas de desmatamento, em comparação com o Cenário de Referência. Foram produzidos novos mapas de uso do solo e de desmatamento com o mesmo modelo espacial de emissões geradas pelo uso da terra desenvolvido com a plataforma Dinamica EGO (Figura 3.11). O modelo do Cenário de Baixo Carbono funciona como um cenário da legalidade, ou seja, quando há passivos ambientais, as taxas de desmatamento são estabelecidas em zero e é iniciada uma simulação de processo de regeneração para a microrregião em questão.

Figura 3.11: Comparação do Desmatamento Cumulativo, 2007–30



Cenário de Referência

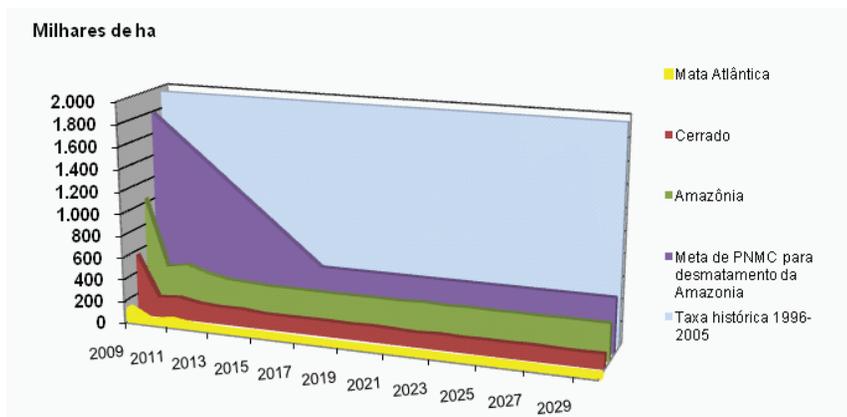
Cenário de Baixo Carbono

As projeções baseadas em modelos indicam que de acordo com a nova dinâmica de uso da terra o desmatamento seria reduzido em mais de dois terços (68%) em comparação com o Cenário de Referência. Na Mata Atlântica, o desmatamento seria reduzido em cerca de 90%, enquanto na região amazônica e no Cerrado verificar-se-iam reduções de 70 e 65%, respectivamente. Na região amazônica, o nível de desmatamento cairia a aproximadamente 17% da média histórica anual de 19.500 km²⁶³.

De acordo com as expectativas, com a demanda por terras de pastagem reduzida a zero, da forma projetada pelo módulo do ICONE, as taxas de desmatamento seriam também levadas a zero; entretanto, não é isso o que ocorreu. O desmatamento prossegue ainda em determinadas partes dos estados amazônicos do Acre e do Pará, devido à incorporação do modelo de causas indiretas, através de regressão espacial *lag* (como no Cenário de Referência). Assim, nas microrregiões onde não tenha sido alcançado o limite legal de desmatamento em 2009 – onde ainda houver espaço para desmatamento legal e onde a dinâmica modelada indireta for o fator determinante – continuará a ocorrer desmatamento.

Ainda, muito embora o desmatamento residual não seja exatamente igual a zero, o seu valor residual é compatível com a meta de redução de desmatamento na Amazônia de 70%, estabelecida para 2017 pelo PNMC, que tem como base a média histórica de 19.500 km² por ano. Assim sendo, os valores anuais médios de 4.000 km² gerados pelo modelo estão abaixo do limiar de 5.000 km² por ano estabelecido como meta final para o Brasil (Figura 3.12).

Figura 3.12: Evolução do Desmatamento no Cenário de Baixo Carbono (curva) (km² por ano)



Fonte: UFMG (2009).

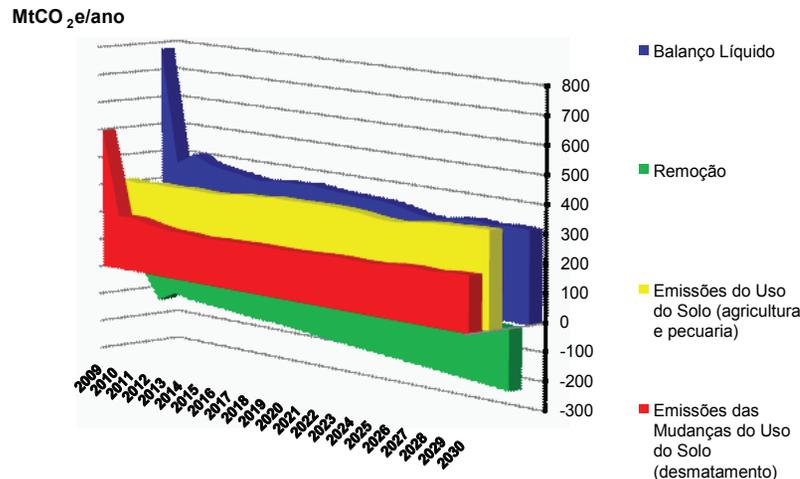
3.5.2 m Novo Balanço de Carbono Próximo ao Equilíbrio

A interação entre esses novos fatores introduzidos no modelo registram as emissões anuais para o período 2007-2030 resultantes do remoção de carbono, uso da terra e mudanças no uso da terra para cada microrregião. Comparadas às projeções no Cenário de Referência (Figura 3.13), as emissões geradas pelo desmatamento são consideravelmente mais baixas de acordo com a nova dinâmica de uso da terra considerada no Cenário de Baixo Carbono (Figura 3.14), ficando ao redor de 170-190 MtCO₂ e por ano durante grande parte do período. Essa queda se deve à demanda menor por áreas de pastagem e à subsequente queda na necessidade de transformar terras através do desmatamento, como já foi explicado. As emissões anuais geradas pelo uso

63 Durante o período de 1996 a 2005, a taxa histórica de desmatamento na região amazônica era de 1,95 milhão de hectares por ano, de acordo com o PNMC.

da terra (agricultura e pecuária) crescem no período em 310–340 MtCO₂e, com as geradas pela agricultura respondendo pela maior parte desse aumento. Mesmo assim, verifica-se uma redução geral de 6% nas emissões, em comparação ao Cenário de Referência. Quanto às emissões de CH₄ geradas pela criação de gado de corte, permanecem relativamente estáveis, ao nível de 236–249 MtCO₂e por ano, já que o ganho representado pela redução na produção de CH₄ por unidade de carne é compensado pelo crescimento na produção.

Figura 3.13: Emissões Geradas pelo Uso da Terra e pela Mudança no Uso da Terra de Acordo com a Nova Dinâmica de Uso da Terra, no Cenário de Baixo Carbono



Finalmente, a remoção de carbono exibe uma trajetória crescente, apresentando uma taxa inicial de aproximadamente 133 MtCO₂ por ano para 2010 e uma taxa final de 213 MtCO₂ por ano para 2030, como função da expansão da cobertura de florestas plantadas e da recuperação dos passivos ambientais das reservas legais e das APPs. O balanço resultante entre uso, mudança e remoção de carbono exibe uma queda no volume das emissões líquidas entre 2007 e 2030, chegando a uma taxa de cerca de 321 MtCO₂e por ano em 2030, uma redução de quase 65% em comparação com o Cenário de Referência.⁶⁴

3.6 Medidas Adicionais para Proteção das Florestas

De acordo com as suposições adotadas no modelo, a redução na demanda por terras de pastagem não é suficiente para reduzir a zero as taxas de desmatamento no Cenário de Baixo Carbono, uma vez que existem fatores indiretos que também causam desmatamento. O modelo inclui ainda as causas indiretas, que contribuem também para o desmatamento e que não foram capturadas pelas variáveis de disponibilidade de terra. Esses resultados refletem a necessidade de medidas adicionais para contenção do processo, muito embora muitas delas já estejam ocorrendo, através da implementação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM), que aumenta a capacidade de execução e a consolidação das políticas de conservação para a floresta tropical amazônica.

Entre as medidas em vigor e outras propostas, aparecem a seguir os principais programas em cinco áreas principais.

⁶⁴ Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 112MtCO₂ por ano, em média, reduzindo assim as emissões líquidas

Expansão e consolidação das áreas protegidas. De acordo com o Programa de Áreas Protegidas da Região Amazônica (ARPA) iniciado pelo governo brasileiro em 2003, foram criados mais de 30 milhões de hectares de Unidades de Conservação (UCs) como Áreas de Proteção Integral e Áreas Protegidas de Uso Sustentável, através de uma iniciativa apoiada por parceiros nacionais (MMA e ICMBio) e internacionais (*World Wildlife Fund*, Banco Mundial e KfW), que se comprometeram a investir R\$400.000,00 no Fundo de Áreas Protegidas. O ARPA está sendo implementado em três etapas, e deverá criar cerca de 50.000 ha de áreas protegidas (Tabela 3.6).⁶⁵

Tabela 3.6: Fotografia das Áreas Protegidas no Bioma da Amazônia e Participação do ARPA

Áreas Protegidas ou Militares	Nº	Área (km ²)	Porção do bioma (%)	Área protegida apoiada pelo ARPA (%)	
Área Militar	6	26.235	0,6	-	
Terras indígenas	282	987.219	23,4	-	
Proteção total	Estadual	44	137,385	3,3	22,5
	Federal	37	231,072	5,5	80,6
Uso sustentável	Estadual	72	201,918	4,8	13,2
	Federal	80	233,523	5,5	26,2
Total	521	1.817.355	43,0	16,8	

Fonte: Soares-Filho et al. (2008).

Vários estudos já confirmaram a importância das áreas protegidas, e especificamente do ARPA, como auxiliares para evitar o desmatamento. A queda nas taxas históricas de desmatamento por região a partir de 2004–05 pode ser em parte atribuída a uma série de medidas, que fazem parte do PPCDAM, incluindo a criação e a consolidação de UCs. De acordo com Soares-Filho et al. (2009), a probabilidade de o desmatamento ocorrer ao redor de áreas protegidas é 10 vezes maior do que no interior delas. Com base na análise das taxas históricas de desmatamento ao redor de áreas protegidas, o autor demonstrou que não existe redistribuição significativa do desmatamento em outras áreas por causa da criação de áreas protegidas. Mesmo assim, a consolidação de áreas protegidas é uma forte medida de mitigação contra o processo de desmatamento observado na Amazônia, a um custo relativamente baixo. Os autores do presente estudo estimam que serão necessários 10,5 bilhões de dólares (VPL) para a consolidação e o manejo da rede de áreas protegidas na Amazônia, durante um período de 30 anos. De acordo com estimativas de Amend et al. (2008), o custo da manutenção dessas áreas será de US\$3,72 por ha.⁶⁶

Desmatamento e Degradação de Floresta de Monitoramento. O Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) desenvolveu vários importantes programas de monitoramento florestal. O PRODES, financiado pelo MCT com a colaboração do IBAMA e do MMA, foi implementado pelo INPE desde 1988. O PRODES realiza análises baseadas principalmente em imagens do sensor TM à bordo do satélite norte-americano Landsat, e fornece taxas anuais de desmatamento na Amazônia Legal, revelando aumentos e reduções em valores brutos das áreas desmatadas e dados especializados nos formatos de vetores e rasters. O Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), outro programa desenvolvido pelo INPE, baseia-se em dados transmitidos pelo sensor MODIS do satélite Terra/Água e do sensor WFI do satélite CBERS

65 Maiores detalhes disponíveis em www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=154

66 Os autores chegaram a essa estimativa baseados nos custos anuais apresentados para a manutenção de 10 áreas protegidas na Amazônia, com custo total de US\$1,76 milhões por ano; maiores detalhes disponíveis em <http://conservation-strategy.org/en/reports/reports>

(com dados menos refinados do que os do PRODES). O sistema DETER fornece informação quase em tempo real sobre as mudanças na cobertura florestal para apoiar as atividades de execução pelo Ibama. Um terceiro programa, Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD), mapeia áreas florestais degradadas (em especial o desmatamento) na Amazônia, usando imagens por satélite do CBERS e do Landsat.

De acordo com um recente relatório de manejo do INPE, os recursos disponíveis para monitoramento por satélite da Amazônia (incluindo os programas já mencionados) totalizaram mais de R\$7 milhões durante um período de três anos (Tabela 3.7).⁶⁷

Tabela 3.7: Recursos do INPE para Monitoramento por Satélite da Amazônia, 2006–08

Ano	Estimativa (milhões de R\$)	Total liquidado (milhões de R\$)
2006	1,42	0,46
2007	2,75	2,07
2008	2,85	2,08

Fonte: INPE (2009).

Desenvolvimento de projetos integrados. O PPCDAM, coordenado pela Presidência da República, é implementado através de ações coordenadas de 13 Ministérios. O seu objetivo geral é reduzir as taxas de desmatamento na Amazônia Brasileira através de uma série de ações integradas, que envolvem ordenações territoriais e fundiárias, juntamente com monitoramento e avaliação, para a promoção de atividades sustentáveis de produção que envolvam parcerias entre órgãos federais, governos estaduais, prefeituras, sociedade civil e o setor privado. O PPCDAM possui três eixos, ao redor dos quais são conduzidas atividades (i) de ordenação fundiária e territorial, (ii) de monitoramento e avaliação ambientais e (iii) de atividades produtivas e sustentáveis. No período 2008–10, o governo planeja investir cerca de US\$500 milhões em atividades relacionadas ao PPCDAM.

O Programa da Amazônia Sustentável (PAS) busca um novo panorama de desenvolvimento, focalizando soluções econômicas que sejam ambientalmente sustentáveis, sendo suas metas e diretrizes baseadas em um diagnóstico atual da Amazônia. O programa é implementado com base em um acordo entre os governos federal e estaduais, e promove a integração da proteção e da produção. Determina uma maior participação dos governos locais no desenvolvimento de ações e de estratégias, aprimorando e regulando a dinâmica da alocação do espaço, fornecendo condições para a implementação desses projetos através da garantia de direitos sociais para as populações e comunidades e a inclusão do capital do setor privado.

Promoção do uso sustentável dos recursos florestais e pagamento por serviços e produtos ambientais. Com o objetivo de promover a conservação da floresta, a concessão para o uso sustentável das florestas públicas visa aumentar a valorização da floresta. Em apoio a essa meta, em 2006 foi aprovada a Lei 11.284, que regula o manejo florestal em áreas públicas. Além disso, a lei criou o Serviço Florestal Brasileiro e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal. Para maximização dos benefícios socioeconômicos, as concessões outorgadas são limitadas a empresas nacionais e obedecem critérios como melhor preço, menor impacto ambiental, maior eficiência e maior acúmulo de valor local. Além disso, o Plano de Concessões Florestais identifica anualmente florestas públicas do cadastro nacional que sejam elegíveis para conversão, bem como o monitoramento necessário e outros recursos de manejo (Tabela 3.8).⁶⁸

⁶⁷ Detalhes disponíveis em www.inpe.br/dspace/bitstream/123456789/896/11/RG2008.pdf

⁶⁸ Detalhes disponíveis em www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/paof_2009_vf_95.pdf

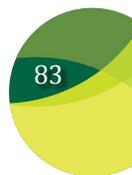


Tabela 3.8: Projeção de Custos para Manejo de Florestas Públicas, 2009

<i>Atividade prevista (sumário)</i>	<i>Recursos (milhões de R\$)</i>
Cadastro nacional de florestas públicas	8,0
Atividades de suporte para manejo florestal	7,8
Concessões de florestas	10,0
Monitoramento de florestas públicas	15,0
Criação do sistema nacional de informações florestais	5,4
Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal	2,5
Implementação da estrutura administrativa do SFB	8,0
Total	56,7

Fonte: Plano Nacional de Outorga Florestal (2009).

O programa Bolsa Floresta, uma das primeiras aplicações no Brasil do conceito de pagamento por serviços ambientais, está sendo implementado pelo governo do estado do Amazonas. Já na sua fase de implementação, o Bolsa Floresta considera pagamentos mensais de R\$50 às famílias registradas no projeto e a residentes das UCs do estado. A permanência das famílias no projeto é vinculada ao desenvolvimento de atividades sustentáveis nessas áreas, que giram principalmente em torno da geração de produtos e serviços que contribuam para a proteção ambiental, incluindo a redução das práticas de desmatamento. A meta do estado inclui 60.000 famílias, e estende o acesso às comunidades indígenas. Os recursos do programa são oriundos do Fundo Estadual para Mudança Climática, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, criado pela Lei Estadual para Mudança Climática.⁶⁹

Cadastro socioambiental. O Cadastro de Compromisso Socioambiental (CCS) é um cadastro voluntário de imóveis cujos proprietários comprometem-se a melhorar o seu desempenho socioambiental. O CCS já inclui mais de 1,5 milhão de ha de propriedades, grande parte das quais está localizada na região da nascente do Rio Xingu. Às propriedades registradas é dado tratamento preferencial pelas fábricas de processamento de carne da região (por exemplo, as fábricas de Independência e Bertim já pagam preços melhores pelo gado oriundo de propriedades constantes do CCS).

3.7 Estratégia Integrada para um Cenário de Baixo Carbono

Em resumo, o estudo propõe uma estratégia abrangente para evitar emissões futuras geradas por desmatamento, complementada por medidas destinadas a mitigar as emissões oriundas da agricultura e da pecuária, aumentando ainda a remoção de carbono da atmosfera relacionada às florestas. A estratégia destinada a evitar emissões geradas pelo desmatamento funciona em duas frentes complementares: (i) eliminação das causas estruturais do desmatamento e (ii) proteção da floresta contra tentativas ainda existentes de derrubadas. A primeira parte funcionaria com os agentes presentes nas terras já desmatadas, enquanto a segunda pressupõe o trabalho com os que possuem interesses em derrubar a floresta.

Eliminar as causas estruturais do desmatamento significaria reduzir virtualmente a zero a necessidade de terras adicionais para expansão da agricultura e da pecuária. Seria possível alcançar essa meta melhorando a produtividade da pecuária, para liberação de áreas de

⁶⁹ Detalhes disponíveis em www.florestavivaamazonas.org.br/download/Lei_est_n_3135_de_050607.pdf

pastagem, em especial pastagem já degradada, para acomodar a expansão da agricultura em terrenos já desmatados. Por outro lado, os resultados do modelo demonstram que a redução da demanda adicional por produtos agrícolas e da pecuária pode não ser suficiente para eliminar a complexa dinâmica que atualmente leva à derrubada das florestas, seja ela em áreas protegidas ou onde o desmatamento é ainda legalmente possível. Assim sendo, são necessárias medidas complementares para proteção, ao menos onde o desmatamento seja ilegal, para que seja possível atingir a meta estabelecida pelo PNMC, de acabar com essa prática.

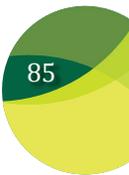
Com o objetivo de proteger a floresta contra outras tentativas de derrubada, o estudo propõe que sejam tomadas medidas de proteção nas áreas de mata onde o desmatamento seja ilegal, o que poderia ser feito de várias formas, que variam de ações repressivas da polícia a projetos que promovam o uso sustentável dos recursos das florestas.

Juntos, a redução da área dedicada à pastagem e a proteção das florestas podem resultar em declínio acentuado das emissões geradas pelo desmatamento. Isso ficou demonstrado no período de 2004 a 2007, quando os novos esforços para a proteção das florestas, combinados a uma ligeira contração do setor da pecuária e, conseqüentemente, da área dedicada à pastagem,⁷⁰ resultaram em redução de 60% no desmatamento (de 27.000 para 11.200 km²). Esse declínio rápido resultou do desmatamento e as emissões associadas a ele estiveram relacionadas à *expansão marginal* da agricultura e da pecuária. Diferentemente de outros setores, onde as emissões baseadas na energia são em geral proporcionais ao *porte pleno* da atividade do setor, as emissões oriundas do desmatamento têm a ver apenas com a *expansão marginal* da agricultura e da pecuária. Sem a expansão marginal da terra necessária para essas atividades, resta pouca ou nenhuma necessidade de converter mais vegetação nativa em área para plantio ou para pasto. Com isso, as emissões do desmatamento podem cair rapidamente, como ficou explicado acima. Caso seja liberada uma extensão suficiente de pastagem para acomodar a expansão da agricultura, a necessidade de desmatamento pode ser rapidamente reduzida, até atingir níveis extremamente baixos.

Entretanto, para ultrapassar os dois terços de redução de desmatamento resultantes da estratégia proposta neste estudo, seria necessário considerar medidas adicionais, que ofereçam alternativas viáveis ao desmatamento nas regiões onde os limites legais para desmatar não tenham ainda sido atingidos, principalmente na região amazônica. Várias experiências e estudos já propuseram formas inovadoras para combinar desenvolvimento regional e redução de desmatamento em áreas onde ainda é legal desmatar. Incluem-se aqui instrumentos para oferecer aos proprietários de terras incentivos para que eles não invoquem o seu direito de desmatar até o limite legal; esses incentivos seriam calibrados, de forma que o custo de oportunidade fosse suficientemente compensado. Essas alternativas, que o presente estudo não pode avaliar em maior detalhe, deveriam ser consistentes com o desenvolvimento socioeconômico da região, sendo assim integradas a uma perspectiva mais ampla de desenvolvimento que não apenas considerasse a compensação pela eliminação de oportunidades econômicas, mas que propusesse também novas oportunidades, que fossem consistentes com a manutenção da floresta.

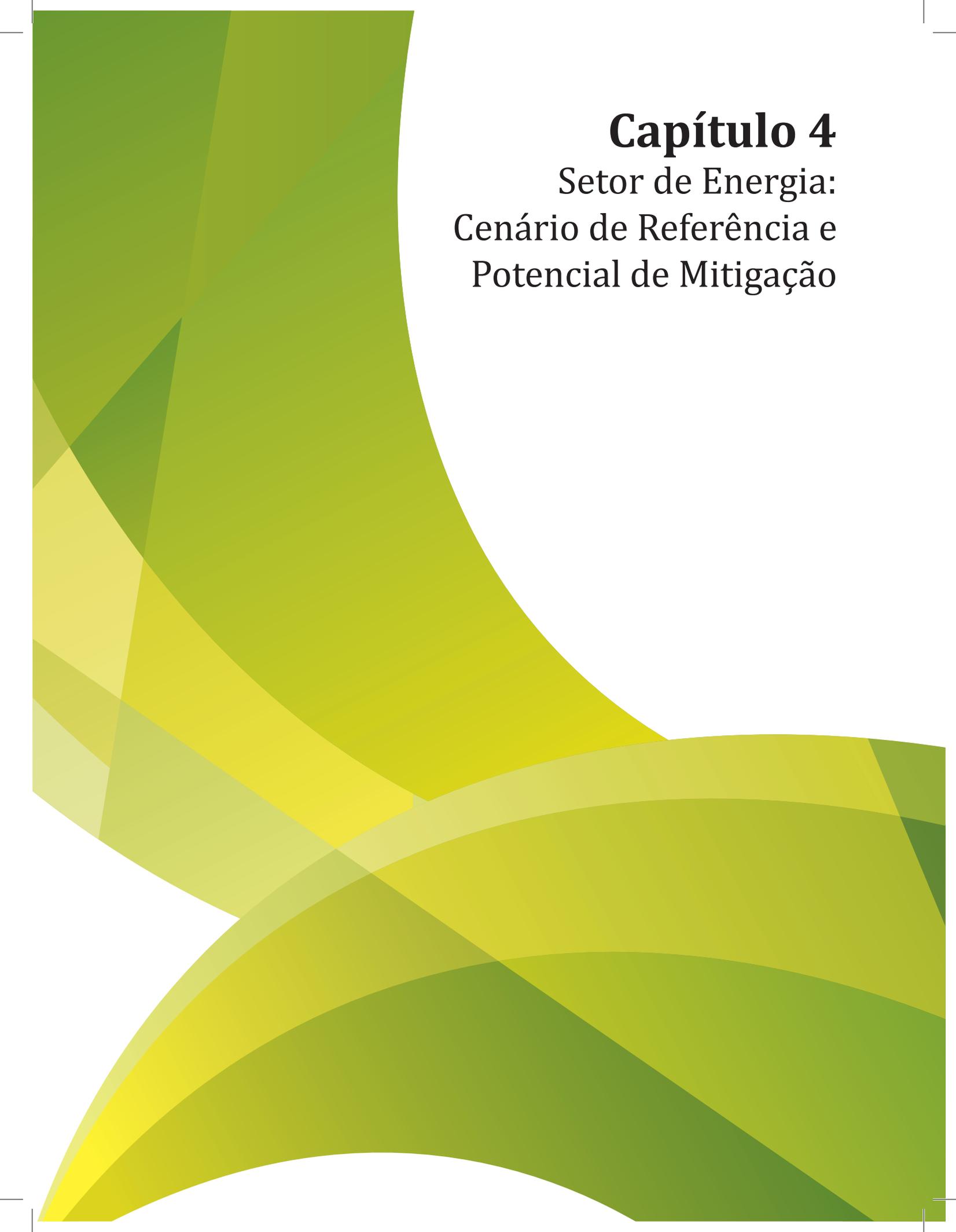
Além de propor formas de evitar o desmatamento, o estudo propõe atividades para a remoção do CO₂ da atmosfera, através de atividades de remoção de carbono (ou seja, plantação de florestas e recuperação de florestas nativas). A meta considerada aqui tem a ver com a obediência à Lei de Reservas Florestais. Além disso, são propostas ações de mitigação,

70 O período compreendido entre 2005 e 2007 testemunhou o primeiro declínio no tamanho do rebanho (de 207 para 201 milhões de cabeças), após um crescimento que durou toda uma década, juntamente com uma leve contração da área de pastagem (de 210 para 207 milhões de ha).



incluindo a expansão do cultivo através de plantio direto e o desenvolvimento de novos tipos de forragem com emissões reduzidas e touros geneticamente melhorados para redução das emissões diretas geradas pela agricultura e pela pecuária.

Dessas maneiras, o resultado seria emissões líquidas de GEEs originadas por LULUCF de até 331 MtCO₂ por ano em 2030, em lugar do volume líquido de 816 MtCO₂ por ano observado em 2008 e que deve continuar, de acordo com o Cenário de Referência.

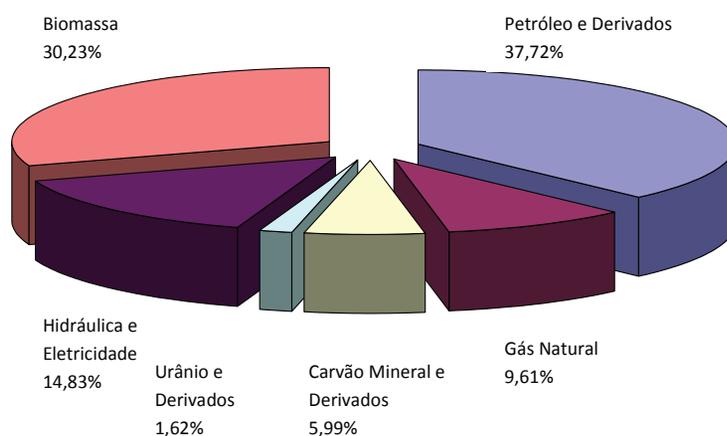


Capítulo 4

Setor de Energia: Cenário de Referência e Potencial de Mitigação

No setor de energia brasileiro, a intensidade de emissões de GEE é comparativamente baixa de acordo com os padrões internacionais, devido ao papel significativo da energia renovável – em especial da hidroeletricidade e da biomassa (álcool, bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal) – na matriz energética nacional.⁷¹ Em 2006, a energia renovável respondia por 45,1% do fornecimento doméstico de energia no Brasil, comparados às médias globais e dos países da OCDE de 13,2 e 6,1%, respectivamente (MME 2007) (Figura 4.1).

Figura 4.1: Estrutura de Fornecimento Interno de Energia Primária, por Fonte (2006)



Em 2005, o setor de energia do Brasil era responsável por 329 MtCO₂, comparados aos 27 Gt no mundo inteiro, o que correspondia a uma média anual de 1,77 tCO₂ *per capita*, o que é significativamente menos do que as médias *per capita* anuais do mundo (4,22 tCO₂) e dos países da OCDE (11,02 tCO₂) (IEA 2007). Mesmo assim, aumentar o fornecimento de eletricidade a partir de fontes renováveis, em especial através de grandes usinas hidrelétricas, é algo que envolve muitos problemas; como resultado, a expectativa é que fontes que envolvem mais emissões de carbono (como o carvão para termelétricas, óleo combustível e gás natural) venham a suprir os aumentos importantes de fornecimento. Além disso, a expansão nos setores agroindustrial e de transporte de carga sugere um maior uso de derivados de petróleo, em especial de diesel; ainda, o crescimento da indústria de ferro e aço pode sinalizar um consumo maior de carvão mineral.

Considerando essas características singulares, qualquer tentativa razoável de identificar o potencial de redução de emissões e os custos associados de abatimento deverá focalizar exercícios sérios de produção do setor e de planejamento de consumo, que levem em consideração migrações anunciadas das tendências do passado. Com essa finalidade, a Seção 4.1 descreve a metodologia usada, enquanto a Seção 4.2 apresenta o Cenário de Referência para o setor de energia, com as emissões projetadas para o período de 2010 a 2030. As opções de mitigação do lado da oferta e da demanda, consideradas para reduzir as emissões do setor de energia brasileiro, são apresentadas na Seção 4.3, enquanto a Seção 4.4 descreve oportunidades adicionais para redução das emissões em outros países, através das exportações de etanol e da hidrocomplementariedade com a Venezuela. Finalmente, a Seção 4.5 agrega o total de reduções de emissões de GEE que poderiam ser alcançadas no Cenário de Baixo Carbono para o setor energético brasileiro.

71 A hidroeletricidade responde com 75,9% do abastecimento doméstico de eletricidade.

4.1 Visão Geral da Metodologia

Este estudo visou estimar as emissões de GEE derivadas do setor de geração de energia e o uso que poderia ser evitado através de um Cenário de Baixo Carbono durante as próximas duas décadas. Para isso, em primeiro lugar foi preciso calcular as emissões que o setor de energia geraria no mesmo período, caso não adotasse esse cenário, estabelecendo assim um Cenário de Referência. Esse Cenário de Referência baseou-se no Plano Nacional de Energia (PNE 2030), o mais recente esforço importante do governo brasileiro de monitorar a evolução do sistema geral de energia do país, levando em conta as políticas de longo prazo já definidas pelo Governo até a data da publicação do PNE 2030.⁷² Em segundo lugar, foi desenvolvido um Cenário de emissões de Baixo Carbono, baseado em análise das opções de mitigação ao longo da cadeia de energia, para os subsetores de eletricidade e de óleo e gás.

O estudo considerou ainda as opções de mitigação que, apesar dos custos para o Brasil, tratam de evitar ou de reduzir as emissões de GEE em outros países, em especial as exportações de etanol para substituir a gasolina e a interconexão com a Venezuela, para otimizar o uso da hidroeletricidade (Seção 4.4).

O PNE 2030 é um Cenário de Referência otimizado, determinado através do emprego de ferramentas modernas de planejamento de modelagem (Seção 4.2). Considerando-se que o PNE 2030 já leva em conta algumas das novas políticas, como o desenvolvimento de energia nuclear, maior conservação de energia e exploração do potencial de energias renováveis, como por exemplo o novo grande potencial de geração de eletricidade através de hidrelétricas na região norte do país e o desenvolvimento do biodiesel, o PNE 2030 já projeta emissões inferiores aos valores projetados pelo governo para o setor de energia. O Cenário de Baixo Carbono apresentado pelo estudo é uma variação do Cenário de Referência, onde determinadas tecnologias são substituídas por outras, que empreguem menores quantidades de carbono, atendendo à mesma demanda. Ainda que o Cenário de Baixo Carbono possa não ser o mais custo-eficiente, o estudo é tecnicamente consistente entre todos os subsetores e opções de mitigação, evitando assim a dupla contagem e inconsistências. As emissões associadas ao uso de combustíveis para veículos foram computadas como emissões do setor de transportes (Capítulo 5), enquanto as associadas à atividade associada de refino foram consideradas como emissões do setor de energia.

4.2 Cenário de Referência

O Cenário de Referência para o desenvolvimento do setor de energia brasileiro reflete as políticas recentes do setor, assim como tendências e características básicas de mercado, incluindo a dinâmica da incorporação de tecnologia e a evolução da oferta e da demanda de energia. Como já foi mencionado anteriormente, o PNE 2030, desenvolvido pela EPE e publicado pelo MME, foi usado como sendo o Cenário de Referência do estudo. Ao documentar análises e pesquisa, o PNE 2030 fornece informações para a formulação de uma estratégia para aumentar a oferta de energia e administrar o desenvolvimento da demanda, com visão política de longo

⁷² Desenvolvido pelo Programa de Planejamento Energético (PPE) em 2007, o PNE 2030 não previu os efeitos macroeconômicos de planejamento da recente crise econômica global. Além disso, o plano tinha a expectativa de um crescimento do uso do potencial hidráulico remanescente no país, que foi retardado devido a restrições legais (os últimos leilões de energia indicaram um aumento do emprego da energia termoeletrica por razões conjunturais). Apesar dessas limitações, a visão apresentada pelo PNE 2030 em relação à consistência técnica e econômica de longo prazo faz dele uma ferramenta importante para a criação de um Cenário de Referência para o setor energético do país.

prazo em direção ao uso integrado e sustentável dos recursos disponíveis.⁷³ A equipe do estudo consultou o PPE com frequência, com relação aos princípios e hipóteses do PNE 2030, garantindo assim a coerência entre aquele trabalho e o atual estudo, particularmente em relação às interfaces com outros setores incluídos no estudo (por exemplo, transportes e agricultura).

O principal instrumento de simulação do PNE 2030 para o consumo final de energia é um modelo paramétrico técnico-econômico denominado Modelo Integrado de Planejamento Energético (MIPE), desenvolvido pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O Modelo de Projeção de Demanda de Energia Residencial desenvolvido pelo PPE foi especificamente aplicado ao consumo de eletricidade no setor residencial. De acordo com esse modelo, projetado de baixo para cima, a demanda de consumidores residenciais é obtida a partir de dados domiciliares de propriedade e uso de eletrodomésticos. Assim, a calibração do modelo foi baseada na pesquisa realizada nessa área, disponibilizada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) coordenado pela Eletrobrás. A aplicação do modelo permitiu a incorporação de princípios de eficiência energética nesse segmento de consumo.

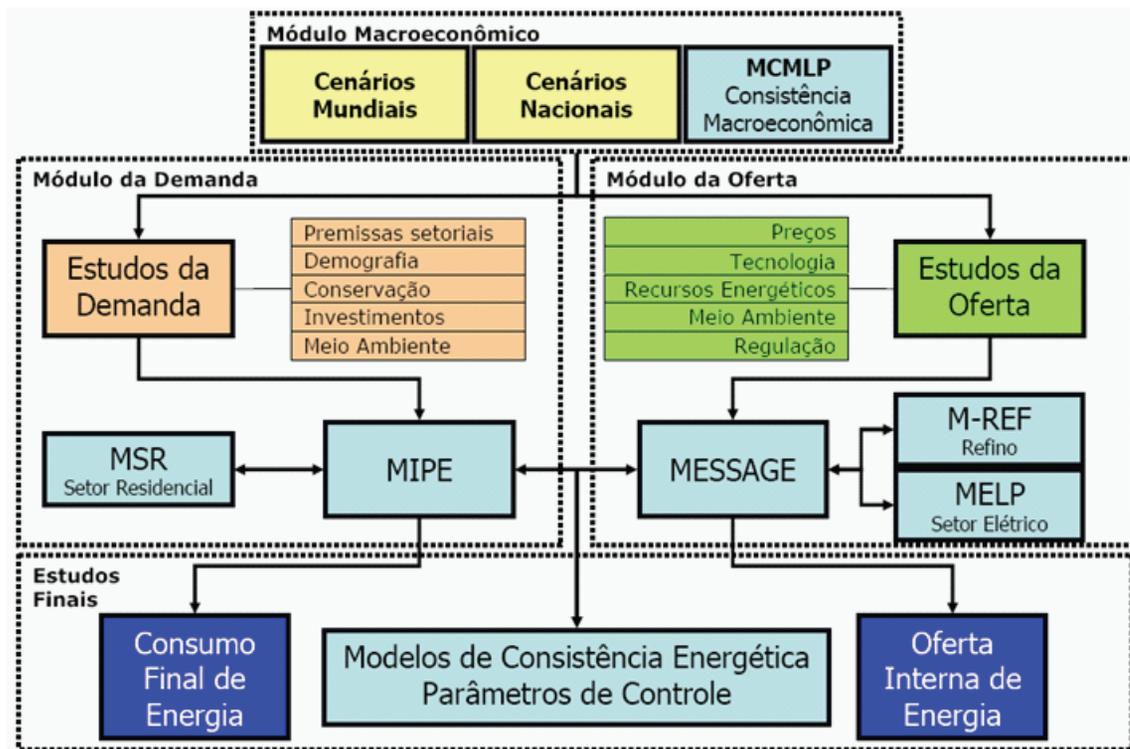
Do lado da oferta, foram aplicados dois modelos para avaliar o processamento da energia primária. O Modelo de Estudo de Refino (M-Ref), desenvolvido pelo Programa de Planejamento Energético da COPPE (PPE), foi usado para medir a expansão do complexo de refinarias de petróleo, de forma a atender adequadamente a demanda projetada por derivados. O Modelo de Expansão de Longo Prazo (MELP), um modelo de otimização desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL),⁷⁴ permitiu encontrar soluções para expandir a oferta de energia e ao mesmo tempo minimizar o custo de expansão e operação, levando em consideração os custos de investimento para expansão das interligações entre os subsistemas.

Todos os resultados obtidos dos estudos de oferta e demanda do PNE 2030 foram integrados através da aplicação do chamado modelo MESSAGE, desenvolvido pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Esse modelo foi usado para escolher os meios de produção de energia para atender a demanda útil de energia, de forma a minimizar os custos de operação e manutenção para todo o sistema energético durante o período observado; ao mesmo tempo, foi usado um modelo linear de programação para cobrir o sistema geral de energia. O modelo MESSAGE analisou possíveis substituições entre fontes de energia nos vários centros de processamento, através do nível final de consumo e das restrições sobre o potencial disponível (por exemplo, reservas e capacidade para geração e transmissão de energia) e os níveis de impacto ambiental (por exemplo, padrões máximos de emissões atmosféricas). Em resumo, ao possibilitar a visualização da composição em evolução da energia doméstica no Brasil, o PNE 2030 permitiu a formulação de hipóteses formais e redes energéticas baseadas em projeções para 25 anos (Figura 4.2).

73 Como resultado, o Cenário de Referência do estudo difere das projeções das emissões nacionais e setoriais oficialmente anunciadas pelo governo brasileiro em 2009, juntamente com o compromisso voluntário de redução de emissões, refletido na lei Lei 12,187. A diferença entre o Cenário de Referência definido por este estudo e as projeções estabelecidas pelo Governo Brasileiro, as quais foram baseadas em tendências históricas, reflete o impacto positivo na redução de emissões devido às políticas já adotadas no PNE 2030.

74 Foram desenvolvidas duas versões do modelo MELP de otimização: uma que usa a programação linear e outra que usa programação mista.

Figura 4.2: PNE 2030 Modelos de Cálculo



Fonte: EPE, 2007

Embora o governo brasileiro tenha publicado outros estudos oficiais desde o PNE 2030, nenhum teve um alcance igual, em termos de simulação consistente das cadeias de energia do país.⁷⁵ A análise do presente estudo usou uma projeção do PNE 2030 (cenário B1) como cenário intermediário, mostrando o crescimento econômico médio do país (Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Parâmetros de Crescimento Macroeconômico do PNE 2030

Parâmetro	2010	2020	2030
População (milhões de pessoas)	198,04	220,09	238,56
Produto Interno Bruto (trilhões de US\$)	0,96	1,38	2,13

O crescimento esperado do produto interno bruto (PIB) é em média de 4,1% por ano, com os setores de agricultura e de serviços crescendo a 4,2% e o setor industrial a 3,7% por ano.

De acordo com o PPE (2007), ao longo dos próximos 20 anos o fator médio de emissões para a rede brasileira deverá passar de 0,094 tCO₂ e por megawatt-hora (MWh) em 2010 para 0,069 em 2020 e para 0,079 em 2030 (Tabela 4.2). Este estudo interpolou o fator médio de emissões da rede para os períodos entre 2010, 2020 e 2030.

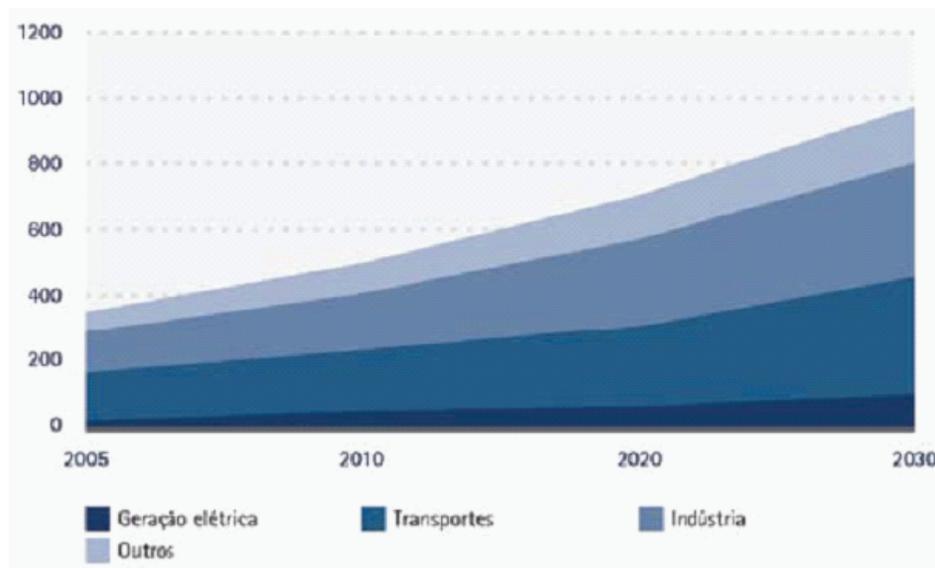
75 A análise do PNE 2030 incorpora uma variedade de estudos setoriais, incluindo eletricidade, petróleo e gás e etanol.

Tabela 4.2: Parâmetros de Energia do PNE 2030

Parâmetro	2010	2020	2030
Petróleo (WTI) (US\$/bbl)	40	45	45
Fator de emissões de eletricidade (tCO ₂ e/MWh)	0,094	0,069	0,079
Custo médio da expansão (US\$/MWh)	56,9	56,4	55,9

Enquanto a energia renovável deve continuar a responder por uma grande parte da futura matriz energética brasileira, o PNE 2030 prevê um nível de emissões mais alto com o passar do tempo; os números projetados para 2030 estão pouco acima de 970 milhões tCO₂ (Figura 4.3).

Figura 4.3: Evolução das Emissões do Setor de Energia no Brasil (MtCO₂) por Setor, 2005–30



Fonte: PNE 2030, EPE 2007

Como mostra a Figura 4.3, os setores de transporte e de indústria devem ser os que mais contribuirão para o crescimento das emissões no longo prazo. Entretanto, para o período de 25 anos em questão (2005–30), é a geração de energia que apresenta a maior taxa de crescimento de emissões – quase 7% por ano –, o que significa que a contribuição das emissões desse segmento deverá aumentar em aproximadamente dois terços (passando de 6 para mais de 10%) ao longo do período de 25 anos.

Com base nos mais recentes desenvolvimentos em geração de energia elétrica no país, esta estimativa de emissões pode ser considerada conservadora durante os primeiros anos do período. De fato, como resultado de razões circunstanciais (ou seja, condições hidrológicas adversas), mais energia térmica foi utilizada. Inclusive, alguns atrasos no inventário e estudos de viabilidade e dificuldades observados no processo de licenciamento ambiental, contiveram a participação de hidrelétricas nos mais recentes leilões. Como resultado, a nova capacidade de geração sendo construída no início do período é mais à base de termelétricas do que originalmente previsto no PNE 2030. Caso essa tendência venha a continuar durante um prazo mais longo, o fator médio de emissões da rede brasileira seria maior do que o projetado pelo MME em 2007, o que significaria um nível superior de emissões durante o período considerado.

4.3 Opções de Mitigação

O estudo examinou uma série de opções de mitigação de emissões, tanto no lado da demanda quanto da oferta, para eletricidade, óleo e gás. As categorias de medidas de mitigação para as quais foram estimadas reduções de emissões foram (i) do lado da demanda: eficiência energética, troca de combustível para outro, de teor inferior de carbono, e/ou consumo de energia renovável e reciclagem e (ii) do lado da oferta: formas renováveis para a geração de energia (plantas eólicas e cogeração de biomassa) e esquemas otimizados de refinarias e conversão de gás natural em combustíveis líquidos (GTL).

Nem todas as formas de energia foram analisadas, uma vez que determinadas opções de mitigação promovidas por políticas governamentais já têm um papel importante no Cenário de Referência, o que dificulta atingir reduções adicionais nas emissões através dessas opções. Isso é especialmente verdadeiro no caso de grandes usinas hidrelétricas e da energia nuclear. Na verdade, o nível de utilização projetado no PNE 2030 para a hidroeletricidade corresponderia virtualmente à exploração plena do grande potencial hidrológico que ainda resta no Brasil; assim sendo, o estudo considerou que não haveria nenhuma outra oportunidade importante de reduzir ainda mais as emissões através da expansão da hidroeletricidade no Cenário de Baixo Carbono. Com respeito à energia nuclear, o Cenário de Referência baseado no PNE 2030 considera a construção de 4 a 6 usinas nucleares até 2030. O Cenário de Baixo Carbono não considera a construção de usinas nucleares adicionais além das previstas no Cenário de Referência. Isto é razoável já que é improvável que fossem construídas mais de 6 usinas nucleares no Brasil durante os próximos 20 anos, considerando o extenso planejamento antecipado que essa opção exigiria, incluindo a escolha de locais ideais para as novas usinas e o planejamento relacionado da disposição dos rejeitos nucleares, os longos processos de licenciamento, a aquisição de equipamentos específicos com limitada fabricação apenas no exterior, possivelmente com atrasos de vários anos, além dos longos períodos de construção (5 a 8 anos).

Para cada categoria de medidas de mitigação examinadas, o estudo avaliou as opções técnicas para evitar emissões de GEE durante as fases de consumo e de produção, considerando a estrutura do Cenário de Referência. As subseções 4.3.1 e 4.3.2 sublinham as opções de mitigação consideradas nos lados da demanda e da oferta, respectivamente.

4.3.1 Opções de Mitigação do Lado da Demanda

4.3.1.a Consumo de Energia: uso Mais Eficiente da Eletricidade

Devido ao baixo fator de emissões da rede, que resulta da alta participação de energia renovável já considerada no Cenário de Referência, não se considera grande o potencial de redução de emissões possível de ser alcançado através da adoção de aparelhos elétricos mais eficientes, certamente não sendo esse o maior potencial no setor. Entretanto, o Brasil tem experiência na administração do lado da demanda, como ficou demonstrado pela implementação bem-sucedida da conservação de energia durante a crise energética de 2001, que evitou a falta de energia. Assim sendo, como será analisado em maior detalhe na análise econômica apresentada no Capítulo 7, o Brasil possui facilidades nessa área.

Com relação à eficiência no consumo de eletricidade, foram examinados três subsetores: (i) o residencial, (ii) o industrial e (iii) o comercial. No subsetor residencial, as opções de mitigação examinadas focalizaram quatro usos principais:

- **Iluminação:** Troca de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas, de baixo consumo de energia (CFLs), a partir do ano de 2010;
- **Refrigeradores de alimentos:** Adoção de padrões mais rígidos e obrigatórios de eficiência a partir de 2015. Início de um programa de substituição de refrigeradores obsoletos em comunidades de baixa renda;
- **Unidades de ar-condicionado:** Adoção de padrões mais rígidos e obrigatórios (padrões dos EUA) para as unidades, a partir de 2015;
- **Aquecedores de água para banheiros:** Substituição de 75% dos aquecedores elétricos de água por energia solar, acrescentando 1% de todas as residências do Sul, Sudeste e Centro-Oeste a cada ano, com a meta de cobertura de 22% até 2030.

No subsetor industrial, foram consideradas duas opções de mitigação:

- **Motores elétricos:** Aumentar a participação de motores elétricos de alto desempenho no mercado a partir de 2015;
- **Iluminação:** Expandir a instalação de sistemas mais eficientes de iluminação nos parques industriais a partir de 2015.
- Com relação ao subsetor comercial, foi avaliada uma opção de mitigação relacionada ao uso final da energia:
- **Iluminação:** Aumentar a participação de sistemas mais eficientes de iluminação no mercado a partir de 2015.

Como era esperado, é limitado o volume de emissões de GEE que poderia ser evitado através de aparelhos elétricos eficientes: apenas 22 MtCO₂ e durante o período de 2010 a 2030, o que representa apenas 0,3% das emissões do setor de energia.⁷⁶ Entretanto, como ficará demonstrado no Capítulo 7, a maior parte dessas reduções de emissões é economicamente atraente. O Brasil já tem estabelecido um conjunto de estruturas jurídicas adequado para colher essas vantagens fáceis, em especial uma lei de eficiência energética e vários mecanismos que promovem a eficiência de energia (por exemplo, o PROCEL, o CTEng e o PROESCO). Entre os problemas que ainda persistem, incluem-se uma ênfase exagerada em procedimentos, a descontinuidade do financiamento de programas e a falta de critérios para monitorar e maximizar os resultados. Outras barreiras a serem consideradas são (i) as distorções de preços que introduzem desincentivos para a conservação de energia e (ii) o isolamento dos esforços em prol da eficiência energética das instituições de eletricidade e óleo e gás.

4.3.1.b Consumo de Energia: Redução nas Emissões de Combustíveis Fósseis Geradas pela Indústria

Com relação ao potencial do subsetor da indústria para reduzir as emissões de CO₂ geradas pelo consumo de combustíveis fósseis, as áreas mais promissoras são (i) a eficiência energética, (ii) a reciclagem e a redução do uso de materiais e (iii) a troca de combustíveis, (iv) a substituição por energia renovável e (v) a redução ou a eliminação de combustíveis sólidos derivados da biomassa não renovável.

Eficiência Energética. As opções para mitigação de emissões através de maior eficiência energética focalizaram (i) a otimização da combustão, (ii) processos para sistemas de

⁷⁶ Não incluindo as emissões de combustíveis de veículos, que o presente estudo computou como emissões relacionadas ao setor de transportes.

recuperação de calor, (iii) recuperação de calor através de resíduos de fornalhas, (iv) otimização de sistemas de vapor, (v) migração para processos mais modernos e eficientes e (vi) manutenção e controle das operações. As opções para a otimização da combustão incluíram queimadores mais dispendiosos e de maior eficiência, melhorias nas operações de fornalhas e caldeiras e enriquecimento do ar de combustão com oxigênio. Quanto às operações de recuperação de calor do processo (180–450°C), incluem a integração do processo (tecnologia “pinch”), que pode ser aplicada principalmente nas indústrias químicas, petroquímicas e em refinarias. O calor de fornalhas pode ser recuperado nas indústrias de cimento, vidro, aço e nas petroquímicas, para o pré-aquecimento do ar de combustão ou outros fluidos do processo. A otimização dos sistemas de vapor cobriu toda uma série de medidas para melhorar a operação, incluindo a recuperação do condensado, a recuperação de gases de exaustão de caldeiras, a recuperação do vapor de queima, controle da pressão e purgadores de vapor. Processos novos e mais eficientes consideraram tecnologias já disponíveis comercialmente, incluindo a Fornalha Básica de Oxigênio (*Basic Oxygen Furnace*) e a Fornalha de Arco Elétrico (*Electric Arc Furnace*) na siderurgia, o processamento a seco na indústria de cimento e uma série de tecnologias com probabilidade de entrarem no mercado ao longo das próximas duas décadas, em especial as relacionadas às indústrias de cimento, aço, papel e celulose, de produtos químicos, têxteis, cerâmica e vidro.⁷⁷ Por fim, as opções consideradas para melhorar o controle e a manutenção das operações giraram em torno da eliminação de vazamentos de calor, do controle da temperatura, do isolamento térmico dos equipamentos e da tubulação aquecida e da manutenção de válvulas e purgadores de vapor.

Reciclagem e Redução do Uso de Materiais. Foram também consideradas opções de mitigação do tipo reciclagem de materiais, que reduzem a energia consumida na fabricação de novos produtos, em especial uso de aditivos na produção de cimento, emprego de sucata nas indústrias de aço e alumínio, emprego de cacos na indústria de vidro, uso de aparas de papel usado no setor de papel, além da redução de perdas de materiais na indústria de cerâmica.

Troca de Combustíveis. Com relação à troca de combustíveis, e a consequente substituição de combustível fóssil com fator elevado de emissões por um combustível cujo fator de emissões de carbono seja inferior, o estudo considerou a substituição de óleo combustível, coque de petróleo ou carvão por gás natural.

Substituição por Energia Renovável. Quanto à substituição de combustíveis fósseis por energia renovável, o estudo considerou uma utilização mais intensa da biomassa (por exemplo, madeira plantada, bagaço de cana-de-açúcar e resíduos agrícolas para processos tradicionais de queima em fornos e caldeiras, ou através da gaseificação) e da energia solar para sistemas complementares de aquecimento de água para emprego em processos de baixa temperatura, em especial para os setores que envolvem o cozimento, a lavagem e a secagem de produtos.

Redução ou Eliminação de Combustíveis Sólidos Derivados da Biomassa. O emprego de combustíveis originados de biomassa revela-se neutro em termos de carbono, uma vez que emitem apenas o CO₂ que já tenha sido previamente removido da atmosfera, durante o próprio ciclo de crescimento. Assim sendo, foram consideradas opções de reflorestamento para reduzir ou eliminar o uso de combustíveis sólidos derivados da energia não renovável de biomassa, cujas emissões de CO₂ são igualmente ou até mais nocivas do que as geradas por combustíveis fósseis. A ideia é que o aumento do plantio de florestas a serem usadas para a geração de energia, usando árvores de crescimento rápido e alta produção de biomassa por área, poderia substituir fontes de energia não renovável na metalurgia de ferro e na indústria de cerâmica.

⁷⁷ Foram consideradas mais de 25 tecnologias, que podem ser encontradas em lista constante do relatório sobre o setor de energia; maiores detalhes, no relatório especial sobre a indústria, preparado para este estudo pelo INT.

Com a implementação de todas as opções de mitigação propostas, as reduções nas emissões baseadas em combustíveis fósseis da indústria poderiam chegar a mais de 1.3 GtCO₂ e durante o período de 2010 a 2030 (62 MtCO₂ e por ano em média), o que representa cerca de 70% – de longe a maior parcela – do potencial para evitar emissões de GEE do setor de energia.

O potencial técnico para a implementação de opções eficientes quanto à energia tem em geral um período de retorno de curto prazo, além de uma taxa interna de retorno atraente para as empresas. Por outro lado, as opções de conservação de energia não foram ainda priorizadas, uma vez que as empresas preferem investir os seus recursos em outras partes do processo produtivo ou em projetos. A não priorização de investimentos para a conservação de energia resulta principalmente do baixo nível de impacto sobre os custos finais de produção (o que não é o caso para segmentos com uso intenso de energia). Devem ser acrescentados a esse fator a falta de informação, a inexistência de incentivos, ou os incentivos negligenciáveis, a comunicação mínima entre os agentes, a capacidade técnica insuficiente e os aspectos culturais.

É possível implementar opções mais simples de eficiência energética a custos mais baixos, ou até sem custos, o que poderá ser viável através de informações e assistência técnica apropriadas. Outras opções disponíveis envolvem a substituição de processos inteiros ou a instalação de sistemas de alto custo.

Considerando a natureza das barreiras à implementação das opções analisadas, foi organizada uma lista de propostas de medidas nas seguintes áreas:

- Eficiência Energética:
 - i) Melhoria da base de dados de informações sobre o perfil de utilização de energia na indústria e sobre o potencial para eficiência energética;
 - ii) Fornecimento de incentivos através de isenções (ou reduções) de impostos sobre produtos industrializados (IPI) para equipamentos de alta eficiência (queimadores, caldeiras, fornalhas e trocadores de calor);
 - iii) Estabelecimento de metas específicas de consumo de energia por setores ou por grupos de setores industriais semelhantes, com a criação de bônus ou recompensas para os que apresentarem o melhor desempenho;
 - iv) Promoção do mercado para ESCOs (o BNDES já criou linhas de crédito com esse objetivo [BNDES PROESCO]);
 - v) Revisão de programas do governo em curso, que apoiam a promoção da eficiência energética, em especial o CONPET, para incorporação de mais ações específicas, dirigidas ao setor industrial.
- Reciclagem e Redução do Uso de Materiais:
 - i) Apoio e financiamento de associações e cooperativas de reciclagem de materiais usados;
 - ii) Criação ou promoção de programas de coleta seletiva de materiais (papel, vidro, metais e plásticos) em cidades de porte médio e grande;

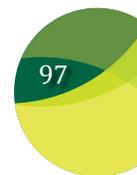
- iii) Estímulo às empresas que sirvam como ponte entre a coleta de material de sucata e o fornecimento desses materiais a várias outras empresas, realizando as etapas de separação, classificação e limpeza;
- iv) Criação ou estímulo de programas de reciclagem com maior visibilidade na mídia, como certificados verdes para produtos reciclados.
 - Substituição de Outros Combustíveis Fósseis por Gás Natural:
 - i) Aceleração da construção de dutos de gás natural e de redes de distribuição nos estados com grandes polos industriais;
 - ii) Expansão de linhas de financiamento para a indústria como um todo, de forma a facilitar a introdução do gás natural;
 - iii) Continuação e promoção de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento - P&D, para estimular o mercado de gás natural, desenvolvendo novos produtos e equipamentos mais eficientes;
 - iv) Suporte e financiamento para projetos relacionados a gás natural comprimido e liquefeito (GNC e GNL).
 - Maior Uso de Fontes de Energia Renovável e Redução do Uso de Biomassa Não Renovável
 - i) Financiamento de projetos de florestas de energia, para produção de lenha ou carvão vegetal para geração de energia;
 - ii) Financiamento em condições mais atraentes na aquisição de equipamento industrial para emprego com fontes de energia renovável (por exemplo, caldeiras e fornalhas);
 - iii) Redução substancial do IPI para produtos relacionados à energia solar (coletores solares para água quente, ar quente e painéis solares fotovoltaicos);
 - iv) Focalização em recursos específicos de P&D, para desenvolvimento de equipamentos industriais alimentados com energia solar (secadores).

4.3.2 Opções de Mitigação do Lado da Oferta

4.3.2.a Geração de Energia: Cogeração de Biomassa

A cogeração baseada em biomassa do bagaço de cana-de-açúcar pode ser considerada neutra quanto ao carbono, considerando que o CO₂ liberado pela combustão do bagaço foi previamente removido da atmosfera e capturado pela cana-de-açúcar; em outras palavras, nenhuma emissão de GEE deveria ser associada à eletricidade gerada. Hoje, a cogeração baseada em biomassa totaliza 5 GW, dos quais 3,7 GW estão relacionados ao bagaço de cana-de-açúcar. Outros tipos de biomassa (papel e celulose e madeira) representam menos de um terço do total (ANEEL 2008). Assim sendo, este estudo focalizou apenas a cogeração a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

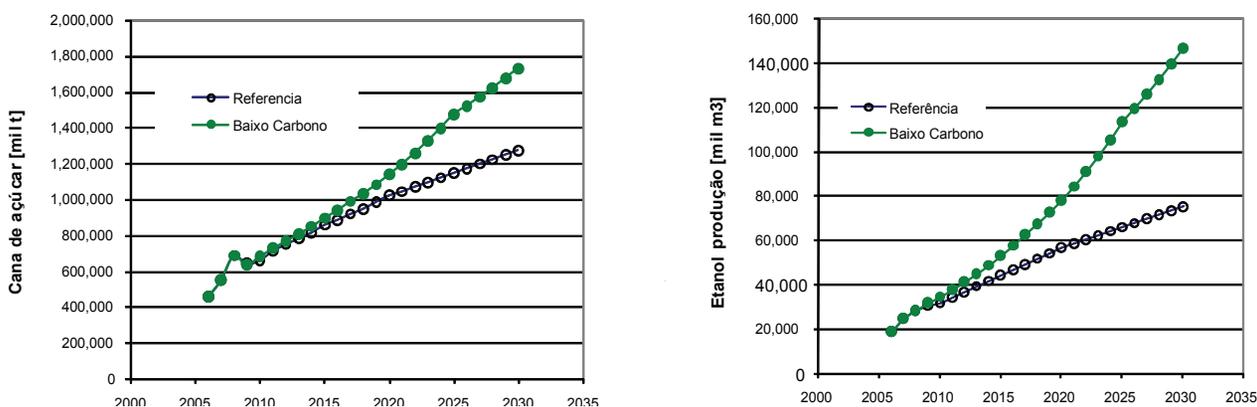
As estimativas de eletricidade baseada em cogeração dependem de dois parâmetros



principais: (i) o volume de cana-de-açúcar disponível, que é ligado à produção do etanol e do açúcar, e (ii) a tecnologia usada. De acordo com o PNE 2030, em que se baseou o Cenário de Referência deste estudo, a produção de cana-de-açúcar durante o período de 2008 a 2030 deve crescer de 560 para 1.273 Mt, enquanto a produção de etanol deve aumentar de 28,5 bilhões de litros para 75,6 durante o mesmo período.⁷⁸ Em 2030, seriam produzidos 7,13 bilhões de litros através de processo de hidrólise (9,4% da produção total). Quanto à produção de açúcar, variaria de 34,3 Mt em 2008 para 55,9 Mt em 2030.

O potencial estimado de cogeração adicional baseou-se na produção adicional de etanol proposto para servir como substituto da gasolina no exterior (seção 4.4) e para o mercado doméstico, de acordo com o Cenário de Baixo Carbono, para o setor de transportes (Capítulo 5). Em um cenário assim, a produção de etanol chegaria a 147 bilhões de litros por ano em 2030, enquanto a produção anual de cana-de-açúcar chegaria a mais de 1,7 bilhão de toneladas, ou 36% a mais do que no Cenário de Referência (Figura 4.4). No ano de 2030, 12,2% da cana-de-açúcar seria processada através da hidrólise. Quanto às projeções da produção de açúcar, permanecem sem modificações.

Figura 4.4: Evolução da Produção de Cana-de-Açúcar e de Etanol nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2005–30



Predominam duas principais configurações tecnológicas: (i) a modernização das usinas existentes, incluindo a instalação de uma turbina de extração-condensação, produzindo vapor a 90 bar e a 520°C, em operação durante todo o ano e usando até 50% da palha disponível e (ii) novas usinas, usando principalmente turbinas de extração-condensação, turbinas a vapor de contrapressão para as novas usinas que usem produção de hidrólise anexa às destilarias convencionais (também de 90 bar, 520°C) e – para um número limitado de novas usinas que não usem processos de hidrólise anexa –, Sistemas Integrados de Gaseificação de Biomassa e Turbina a Gás (sistemas BIG-CC).

De acordo com o Cenário de Baixo Carbono, a capacidade instalada que excedesse 39,5 GW, comparados aos 6,8 GW no Cenário de Referência, estaria disponível em 2030 para exportação de eletricidade para a rede;⁷⁹ 40% desse volume seria derivado de usinas já existentes, que seriam modernizadas antes de 2015. O volume correspondente de eletricidade gerada em 2030 seria de cerca de 200 TWh por ano, comparados aos 44,1 TWh por ano do Cenário de Referência. Como

⁷⁸ Em 2008, 20,6 bilhões de litros seriam destinados ao mercado doméstico, 5,2 bilhões para exportação e 2,7 bilhões de litros para estoques; em 2030, 59,2 bilhões de litros permaneceriam no mercado interno, 13,1 bilhões seriam exportados e 3,2 bilhões seriam destinados a estoque.

⁷⁹ Além das necessidades de eletricidade da própria indústria de etanol e açúcar.

resultado, as emissões de GEE evitadas chegariam a 158 MtCO₂ durante o período de 2010 a 2030 (7,5 MtCO₂ por ano, em média).

Para a cogeração, a principal barreira é o custo da interconexão com a rede de transmissão às vezes distante ou insuficiente, que limita a viabilidade da cogeração de biomassa em comparação com alternativas de geração térmica, cuja conexão pode ser otimizada. Os donos de engenhos de cana-de-açúcar, potenciais investidores na eletricidade produzida a partir da biomassa residual da cana, possuem outras prioridades e oportunidades de investimento, e nem sempre estão familiarizados com o setor de eletricidade.

O ambiente de investimento para a cogeração de biomassa deve ser adequado em longo prazo, já que toda vez que se constrói uma nova usina de açúcar, ou quando alguma já existente é modernizada, surge uma janela de oportunidade para esse tipo de investimento.

Entre as propostas para a superação das barreiras à cogeração da biomassa, incluem-se:

- Uma estratégia para expandir a produção de eletricidade baseada em cogeração de biomassa, com uma capacidade mínima que seria instalada regularmente (por exemplo, a cada ano, ou a cada dois anos). Essa estratégia seria baseada em uma avaliação dos benefícios para o setor de eletricidade da cogeração da biomassa (por exemplo, geração de eletricidade apenas durante o período da colheita, ou durante o ano todo) e da localização das usinas de cana-de-açúcar (devendo ser adequadamente considerada a questão da interconexão com a rede);
- Esforços de P&D para expansão da disponibilidade de biomassa (ou seja, resíduos da cana-de-açúcar que deveriam ser recuperados dos campos e transportados para as usinas) e de resíduos queimados para geração de vapor a altas pressões e temperatura;
- Suporte financeiro continuado para esses investimentos, através de programas que promovam o uso das tecnologias mais eficientes.

4.3.2.b Geração de Energia: Energia Eólica

De acordo com o Atlas da Energia Eólica no Brasil (CEPEL 2001), é considerável o potencial da energia gerada pelo vento (cerca de 140 GW), que é mais do que a atual capacidade total de geração instalada no país. Entretanto, até hoje foram contruídas apenas 33 fazendas de energia eólica, representando uma capacidade máxima de 415 MW – apenas 0,4 por cento da capacidade nacional de geração de energia.

Considerado como sendo o Cenário de Referência, o PNE 2030, prevê intenso crescimento para o setor de energia eólica – um aumento de dez vezes na capacidade (até 4.682 MW), para atender 1% da demanda nacional de eletricidade até 2030. Essas projeções estão baseadas na maturação mundial da energia eólica e no relativo sucesso de programas pioneiros para desenvolvimento de energia renovável no Brasil, em especial através de leilões (o programa PROINFA e os leilões para energia de reserva).

As principais barreiras que limitam a penetração da energia eólica, e que teriam que ser transpostas para que se pudesse alcançar a meta proposta pelo PNE 2030 e por qualquer outro cenário ambicioso de baixo carbono, têm a ver com os altos custos de geração, particularmente em termos de custo de capital para aquisição dos equipamentos, bem como com restrições regulatórias e de financiamento.

A fronteira competitiva da produção de energia eólica como fonte primária de energia é colocada



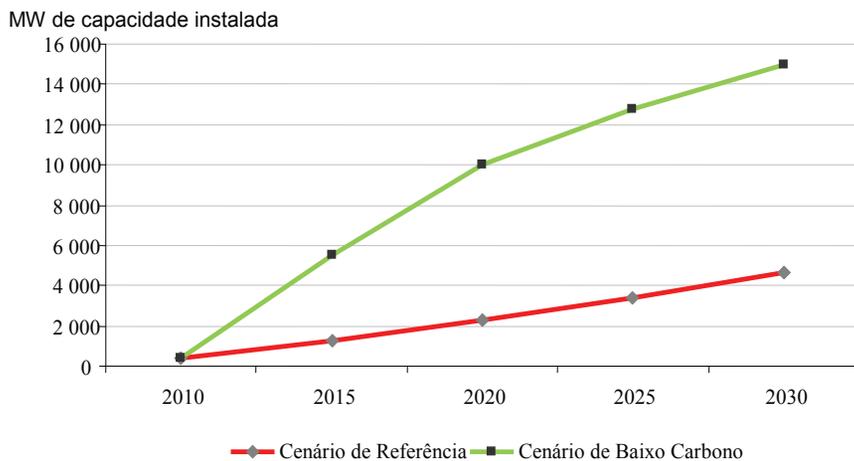
em risco, devido ao elevado custo da geração de energia em comparação com outras fontes convencionais de energia, mesmo em casos de condições hidrológicas críticas. O alto custo da geração de energia eólica deve-se à baixa economia de escala e ao uso de equipamentos importados.

Outras barreiras incluem a dificuldade de acesso aos equipamentos. Em princípio, o índice de nacionalização de 70% inicialmente imposto pelo programa PROINFA, tinha como objetivo criar um incentivo para o desenvolvimento da indústria nacional de equipamentos. Entretanto, o setor de energia eólica considerou essa medida um fator de gargalo, uma vez que o Brasil só possui três fabricantes de turbinas e componentes, e a maior parte da produção é destinada à exportação. Essa realidade vem atrasando a programação de projetos de energia eólica já faz algum tempo.

A reforma do setor elétrico em 2003 criou leilões públicos para energia renovável, de forma a inserir pequenas produções de energia hidrelétrica, eólica e de biomassa na rede. Os leilões foram estruturados de forma que as três fontes de energia renovável competissem entre elas. Entretanto, esse formato atual dos leilões públicos tende a penalizar a geração de energia que exige maiores custos de investimentos e as fontes descentralizadas de energia, como é o caso da energia eólica, que exige interconexões dispendiosas. Em resposta a isso, o governo publicou uma proposta em 2009 para promover leilões isolados, para energia eólica apenas.

As propostas para superação dessas barreiras incluem a implementação de leilões públicos específicos para a compra de energia eólica (esta medida foi adotada recentemente e o primeiro leilão específico para energia eólica foi realizado em 14 de dezembro, 2009)⁸⁰; a redução ou eliminação do índice de nacionalização de 70 para 50% (este índice foi eliminado durante o leilão de dezembro); a redução de tarifas alfandegárias para favorecer a importação de componentes das turbinas, em vez da importação de turbina inteira, de forma a criar incentivos para a fabricação local; o fornecimento de subsídios para a interconexão da energia eólica produzida com o sistema público de energia; e o fornecimento de incentivos do mercado de créditos de carbono. Com base nessas propostas e projeções da Associação Brasileira de Energia Eólica, que considera viável a expansão para 10 GW até 2020, este estudo considerou uma expansão da capacidade instalada para 15 GW até 2030 (Figura 4.5).

Figura 4.5: Capacidade Instalada Projetada para Energia Eólica nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2010-2030



80 Este primeiro leilão específico de energia eólica primeiro foi muito bem-sucedido, com uma capacidade total instalada de 1.805 megawatts contratadas em 753 lotes) a um preço médio de R \$ 148,39 MWh, ou seja, 21,49% abaixo do preço máximo estabelecido no edital.

Como resultado, as reduções de GEE chegariam a 19,3 MtCO₂e durante o período de 2010 a 2030, um volume relativamente pequeno, que é explicado (i) pela participação ainda pequena, mas em rápida expansão, da capacidade instalada que a energia eólica poderia garantir até 2030, (ii) pelo fator de carga relativamente baixo desse tipo de fonte intermitente de energia e, acima de tudo, (iii) pelo baixo fator de emissões para a energia da rede que seria deslocado em relação ao Cenário de Referência.

4.3.2.c Geração de Energia: Esquemas Otimizados de Refinarias e GTL

Com relação ao setor de produção de óleo, gás e produtos de refinaria, o estudo examinou várias alternativas de mitigação de emissões para as refinarias existentes, desenvolveu modelos de simulação para novas instalações e comparou os custos do gás-para-líquido (*gas-to-liquid* – GTL) aos usados nos processos convencionais das refinarias.

As alternativas consideradas para as refinarias existentes foram (i) a integração energética e recuperação de calor, (ii) o controle de incrustações e (iii) sistemas de controle avançado dos processos. A integração do calor é a principal opção para redução a curto prazo do consumo de combustível nas refinarias. Diferenças importantes de temperatura entre as correntes frias e quentes indicam o potencial para integração de energia, reduzindo assim a necessidade de fontes externas de calor ou frio. A incrustação, que reduz a área de troca térmica, causa problemas de manutenção e riscos de acidentes, reduz a eficiência térmica e a capacidade de transferência de calor, e por isto deve ser controlada. Sistemas avançados de controle de processo são baseados em modelos de computadores e no uso extensivo de sensores, o que aumenta a confiabilidade da produção. Esses sistemas permitem o controle da qualidade da produção, que reduz paradas para manutenção e os custos a elas associados.

Com relação ao desenho de novas refinarias, foram apresentadas duas alternativas, baseadas em um modelo de otimização, que foca na produção de combustível a diesel e na integração com petroquímicos. A simulação resultou na escolha do esquema de refino (ou de rotas de produção de derivados), diante da restrição à emissão de GEE.

No caso do GTL, em uma alternativa à queima do gás associado às plataformas *offshore* de produção de petróleo, foram calculados os custos adicionais, sendo esses então comparados aos custos da rota convencional do refino usada para fabricar diesel de alta qualidade no Brasil, juntamente com os cálculos das emissões evitadas.

A combinação desses quatro conjuntos de medidas de mitigação permitiria evitar cerca de 245 MtCO₂e, em comparação com o Cenário de Referência, da forma definida pelo PNE 2030. Isso representaria 13% do potencial de redução de emissões de GEE proposto por este estudo para o setor de energia.

Os níveis de maturidade de algumas das tecnologias examinadas neste estudo podem afetar negativamente a percepção de risco dos agentes privados (neste caso, a Petrobras), o que pode resultar em custos mais altos de transação. Mesmo para as várias tecnologias comerciais analisadas (integração energética e recuperação de calor, controle de incrustações e controle avançado de processos), a diferença entre as taxas de desconto para investimentos em infraestrutura usadas pela iniciativa privada na indústria do petróleo e pelo estado é considerável, o que sublinha o alto custo de oportunidade para as empresas de petróleo.⁸¹

81 As empresas de petróleo em geral fazem um inventário das suas emissões de carbono, e possuem capacidade tanto técnica quanto financeira para agir; entretanto, elas em geral preferem investir no seu negócio principal, que gira em torno da exploração e da descoberta de novas reservas, além da produção de petróleo.



No caso das plantas de GTL, as principais barreiras ao investimento na redução de gás de queima são o alto custo da tecnologia e o baixo nível de maturidade. Por esse último motivo, os agentes do setor privado (operadores das plataformas de petróleo) requerem altas taxas de desconto (cerca de 25% por ano). O GTL para *offshore*, que não é ainda uma tecnologia comercial, envolve custos mais altos de transação e é uma opção de mitigação mais arriscada. Ainda que a capacitação de planejadores, projetistas e operadores de equipamentos, a introdução de padrões obrigatórios e a isenção fiscal possam ajudar a compensar pelo custo de capital da nova tecnologia, ela é cara; assim sendo, torna-se vital o investimento em P&D (Castelo Branco et al. 2008).

Finalmente, outra classe de alternativas de mitigação analisadas para o refino de petróleo esteve ser associada à modificação do esquema ótimo de refino diante de determinados custos de carbono. O refino somente modificou seu esquema ótimo de refino para elevados valores de carbono, na ordem de 100 US\$/tCO₂.

Houve, porém, uma variação neste resultado, quando se considerou a possibilidade de captura e sequestro de carbono (CCS) ao custo de 50 US\$/tCO₂. Neste caso, o esquema de refino passou a se modificar em prol de produção de H₂ para HCC (em detrimento da unidade mais energointensiva de FCC) e para uso energético na refinaria. O CO₂ produzido na unidade de produção de H₂ seria capturado. Isso indica que a CCS poderia tornar-se uma alternativa para reduzir emissões nas refinarias no futuro, mais provavelmente além do horizonte de tempo considerado por este estudo, afetando não apenas unidades específicas de operação no interior das refinarias, mas também o seu *layout*. Assim sendo, a viabilidade econômica dessa alternativa dependeria grandemente tanto de avanços tecnológicos quanto de reduções de custos. Nesses casos, o fundo CT-Petro poderia revelar-se um instrumento vital para ajudar a desenvolver essas alternativas.

4.4 Opções Adicionais: Exportações de Etanol e Hidrocomplementaridade com a Venezuela

Além das opções de mitigação discutidas acima, foram consideradas duas outras oportunidades nas quais o Brasil já acumulou experiência considerável e poderia oferecer assistência a outros países, para redução de suas emissões de GEE; uma, que envolve a hidrocomplementaridade, que visa reduzir as emissões de CO₂ nos setores de energia do Brasil e do país vizinho, a Venezuela,⁸² e a outra focalizada na exportação em grande escala do etanol, que buscaria a redução de emissões de combustíveis fósseis dos setores de transporte no mundo inteiro. O potencial total de redução de emissões representado por essas opções adicionais está estimado em cerca de 695 MtCO₂ (Tabela 4.3).

Tabela 4.3: Potencial de Opções Adicionais de Mitigação, 2010–30

Opção de mitigação de baixo carbono	Redução de emissões (MtCO ₂)
Hidrocomplementaridade (interligação Brasil-Venezuela)	28
Exportações de etanol em larga escala	667
Potencial total	695

82 O nível de utilização da hidroeletricidade projetado pelo PNE 2030 corresponderia virtualmente à exploração plena do grande potencial de geração hidrelétrica que ainda resta no Brasil. Por esse motivo, o estudo considerou que não haveria qualquer grande oportunidade de reduzir as emissões através da expansão da hidroeletricidade no Brasil, além do que já estava sendo considerado pelo PNE 2030 e adotado como Cenário de Referência.

A opção de hidrocomplementaridade propõe um aumento significativo na geração de hidroeletricidade, conectando usinas hidrelétricas já existentes e planejadas localizadas nas regiões complementares (em termos da sazonalidade de seus regimes hidrológicos). A troca de energia entre o Norte e o Sul possibilitaria a obtenção de mais energia firme, deslocando assim as usinas termoelétricas utilizadas no preenchimento de períodos de secas e melhor aproveitamento da água nos períodos de cheias (atualmente despedaçada), que poderia gerar energia adicional. A usina hidrelétrica brasileira de Tucuruí, localizada na Bacia Amazônica (margem direita do Rio Amazonas) seria ligada através de uma linha de transmissão à usina venezuelana de Simón Bolívar, localizada na Bacia do Caroni (margem esquerda do Rio Amazonas). A usina brasileira de Belo Monte, a ser construída na Bacia Amazônica, seria também ligada à usina Simón Bolívar. No futuro, poderiam estar disponíveis 21.720 GWh para intercâmbio entre a Venezuela e o Brasil. O ganho de energia facilitado por essa opção de hidrocomplementaridade possibilitaria uma expansão do sistema sem emissões adicionais de GEE, evitando assim cerca de 28 MtCO₂e durante o período do estudo. Ainda que o volume de emissões evitadas possa ser considerado como limitado, embora fosse atingido por um único projeto, vale a pena observar que reflete o teor de baixo carbono do Cenário de Referência considerado e o método conservador de cálculo do fator de emissão da rede.

Com base em uma análise detalhada do crescimento mundial do uso do etanol, em especial as normas obrigatórias da mistura da gasolina com o bioetanol, este estudo considerou o aumento das exportações brasileiras de etanol para 70 bilhões de litros (57 bilhões de litros a mais do que no Cenário de Referência) até 2030. Isso representaria ligeiramente mais de 10% da demanda mundial de bioetanol para alcançar uma meta média de 20% de mistura de etanol na gasolina em todo o mundo e uma redução de pouco mais de 2% na demanda global por gasolina.

Estudos de simulação realizados pelo Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Estratégico (NIPE) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) para o Centro de Gerenciamento Estratégico e Estudos (CGEE) demonstram que o Brasil possui efetivamente a capacidade de alcançar essa meta física, com base na terra disponível e em outros recursos⁸³. O Cenário proposto de Baixo Carbono incluiria uma participação significativa da produção do etanol através da hidrólise, principalmente através da palha da cana-de-açúcar atualmente desperdiçada, supondo avanços nos novos processos de conversão, como será discutido abaixo.

Com relação à terra adicional especificamente necessária para plantações de cana-de-açúcar, a modelagem da demanda projetada de uso da terra para agricultura, pecuária e silvicultura descrita nos Capítulos 3 e 4 revela que, contanto que sejam atingidas as metas propostas para aumento da produtividade da pecuária, o Brasil disporia de terras suficientes para acomodar a expansão dessas atividades, incluindo o plantio de cana-de-açúcar suficiente para atender tanto o aumento do consumo doméstico (Capítulo 5) quanto a meta de exportações em larga escala. Assim sendo, este cenário supõe que a expansão da cana-de-açúcar não induziria conversão de vegetação nativa, nem direta nem indiretamente (por exemplo através de deslocamento da criação de gado para terras de florestas). A área plantada com cana-de-açúcar seria de aproximadamente 19,1 milhões de ha em 2030, o que representa 51% a mais do que no Cenário de Referência (+ 100% Tabela 4.4). Até aquela data, a área da cana-de-açúcar ainda corresponderia a menos da metade da área plantada com grãos, e a menos de um sétimo da área de pastagem naquele ano.

83 O estudo do NIPE explorou uma variedade de cenários para aumentar a exportação de etanol a até 205 bilhões de litros por ano em 2025, o que corresponderia a 10% da demanda mundial por gasolina naquele ano, o que corresponde a cerca de 5 vezes a meta considerada no presente estudo.

Usando uma razão de substituição conservadora de 1 litro de etanol para 0,66 litro de gasolina e um fator de emissão de 2,634 gCO₂e por litro de gasolina (BEN 2006), o potencial para redução líquida de emissões de GEE através da substituição da gasolina por etanol totalizaria 667 MtCO₂e durante o período de 2010 a 2030, com a redução anual aumentando progressivamente de 1,0 MtCO₂e para 72 MtCO₂e por ano (Tabela 4.5).

Tabela 4.4: Produção de Cana-de-Açúcar e Etanol: Cenários de Referência e de Baixo Carbono

<i>Produção</i>	<i>Referência 2030</i>	<i>Baixo Carbono 2030</i>	<i>Diferença (%)</i>
Cana-de-açúcar para açúcar (milhões de toneladas/ano)	553	362	-35
Cana-de-açúcar para etanol (milhões de toneladas /ano)	720	1.369	90
Total de cana-de-açúcar (milhões de toneladas/ano)	1.273	1.739	37
Etanol (convencional) (milhões de litros/ano)	68.870	130.009	89
Etanol (hidrólise) (milhões de litros/ano)	7.130	17.337	143
Total de etanol (milhões de litros/ano)	76.000	147.346	94
Exportações de etanol (milhões de litros/ano)	13.100	84.902	548
Açúcar (milhões de toneladas/ano)	55.885	55.885	0
Produtividade da cana-de-açúcar (toneladas/ha)	100,3	100,3	0
Área total plantada com cana-de-açúcar (milhões de ha)	12,69	19,1	51

Tabela 4.5: Exportações de Etanol e Reduções de Emissões no Cenário de Baixo Carbono

<i>Exportações de etanol (bilhões de litros)</i>	<i>Total</i>	<i>2010–14</i>	<i>2015–19</i>	<i>2020–24</i>	<i>2025–30</i>
Cenário de Referência	297,5	49,7	75,6	85,9	86,3
Cenário de Baixo Carbono	826,6	69,6	143,6	229,4	384,0
Adicional	529,1	19,9	68,0	143,5	297,7
Reduções de Emissões (MtCO ₂ e)	666,8	24,0	83,8	179,7	379,3

No caso das exportações de etanol, as principais barreiras para a implementação têm a ver com a proteção da produção local em muitos países, através de altas tarifas de importação, requisitos de certificação ou especificações do produto. Em termos de emissões, custos sociais e custos econômicos de produção, o etanol produzido do açúcar no Brasil mostra-se superior às alternativas encontradas em outros países, o que reflete uma vantagem comparativa significativa para o atendimento da crescente demanda internacional por veículos movidos a combustíveis de baixo carbono. A redução ou a eliminação das altas barreiras comerciais e dos enormes subsídios em vigor em muitos países geraria benefícios econômicos tanto para o Brasil quanto para os seus parceiros comerciais, reduzindo as emissões de GEE.

Do ponto de vista tecnológico, a produção convencional de etanol da cana-de-açúcar é uma tecnologia madura, estando próxima dos limites, com exceção da economia de energia, uso da água e tratamento de efluentes. É importante ressaltar que já existem opções técnicas adequadas para essas áreas, que não foram ainda implementadas devido aos altos custos de investimento e a razões culturais. Ao mesmo tempo, o etanol dos resíduos lignocelulósicos da cana-de-açúcar (bagaço e palha) ainda não alcançou a etapa comercial, apesar de grandes investimentos e esforços de P&D em muitos países, que foram desenvolvidos ao longo das últimas três décadas; essa é uma barreira tecnológica à possibilidade de essa alternativa desempenhar o seu papel no Cenário de Baixo Carbono.

Um estoque de segurança de volume razoável, ou uma reserva estratégica, é importante como

garantia, de forma a assegurar aos potenciais importadores que o país possui capacidade para fornecer etanol em grandes quantidades e de forma sustentável.

Algumas propostas para superação dessas barreiras são:

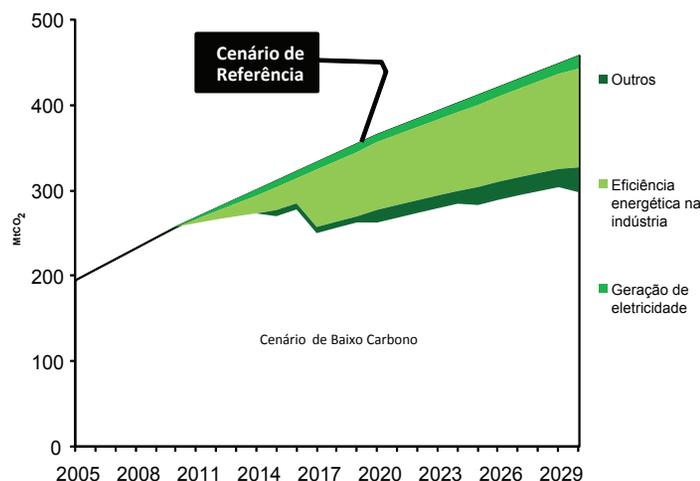
- Elaboração de procedimentos de certificação, incluindo dados confiáveis sobre o uso da terra e a mudança no uso da terra; logística; questões trabalhistas; e análises socioeconômicas, ambientais e de ciclo de vida;
- Assistência no desenvolvimento da tecnologia da hidrólise associada aos processos convencionais para a produção do etanol. São necessários grandes investimentos em P&D, principalmente na etapa de implantação da tecnologia, quando deverão ser construídas e operadas grandes usinas de demonstração, produzindo etanol a um custo mais alto quando comparado à produção convencional;
- Nova legislação quanto ao estoque de segurança para o etanol, para ajudar a estabilizar o preço do produto durante todo o ano (para enfrentar a sazonalidade da produção) e dar aos importadores a garantia da disponibilidade do etanol, em quantidade e qualidade.

4.5 Resultados: Sumário do Cenário de Baixo Carbono do Setor de Energia

Os resultados finais do estudo revelam que, de acordo com o Cenário de Referência do PNE 2030, as emissões brasileiras do setor de energia praticamente dobrarão ao longo dos próximos 20 anos, subindo de cerca de 232 MtCO₂ em 2010 para mais de 450 MtCO₂ até 2030 (excluindo-se o combustível usado no transporte) (Figura 4.6).

Caso fossem implementadas as 27 opções de mitigação de baixo carbono propostas por este estudo, as emissões do setor de energia seriam reduzidas de 450 para 297 MtCO₂ por ano em 2030 (excluindo o combustível para transporte) (Tabela 4.6).

Figura 4.6: Cenário de Referência⁸⁴ do Setor de Energia e Potencial de Mitigação de Emissões de CO₂ (PNE 2030), 2005-2030



84 O Cenário de Referência utilizado no estudo – o PNE 2030 - difere das projeções das emissões do setor de energia oficialmente anunciadas pelo governo brasileiro em 2009, juntamente com o compromisso voluntário de redução de emissões, refletido na lei Lei 12,187. A diferença entre o Cenário de Referência definido por este estudo e o cenário estabelecido pelo governo brasileiro, o qual foi baseado em tendências históricas, reflete o impacto positivo das políticas já adotadas na redução de emissões no PNE 2030.

Tabela 4.6: Potencial de Redução de Emissões do Setor de Energia no Brasil, 2010–30

Opções de mitigação	Reduções de Emissões 2010–30	
	(MtCO ₂)	%
de baixo carbono		
Lado da Demanda	1,407	77
Eletricidade	28	2
Aquecimento solar	3	0
Ar-condicionado (MPES)	3	0
Ar-condicionado (“Selo Procel”)	0	0
Refrigeradores (MPES)	10	1
Refrigeradores (população de baixa renda)	6	0
Motores	2	0
Iluminação residencial	3	0
Iluminação industrial	1	0
Iluminação comercial	2	0
Combustíveis fósseis	1.378	75
Otimização da combustão de combustíveis	105	6
Sistemas de recuperação de calor	19	1
Recuperação de vapor	37	2
Recuperação do calor de fornos	283	15
Novos processos	135	7
Outras medidas de uso eficiente de energia (UEE)	18	1
Energia térmica solar	26	1
Reciclagem	75	4
Substituição por gás natural (incluindo dutos)	44	2
Substituição por biomassa	69	4
Substituição de biomassa não renovável por carvão vegetal de plantações de árvores*	567	31
Lado da Oferta	423	23
Geração de Energia	177	10
Energia eólica	19	1
Cogeração com biomassa	158	9
Óleo e Gás	246	13
GTL	128	7
Refino		
Melhoria do uso de energia em refinarias existentes (integração de calor)	52	3
Melhoria do uso de energia em refinarias existentes (mitigação de depósitos)	7	0
Melhoria do uso de energia em refinarias existentes (controle avançado)	7	0
Desenho otimizado de novas refinarias	52	3
Total	1.830	100

A transição do Brasil do Cenário de Referência para um Cenário de emissões de Baixo Carbono resultaria em significativa redução das emissões de CO₂ no setor de energia – 1,8 bilhões de toneladas – ao longo dos próximos 20 anos (2010–30). Essa transição deveria enfatizar a eliminação do uso industrial de biomassa não renovável como combustível sólido. Na verdade, a

substituição do carvão vegetal extraído de florestas por carvão vegetal de plantações de árvores representa 31% do potencial total de redução de emissões no setor.

Do ponto de vista da energia, as opções de mitigação consideradas no Cenário de Baixo Carbono influenciam o sistema nacional de três formas principais: modificação do mix de energia para oferta, redução na demanda por energia (tanto eletricidade quanto combustíveis fósseis) e substituição de fontes de energia por combustíveis renováveis.

Para melhor visualizar os impactos sobre a energia, as opções de mitigação são divididas em cinco grupos: aumento na oferta de energia, aumento na oferta de combustíveis fósseis, redução no consumo de eletricidade, redução no consumo de combustíveis fósseis e substituição de fontes de energia por fontes renováveis⁸⁵.

Caso sejam implementadas as opções de mitigação, nos anos vindouros a conservação de energia gerada por combustíveis fósseis seria responsável pelo maior impacto (Tabela 4.7). A participação dos recursos renováveis, por sua vez, poderá aumentar para mais de 410 Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo) (entre 2010 e 2030. Durante esse mesmo período, o impacto total da energia seria maior do que 0,8 Gtoe se consideradas todas as opções de mitigação juntas.

Tabela 4.7 – Diferenças em Energia entre os Cenários de Baixo Carbono e de Referência (Mtoe)

	2010-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	Total	% diferença em 2030
Geração de eletricidade adicional de fontes renováveis	26,5	48,9	61,4	71,5	208,3	+ 14,6% ⁽¹⁾
Conservação adicional de eletricidade	1,3	4,3	8,1	11,6	25,2	- 3,0% ⁽²⁾
Produção adicional de combustíveis fósseis com zero emissões adicionais de carbono (GTL)	0,4	2,7	5,1	8,7	16,9	+ 0,4% ⁽³⁾
Conservação adicional de energia de combustíveis fósseis	30,7	80,0	119,3	157,9	387,9	- 11,4% ⁽⁴⁾
Substituição adicional de energia, de combustíveis fósseis para renováveis	1,4	47,8	69,4	83,6	202,1	+ 5,9% ⁽⁵⁾
Total	60,3	183,7	263,3	333,2	840,5	

Fonte: cálculos baseados em relatórios individuais

- (1) aumento da geração de fontes renováveis no Cenário de Baixo Carbono como % da geração total no Cenário de Referência em 2030
- (2) redução do consumo de eletricidade no Cenário de Baixo Carbono em comparação com o Cenário de Referência em 2030
- (3) aumento de combustíveis fósseis sem aumento de emissões de GEE no Cenário de Baixo Carbono em comparação com o Cenário de Referência em 2030
- (4) redução do consumo de combustíveis fósseis no Cenário de Baixo Carbono em comparação com o Cenário de Referência em 2030
- (5) Participação de combustíveis fósseis usados no Cenário de Referência em 2030 substituídos por fontes renováveis no Cenário de Baixo Carbono em 2030

85 Não está refletido aqui o impacto em termos de energia, como consequência da substituição dos combustíveis fósseis mais intensivos em carbono (e.g. óleo combustível) pelo gás natural. Por outro lado, essa troca de combustíveis, que corresponde à substituição de 4,6% de energia fóssil intensiva em carbono por gás natural em 2030, foi considerada no cálculo das reduções de emissões de GEE.





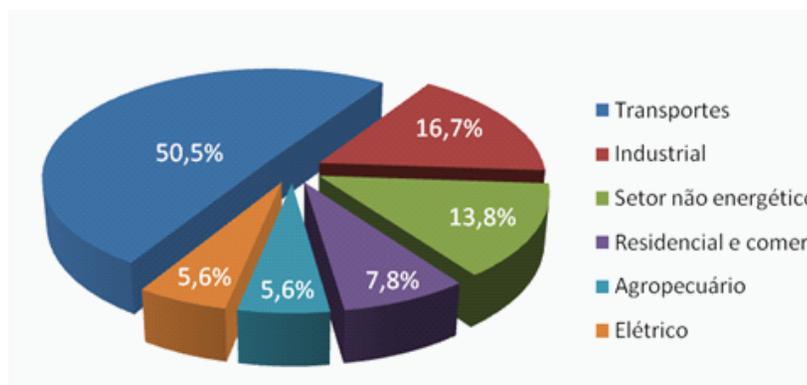
The left side of the page features a large, abstract graphic composed of overlapping, curved shapes in various shades of green and yellow. The colors transition from dark green at the top to bright yellow in the middle, and back to various shades of green at the bottom. The shapes are layered, creating a sense of depth and movement.

Capítulo 5

Setor de Transportes: Cenários de Referência e de Baixo Carbono

No Brasil, o setor de transportes exibe uma intensidade de carbono inferior, em comparação com a maioria dos outros países, como resultado da adoção bem disseminada do etanol como combustível dos veículos individuais. Mesmo assim, o setor responde por mais da metade do consumo total de combustíveis fósseis no país (Figura 5.1).⁸⁶ As emissões geradas pelo setor de transportes estão em franco crescimento, em especial nas áreas urbanas, devido à crescente motorização e ao congestionamento. No ano de 2008, o setor participou com aproximadamente a metade das emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas à energia no país.

Figura 5.1: Consumo de Combustíveis Fósseis, por Setor



Fonte: Balanço Nacional de Energia (BEN 2008).

O transporte rodoviário, que utiliza principalmente o combustível diesel, é responsável por mais de 90% das emissões geradas pelo setor de transportes. O transporte urbano, que responde por 58%, é baseado quase que exclusivamente em rodovias (automóveis ou ônibus).⁸⁷ A taxa acelerada de motorização em cidades já congestionadas deteriora ainda mais os sistemas existentes e a infraestrutura. Em São Paulo, por exemplo, a frota cresce a uma taxa anual de 7,5%, e quase 1.000 automóveis são comprados por dia. Em 2008, o congestionamento médio da cidade, na chamada hora do *rush*, excedia 190 km.⁸⁸ Esses intensos resultados de congestionamento resultam em ineficiências, em maior consumo de combustível e no aumento da poluição local e das emissões de GEE. Assim sendo, as emissões do setor de transportes devem continuar a crescer significativamente, nas décadas vindouras.

Neste capítulo, a Seção 5.1 apresenta o método adotado para a construção de projeções de emissões que sejam consistentes com as projeções do crescimento da demanda e da oferta de transportes. A Seção 5.2 descreve o método usado para a construção de cenários para o setor de transportes no caso do Brasil e a Seção 5.3 apresenta o Cenário de Referência. Em seguida, as Seções 5.4 e 5.5 apresentam as opções de mitigação consideradas neste estudo para o transporte regional e para o transporte urbano, respectivamente, enquanto a Seção 5.6 focaliza especificamente o maior emprego do bioetanol. Por fim, a Seção 5.7 apresenta Cenário de Baixo Carbono proposto para o setor de transportes no Brasil.

86 Devido ao grande emprego da hidroenergia no setor de eletricidade.

87 Os caminhões, que respondem por três quintos do transporte regional de fretes, aumentam as emissões de GEE de forma substancial (PNLT 2007).

88 No dia 9 de maio de 2008, São Paulo registrou o recorde de congestionamento de todos os tempos, que chegou a 266 km (30% das rodovias monitoradas).

5.1 Modelo Bottom-up de Carga e Emissões

Este estudo adotou uma abordagem de baixo para cima (*bottom-up*) para estimar o consumo de combustível e as emissões de *GEE* no setor de transportes. Foram calculadas as emissões de CO_2 por modo de transporte, com base na demanda projetada de passageiros ou frete, o número e a duração de viagens e os tipos e o teor de energia dos combustíveis consumidos. As viagens foram classificadas como sendo urbanas/metropolitanas ou interurbanas/regionais. Em primeiro lugar, o estudo calculou a carga (ou seja, o volume de passageiros x km ou toneladas x km [no caso de frete]) para cada modo de transporte (rodoviário, ferroviário, aéreo e aquaviário) e por subsetor (transporte urbano [passageiros e frete]) e (transporte interurbano/regional [passageiros e frete]). Em seguida, o estudo estimou as emissões resultantes.

5.1.1 Modelando a Oferta e a Demanda dos Modos de Transporte para Modelar as Emissões

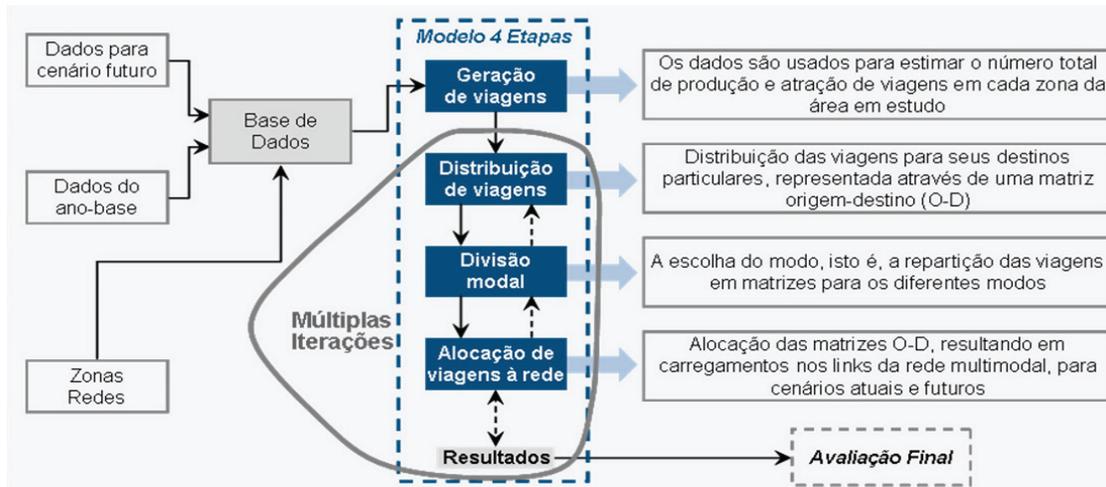
Prever a evolução da demanda e da carga para cada modo de transporte é uma tarefa complexa. Cada modo possui características operacionais que são únicas; são movimentados muitos tipos de frete e o comportamento dos usuários, bem como os motivos das viagens, variam enormemente. Para facilitar as análises da demanda futura e dos cenários, a equipe dedicada ao estudo dividiu o setor de transportes em quatro grupos separados: (i) transporte regional de fretes, (ii) transporte regional de passageiros, (iii) transporte urbano de fretes e (iv) transporte urbano de passageiros. Todas as viagens feitas fora dos limites urbanos dos 5.564 municípios do Brasil foram classificadas como “regionais”; as viagens regionais utilizando veículos em trechos de rodovias principais que atravessassem grandes centros urbanos foram computadas como “viagens regionais”.

O estudo adotou um modelo tradicional de transportes de quatro etapas, que permite a aplicação de mudanças físicas, econômicas e sociais aos contextos tanto interurbanos/regionais quanto urbanos/metropolitanos (Figura 5.2):

- i) *Geração das viagens*: Essa etapa define a demanda total por transporte, atribuída a cada zona de tráfego como função do seu potencial como produtor ou fator de atração de viagens;
- ii) *Distribuição das viagens*: Nessa etapa, são distribuídos os fluxos, com base nas movimentações estimadas entre as origens e os destinos, considerando determinados fatores restritivos, como a distância;
- iii) *Escolha de modos*: Os movimentos entre origens e destinos são desagregados por modo de transporte. Essa função depende da disponibilidade de cada modo, dos respectivos custos e das preferências dos usuários. A informação resultante é representada em uma série de demanda ou de matrizes de viagem para cada modo de transporte, tipo de fluxo e período considerado;
- iv) *Atribuição de rotas*: Todas as viagens estimadas, por origem, destino e modo de transporte, são introduzidas na rede de transportes (com a qualificação geral de que os usuários desejam minimizar o seu tempo de viagem). Caso o tráfego exceda a capacidade de segmentos específicos de transporte (o que ocorre com frequência), acontece o congestionamento e fica afetado o tempo da viagem. Por sua vez, esse fator (através de processo de retroalimentação) pode influenciar a geração e a distribuição das viagens.



Figura 5.2: Sequenciamento do Modelo de Transporte de Quatro Etapas



Foram usados os modelos de planejamento de transporte desenvolvidos para os contextos urbano e regional (TransCAD, EMME e MANTRA) para avaliação das várias alternativas e cenários, através de múltiplas interações e calibrações.

A rede regional de transportes do Brasil possui cinco modos de transporte (rodoviário, ferroviário, aéreo, aquaviário e através de dutos), que são georreferenciados no *software* TransCAD. As principais rotas de transporte possuem em geral um formato radial, levando às capitais e às grandes áreas metropolitanas (Figura 5.3).

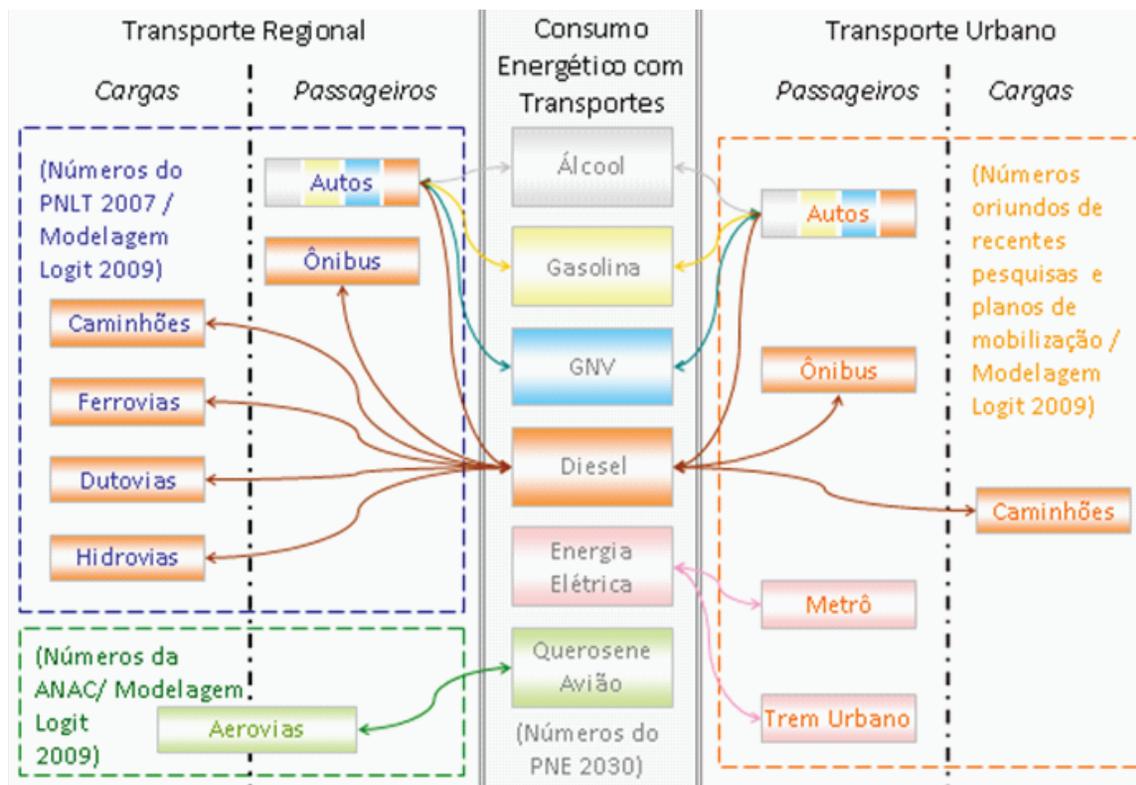
Figura 5.3: Rede Multimodal Georreferenciada



5.1.2 Modelo de Emissões para o Setor de Transportes

Todas as emissões relacionadas ao transporte são em última análise geradas pelos combustíveis queimados pelos tipos de veículos utilizados. Para calcular as emissões, primeiro é preciso ligar a oferta de transporte ao tipo de combustível (Figura 5.4).

Figura 5.4: Ligação do Transporte Regional e Urbano ao Consumo de Combustível



Com base nas alocações de viagem do modelo de transporte de quatro etapas, foi usado o modelo COPERT 4 para cálculo das emissões de GEE. Empregado na União Europeia, o *software* COPERT 4 foi ajustado para o contexto brasileiro, para acomodar os dados disponíveis, as características da frota, as condições operacionais e as condições de manutenção da frota (Quadro 5.1). Além disso, a CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental –, responsável pelo programa de certificação de emissões do Brasil, forneceu dados referentes às emissões e ajudou a desenvolver curvas de emissões como função do tipo e da velocidade dos veículos.

Quadro 5.1: Modelo COPERT: Uma abordagem **bottom-up** para a estimativa das emissões

O COPERT 4 é um software desenhado para calcular as emissões geradas pelo setor de transportes. Utilizado pelos países da União Europeia (EU), pode ser adaptado a outras regiões e a outros países. A ferramenta pode ser aplicada aos níveis agregados regionais e nacionais, podendo ainda ser usada ao nível microrregional em áreas de 1km², sem perda de confiabilidade.

O modelo consegue diferenciar entre emissões “frias” (calculadas no início de uma viagem, antes de o veículo atingir os níveis corretos de eficiência de operação e temperatura de motor) e emissões “quentes” (calculadas quando o motor alcança o seu nível de estabilidade). Além disso, leva em consideração o desgaste dos veículos, resultante da idade e da alta quilometragem. As emissões calculadas incluem as principais emissões de GEE do setor, poluentes locais, matéria particulada, hidrocarbonetos, poluentes orgânicos persistentes e metais pesados.

Os dados lançados são:

- da frota, classificada por classe de tecnologia do veículo e do motor para cada ano do estudo (urbano, regional e rodoviário);
- quilometragem total, por classe de tecnologia do veículo e do motor, para cada ano do estudo;
- quilometragem média das viagens, por ano e por classe de tecnologia do veículo e do motor;
- velocidades médias, por classe de tecnologia do veículo e do motor (urbano, regional e rodoviário);
- tamanho do tanque de combustível e dos tanques auxiliares, por classe de tecnologia do veículo e do motor;
- porcentagem de injeção de combustível;
- porcentagem de controle da evaporação de combustível, por tipo e categoria de motor (urbano, regional e rodoviário);
- temperatura ambiente máxima e mínima, por mês e por ano;
- pressões atmosféricas registradas, por mês e por ano, e parâmetro de distribuição beta;
- composição química de cada tipo de combustível;
- registro de melhorias nas emissões de cada tipo de poluente, por ano; e
- combustíveis usados por classe de tecnologia de veículo e motor e consumo anual de combustível.

5.2 Planos do Governo para o Projeto de Cenários

O estudo ateu-se o máximo possível aos planos oficiais no desenvolvimento dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono para o setor de transportes. Diferentemente de outros setores, o

principal desafio de redução de emissões para o setor de transportes não tem tanto a ver com a migração para uma tecnologia que empregue volumes menores de carbono para atingir o mesmo nível de oferta; na verdade, o desafio tem mais a ver com financiar e desenvolver infraestrutura nova e dispendiosa em termos de capital, a maior parte da qual já está identificada, para expandir a oferta de transporte e evitar ou reduzir o congestionamento. Assim sendo, os planos existentes do governo são importantes para a construção não apenas do Cenário de Referência, mas também do Cenário de Baixo Carbono. A principal diferença entre esses dois cenários reside no ritmo de implementação. Considerando que tanto o Cenário de Referência quanto o de Baixo Carbono utilizam a mesma metodologia, são definidos juntos nas subseções a seguir, quanto a opções para o transporte (i) regional e (ii) urbano.

5.2.1 PAC e PNLT: Base para os Cenários de Transporte Regional

Para construir os Cenários de Referência e de Baixo Carbono para o transporte regional, o estudo considerou dois principais planos do governo: o Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) e o Plano Nacional de Logística de Transporte (PNLT). Com base em discussões com especialistas do setor de transportes e com o Ministério dos Transportes (MT), ficou acordado que os investimentos do PAC nas áreas de reabilitação e construção de infraestrutura seriam incluídos no Cenário de Referência.⁸⁹ O PNLT, preparado pelo MT em 2007, resultou de um processo participativo de planejamento, que envolveu vários grupos nos níveis nacional e estadual. A meta geral do plano inclui objetivos ambientais e de sustentabilidade de longo prazo, refletidos no apoio a uma gradual redução de investimentos em rodovias e a um gradual aumento de investimentos em ferrovias e hidrovias. O horizonte de tempo inicial para implementação dos projetos propostos é 2023, ainda que – considerando o atual contexto econômico e as incertezas relacionadas com respeito à viabilidade desse prazo – tenha ficado acordado que alguns projetos contidos no PNLT seriam considerados como parte do Cenário de Baixo Carbono. Com base no PAC e no PNLT, o total de investimentos necessários para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono são de US\$19,6 bilhões e US\$29,3 bilhões, respectivamente (Tabela 5.1).

*Tabela 5.1: Investimentos do PAC e do PNLT
Considerados para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono*

Modo de transporte	Cenário de Referência			Cenário de Baixo Carbono		
	US\$ (bilhões)	% do total	% do PAC	US\$ (bilhões)	% do total	% do PNLT
Rodoviário	15,1	77	126	13,3	45	52
Ferroviário + aquaviário + dutos	4,5	23	100	16,0	55	63
Total	19,6	100	119	29,3	100	57

Além do PAC e do PNLT, o estudo adotou o cenário macroeconômico do Plano Nacional de Energia (PNE 2030), desenvolvido pela Empresa de Planejamento de Energia (EPE) para garantir que as suposições usadas para projetar a movimentação de frete e passageiros seriam compatíveis com as adotadas nos modelos dos outros três setores. Os cenários de demanda criados para o transporte de frete integraram as possibilidades de expansão das fronteiras agrícolas, aumento de produtividade e projeção do balanço entre oferta e demanda de produtos.

⁸⁹ O PAC aloca mais de US\$16,5 bilhões a projetos relacionados a transporte, dos quais cerca de US\$3 bilhões são absorvidos por concessões e outras parcerias público-privadas.

5.2.2 Planos de Mobilidade Urbana: Base para os Cenários de Transporte Urbano

O setor de transporte urbano é mais complexo. O transporte de frete e de passageiros é regulado por vários órgãos municipais e estaduais, que observam agendas divergentes e por vezes contraditórias. Em áreas metropolitanas e em outras densamente populosas, os usuários do transporte ficam à mercê de interesses políticos e institucionais. Considerando que os trajetos regulares frequentemente atravessam limites municipais, seria de grande vantagem para os usuários poder dispor de um sistema mais integrado de administração dos transportes, com arcabouço institucional, políticas, orçamentos e sistemas de tarifas que fossem comuns.

Uma vez que não há disponibilidade de planos oficiais de mobilidade para todos os centros urbanos – os 36 maiores englobam 516 municípios (IBGE 2008) –, o estudo tratou de agrupar os números necessários para avaliar as emissões geradas pelo transporte urbano em oito categorias de centros urbanos. No caso das cinco categorias correspondentes aos maiores municípios e centros urbanos, as estimativas de investimentos foram baseadas em pesquisas de origem e destino e em recentes planos-mestre de transporte (Tabela 5.2).⁹⁰

Considerando que as principais oportunidades para redução das emissões no transporte urbano derivam-se de investimentos nos sistemas de transporte de massa, o estudo não considerou qualquer diferença significativa em infraestrutura entre os Cenários de Referência e de Baixo Carbono para as categorias que correspondem aos municípios menores.

Tabela 5.2: Planos-Mestre para Transporte Urbano Disponíveis

<i>Categoria</i>	<i>Região Metropolitana ou Município</i>
1	São Paulo e Rio de Janeiro
2	Belo Horizonte, Curitiba, Recife e Porto Alegre
3	Baixada Santista e Grande Vitória
4	Cuiabá-Várzea Grande, Florianópolis, Londrina, Maringá, Maceió, Campo Grande, Vitória da Conquista, Ribeirão Preto e Juiz de Fora
5	Petrópolis, Piracicaba, Campina Grande, Rio Branco e Santa Maria

Entre os vários planos ambiciosos de investimento em transporte urbano, a solução mais viável para as cidades é o Sistema de Trânsito de Ônibus Rápido (sigla BRT, em inglês), que exige investimentos menores em infraestrutura e leva menos tempo para ser executado. O sistema BRT tem capacidade para oferecer uma melhor alternativa aos sistemas ineficientes e deteriorados de ônibus, atraindo usuários de automóveis particulares. Todos os tipos de investimento e valores foram modelados, sendo propostas probabilidades de investimento modeladas e respectivas para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono (Tabela 5.3).

⁹⁰ É preciso observar que o Cenário de Referência considerou a escolha do Brasil como país sede da Copa do Mundo da FIFA em 2014, um evento importante que irá exigir investimentos na infraestrutura de transportes públicos. Uma vez que a maior parte das cidades anfitriãs está localizada em grandes áreas metropolitanas, a expectativa é que ocorram consideráveis investimentos em sistemas de ônibus e de metrô, para assegurar a observação das condições estabelecidas para sediar esse evento.

Tabela 5.3: Investimentos em Sistemas de Transporte Público e de Massa

Categoria (nº)*	Municípios urbanos densamente populosos e regiões metropolitanas	Tipo de Sistema	# de km a serem construídos	
			Cenário de Referência	Cenário de Baixo Carbono
RM com investimentos (1)	São Paulo e Rio de Janeiro	BRT	180	1.263
		Metrô	30	405
RM com investimentos (2)	Belo Horizonte, Distrito Federal e Entorno (RIDE), Fortaleza, Curitiba, Recife, Porto Alegre e Salvador	BRT	289	670
		Metrô	25	280
RM com prováveis investimentos (3)	Belém, Baixada Santista, Goiânia, Campinas, Manaus e Grande Vitória	BRT	60	300
		Metrô	0	100
RM/municípios com prováveis investimentos (4)	Cuiabá-Várzea Grande, Aracaju, Grande Teresina (RIDE), Grande São Luís, Florianópolis, Londrina, João Pessoa, Maringá, Maceió, Natal, São José dos Campos, Ribeirão Preto e Juiz de Fora	BRT	80	240
		Metrô	0	0
Municípios com prováveis investimentos (5)	São José do Rio Preto, Campina Grande, Piracicaba, Bauru, Montes Claros, Jundiá, Anápolis, Foz do Iguaçu, Franca, Rio Branco, Uberaba, Cascavel e Volta Redonda	BRT	40	120
		Metrô	0	0

* RM = região metropolitana

5.3 Projeções de Emissões no Cenário de Referência

Com base nos investimentos propostos discutidos acima, foram modeladas as cargas de transporte e as emissões projetadas ano a ano dos modos de transporte urbanos e regionais para o Cenário de Referência. De 2007 a 2030, as projeções indicam que as emissões devem duplicar (de 144 para 248 MtCO₂) (Tabela 5.4), com o transporte urbano respondendo por aproximadamente a metade das emissões gerais para o setor. Espera-se que haja crescimento substancial na adoção do etanol em veículos particulares durante o período. De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores do Brasil (ANFAVEA), até 2030 virtualmente toda a frota de passageiros consistirá de veículos “flex”, enquanto as cargas de veículos movidos a gasolina deverão sofrer aumento de 25%, passando de 355 bilhões para 444 bilhões de passageiros*quilômetro, as cargas de passageiros em carros movidos a etanol deverão crescer em 4,5 vezes, de 118 bilhões para 541 bilhões de passageiros*quilômetro (Tabela 5.4).



Tabela 5.4: Carga e Emissões de GEE para o Cenário de Referência, 2007–30

Segmento	Modo	Tipo de Veículo	Combustível	Carregamento em Milhões (ton*km ou pax*km)		Emissões de CO2 em mil toneladas		
				2007	2030	2007	2030	2010 a 2030
Urbano Cargas	Viário	Caminhões	Diesel	32.436	49.151	7.6	7.6	0
	Totais Urbano Cargas			32.436	49.151	7.6	7.6	0
Urbano Passageiros	Viário	Ônibus	Diesel	431.327	730.799	33.812	51.310	887.697
		BRT		0	102.332	0	3.360	32.370
		Autos e Motos	Álcool	96.399	364.894	0	0	0
	Metro-ferroviário	Metrôs	Gasolina	272.570	347.346	36.589	66.160	1.087.014
				Trens	28.412	55.385	0	0
				Eletricidade	35.370	50.699	0	0
Totais Urbano Passageiros				864.078	1.651.455	70.401	120.829	2.007.082
Emissões Totais Transporte Urbano				-	-	75.158	128.327	2.137.488
Regional Cargas	Rodoviário	Caminhões	Diesel	689.057	1.274.440	47.320	75.628	1.296.916
	Ferrovário	Trens		321.240	552.364	4.316	6.424	112.459
	Hidroviário	Embarcações		26.984	81.349	201	522	7.977
	Dutoviário	Dutos		15.732	24.727	59	79	1.430
Totais Regional Cargas				1.053.013	1.932.880	51.897	82.653	1.418.782
Regional Passageiros	Rodoviário	Autos	Álcool	21.905	176.485	0	0	0
		Autos e Motos	Gasolina	83.166	97.031	4.174	5.227	94.807
		Ônibus	Diesel	154.845	276.915	4.393	7.541	125.651
	Ferrovário	TAV	Eletricidade	0	0	0	0	0
	Aeroviário	Aviões	Querosene AV	45.259	127.569	8.436	23.740	324.010
Totais Regional Passageiros				305.175	678.001	17.003	36.508	544.469
Emissões Totais Transporte Regional				-	-	68.899	119.161	1.963.251
Total de Emissões do Setor de Transportes				-	-	144.057	247.488	4.100.739

(*) para evitar a dupla contagem com emissões já consideradas nos setores de agricultura e de energia, foram consideradas aqui apenas as emissões diretas.⁹¹

A evolução das emissões no Cenário de Referência indica que, juntos, carros, caminhões e ônibus respondem por 87% das emissões no período de 2010 a 2030. Considerando que a maior parte da energia elétrica é gerada a partir da hidroeletricidade, os sistemas de transporte de massa por metrô devem gerar virtualmente nenhuma emissão direta. O papel significativo atribuído pelo Brasil ao etanol no PNE 2030 explica a contribuição relativamente estável dos veículos particulares durante o período (Figura 5.5a). O uso bastante difundido do etanol para mover veículos leves sugere que o Cenário de Referência envolve níveis baixos de emissões, em comparação aos de outros países com crescimento semelhante, quanto ao uso de veículos particulares. Neste estudo, considerando que as emissões da agricultura e das mudanças no uso da terra já foram consideradas no Capítulo 2, o etanol é considerado como tendo zero em termos de emissões líquidas, uma vez que as emissões dos canos de descarga dos veículos movidos a etanol se baseiam no carbono previamente extraído da atmosfera pelas plantações de cana-de-açúcar. Na verdade, o estudo constatou que, sem os biocombustíveis, as emissões do setor seriam 50% mais altas em 2030 (371 *versus* 247 MtCO₂e por ano) e as emissões cumulativas aumentariam 45 por cento (Figura 5.5b).

91 Ainda que não tenham sido consideradas aqui, para evitar a dupla contagem, as emissões “a montante” ou “indiretas” associadas à produção dos combustíveis e da eletricidade usados no setor de transportes são calculadas e apresentadas no relatório específico para transportes.

Figura 5.5a: Evolução das Emissões por Tipo de Veículo no Cenário de Referência, 2008–30

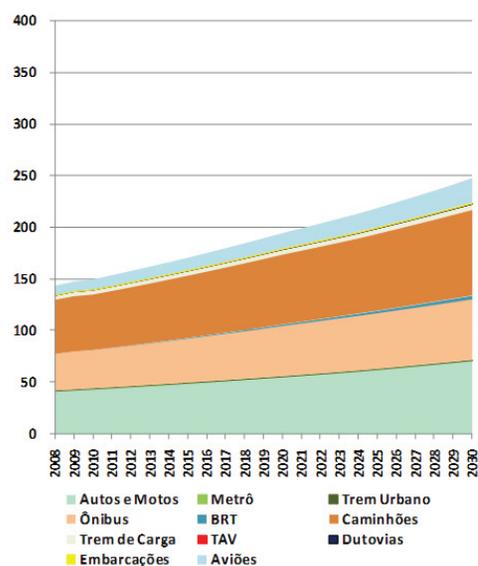
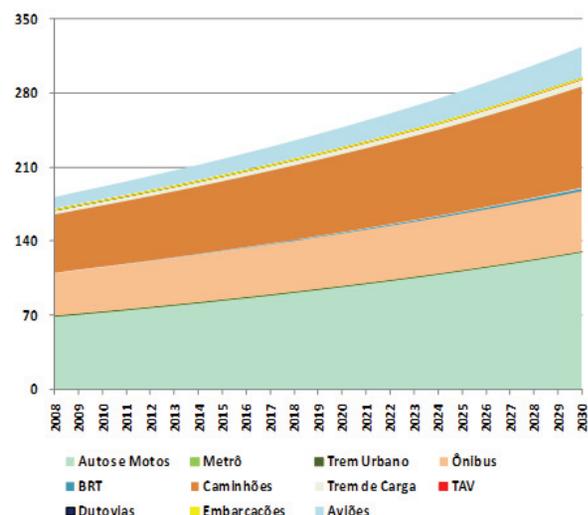


Figura 5.5b: Projeção de Emissões do Setor de Transportes, sem Biocombustíveis, 2008–30



As seções a seguir descrevem opções para a mitigação das emissões do transporte urbano e regional, respectivamente. Foi ainda considerada a expansão do consumo do etanol como substituto da gasolina.

5.4 Opções de Mitigação de Emissões para o Transporte Regional

Com base em consultas com especialistas, na pesquisa bibliográfica e na análise de planos-mestre para as regiões metropolitanas e de programas e planos do governo, foi selecionado um conjunto de opções viáveis para a mitigação das emissões, a serem implementadas até 2030, de acordo com o Cenário de Baixo Carbono. Algumas dessas opções, já consideradas no PNLT, foram mantidas devido ao seu potencial de evitar emissões; uma outra parcela, que consistia de opções novas, foi proposta pela equipe do estudo.

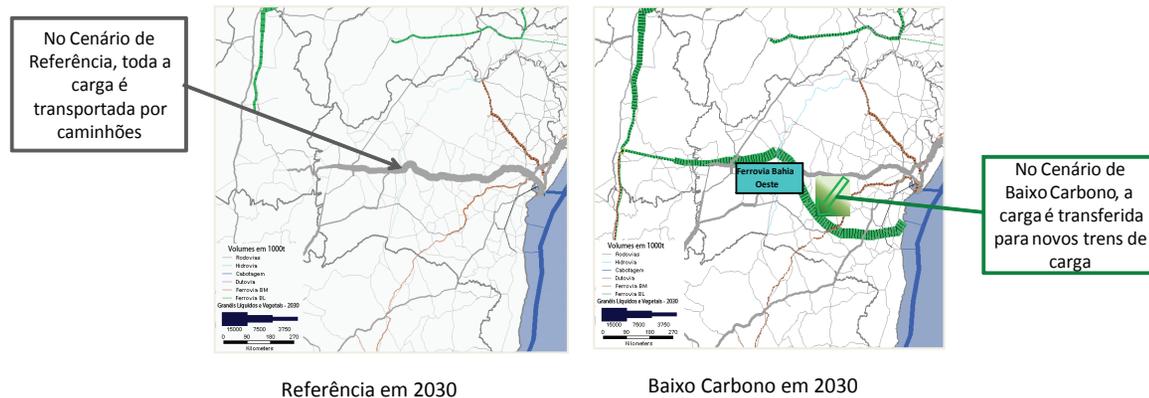
As políticas e investimentos correspondentes giram em torno da criação de incentivos e de promover uma mudança gradual na combinação de modais de transporte adotados no país, em que, no âmbito regional, o transporte rodoviário é o principal meio considerado no Cenário de Referência para o transporte de mercadorias (aproximadamente 60% do volume total) e de passageiros. Em relação ao transporte de grandes volumes de frete, quer sejam grãos sólidos (por exemplo, soja) ou líquidos (como petróleo, etanol e outros derivados), os transportes ferroviário e aquaviário exibem maior eficiência energética, sendo assim os modos preferidos sempre que for possível, pelo Cenário de Baixo Carbono.

5.4.1 Transporte de Frete: Troca de Modais, da Rodovia para a Ferrovia e Hidrovia

Melhorar a eficiência do transporte de fretes no Brasil e reduzir as emissões relacionadas exige uma significativa mudança na rede do transporte de cargas. Tanto o PNLT quanto o Plano Nacional de Mudança Climática (PNMC) enfatizam a necessidade de reduzir o volume de frete transportado por rodovias, substituindo esse modal por um modo de transporte mais eficiente

do ponto de vista da energia. Está sendo planejada uma transferência gradual da estrada para a ferrovia e para hidrovias interiores e costeiras, além de dutos.

Figura 5.6: Exemplo de Transferência Modal para o Transporte Regional– Bahia



3

As intervenções que visam modificar a rede de transporte devem ser guiadas pelas necessidades e exigências dos mercados nacional, regional e internacional. Nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, a demanda por transportes gira quase que totalmente ao redor de *commodities* agrícolas e minerais, que já possuem suas próprias soluções logísticas e que enfrentam severa concorrência de outros modais. Assim sendo, o potencial existente nessas regiões para o estabelecimento de novas hidrovias e ferrovias parece ser mais limitado do que em geral se considera. Certos investimentos tecnicamente possíveis, que envolvem altos custos, poderiam realmente terminar sendo subutilizados.

Caso fosse adotada a mudança de modais proposta, 13% da carga transportada por caminhão durante o período do estudo seriam transferidos para trens de carga, navios e dutos, cujas respectivas cargas aumentariam em 27, 64 e 8%; como resultado, o Cenário de Baixo Carbono mostra uma redução potencial de 8% no total de emissões de CO₂ em 2030, em comparação com o Cenário de Referência (de 82,6MtCO₂ por ano para 76 MtCO₂ por ano),⁹² o que resultaria principalmente da redução da participação do transporte de fretes por rodovia (de 66 para 56 por cento).

No caso do transporte aquaviário, os investimentos no Cenário de Baixo Carbono incluem a dragagem e a construção de terminais, dependendo do tipo de mercadorias a serem transportadas. Para harmonizar as metas de transporte de frete no Cenário de Baixo Carbono, os investimentos no transporte ferroviário requerem uma melhor integração dos operadores das ferrovias e das autoridades reguladoras responsáveis pela operação dos serviços, bem como melhores parcerias operacionais entre as concessionárias. A conservação da rede ferroviária existente, bem como a sua expansão e o desenvolvimento de interfaces com as estradas, são aspectos fundamentais para facilitar a transferência do transporte de cargas das rodovias para as ferrovias. Finalmente, a mudança do transporte baseado em estradas para o transporte costeiro exige melhores instalações, para a transferência rápida e eficiente entre modais.

Esses vários modos de transporte, que em geral são operados pelo setor privado, devem ser integrados. Essa integração exigiria nova infraestrutura e novos terminais, para permitir a transferência intermodal (por exemplo, do navio para a rodovia), e processar com eficiência o volume de frete a ser transportado. Considerando os vários atores envolvidos, o Ministério dos Transportes (MT) deveria ficar responsável pela coordenação da implementação de políticas e dos investimentos

92 O total de redução das emissões durante o período de 2010 a 2030 chegaria a 51 MtCO₂.

necessários para migração para uma nova divisão entre modais até 2030 (Tabela 5.5).

Os recursos adicionais necessários para a adoção da mudança proposta entre modais de transporte em um Cenário de Baixo Carbono (baseado no PNLT), em comparação com o Cenário de Referência (baseado no PAC) totalizam cerca de US\$17 bilhões, dos quais aproximadamente US\$1,8 bilhão poderia ser absorvido pelo setor privado, através de parcerias público-privadas (PPPs). Isso resultaria em uma redução de emissões de 126 MtCO₂ durante o período de 2010 a 2030. Quanto à economia de combustível, representa um benefício considerável, da ordem de US\$2,8 bilhões.

Tabela 5.5: Transporte Regional de Frete: Comparação dos Investimentos nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2010–30

Ano	Cenário de Referência (milhões de US\$)			Cenário de Baixo Carbono (milhões de US\$)		
	Ferrovial e Aquavial	Rodovial	Total	Ferrovial e Aquavial	Rodovial	Total
2010	0,396	-	0,396	0,396	-	0,396
2011	0,793	-	0,793	0,793	-	0,793
2012	1,189	-	1,189	1,189	-	1,189
2013	-	-	-	-	-	-
2014	0,356	2,788	3,144	0,356	2,548	2,905
2015	0,712	5,575	6,288	0,712	5,097	5,809
2016	1,069	8,363	9,432	1,069	7,645	8,714
2017	-	-	-	-	-	-
2018	-	0,554	0,554	1,331	0,554	1,885
2019	-	1,108	1,108	2,661	1,108	3,769
2020	-	1,662	1,662	3,992	1,662	5,654
2021	-	-	-	-	-	-
2022	-	-	-	0,581	-	0,581
2023	-	-	-	1,162	-	1,162
2024	-	-	-	1,742	-	1,742
2025	-	-	-	-	-	-
2026	-	1,251	1,251	-	1,185	1,185
2027	-	2,503	2,503	-	2,369	2,369
2028	-	3,754	3,754	-	3,554	3,554
2029	-	-	-	-	-	-
2030	-	-	-	-	-	-
Total	4,516	27,559	32,074	15,984	25,722	41,707

Para que esse grupo de políticas seja implementado com sucesso, é importante desenhar um programa adequado e realista para a alocação de recursos, bem como medidas para facilitar o financiamento dos consideráveis investimentos necessários para adaptar e construir a infraestrutura necessária para a transferência eficiente entre modais.

5.4.2 Transporte de Passageiros: Transferência de Modais da Rodovia e do Transporte Aéreo para a Ferrovia Interurbana

A mudança de modal para o transporte de passageiros visa reduzir o número de passageiros nas rodovias para deslocamentos interurbanos, estimulando o transporte ferroviário. Com a quase total extinção dos trens regionais para transporte de passageiros após a concessão da malha ferroviária para operação privada, esses deslocamentos são realizados hoje basicamente pelo modo rodoviário. Uma parcela menor de usuários, em geral de maior poder aquisitivo, utiliza



o transporte aéreo nessas rotas. A opção proposta de mitigação, que envolve a transferência do transporte aéreo e rodoviário para o ferroviário entre cidades até 2030, deve ser iniciada nas maiores regiões metropolitanas, com base nos resultados de recentes estudos para ligar o Rio de Janeiro a São Paulo através do trem de alta velocidade (Tabela 5.6).

A redução total de emissões de 0,5 MtCO₂e, associada à migração proposta entre modais, pode não parecer significativa – representa uma redução de 1,3% em comparação com o Cenário de Referência –, mas uma redução de praticamente 3,4 gCO₂ por passageiro x km na troca do automóvel pelo trem comprova que uma expansão ainda maior do sistema poderia resultar em consideráveis benefícios quanto à redução das emissões.

Uma redução geral de 10 MtCO₂ nas emissões líquidas durante o período de 2014 a 2030 pode não justificar os US\$16 bilhões projetados para a ligação entre as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo através do trem de alta velocidade. Entretanto, além da possível oportunidade para uma maior expansão e para a redução de emissões relacionadas, o governo brasileiro espera consideráveis recursos de contrapartida. Além disso, há possibilidade de significativos benefícios, do ponto de vista econômico e social, do trem de alta velocidade.

Tabela 5.6: Comparação da Redução Projetada de Emissões para o Transporte Regional em 2030: Cenário de Troca de Modais

Segmento	Modal de Transporte	Tipo de Veículo	Tipo de Combustível	Carga (Mt * km ou pax * km/ano)		Emissões diretas de GEE (MtCO ₂ e/ano)		Emissões Evitadas 2010-2030
				Cenário de Referência	Cenário de Baixo Carbono	Cenário de Referência	Cenário de Baixo Carbono	MtCO ₂ e
Frete	Ferrov	Trem	Diesel	552,364	703,854	6.42	8.46	-28.24
	Aquav	Navio		81,349	133,503	0.52	0.88	-4.77
	Dutos	Dutos		24,727	26,621	0.08	0.09	-0.15
	Rodov	Caminhão		1,274,440	1,113,926	75.63	66.57	84.14
	Frete Total (regional)				1.932,880	1.977,904	82.65	76.00
Passageiros	Rodov	Carro	Etanol	176,485	165,457	0.00	0.00	0.00
		Carro e moto	Gasolina	97,031	90,968	5.23	2.44	19.89
		Ônibus	Diesel	276,915	276,915	7.5	6.4	10.8
	Aéreo	Avião	Querosene de Aviação	276,915	276,915	23.74	23.13	6.75
	Total de passageiros (regional)				678.000	660.908	36.51	32.00
TOTAL DE EMISSÕES: carga e passageiros (regional)						119.16	108.00	88.45

(*) para evitar a dupla contagem com emissões já consideradas nos setores de agricultura e de energia, foram consideradas aqui apenas as emissões diretas.⁹³

5.5 Opções de Mitigação de Emissões para o Transporte Urbano

O transporte urbano é mais complexo do que o regional, por causa da maior concentração de veículos operando em áreas densamente habitadas. A interação próxima entre os vários modos de transporte e as ligações entre o transporte, o uso da terra, o desenvolvimento econômico local e as políticas de crescimento espacial, todas se acrescentam à complexidade envolvida na modelagem dos efeitos do transporte nas áreas urbanas.

93 Ainda que não tenham sido consideradas aqui, para evitar a dupla contagem, as emissões “a montante” ou “indiretas” associadas à produção dos combustíveis e da eletricidade usados no setor de transportes são calculadas e apresentadas no relatório específico para transportes.

Foram considerados três grupos de opções de mitigação para o subsetor de transportes urbanos. A primeira focalizou uma troca de modais, do transporte particular para sistemas de transporte público de baixo carbono nas maiores cidades e regiões metropolitanas. A segunda examinou intervenções na gestão da demanda por viagens, onde a prioridade é reduzir a demanda e a duração dos trajetos e promover uma migração para o transporte de alta ocupação. A terceira focalizou o desenvolvimento de transporte de zero carbono e não motorizado.

5.5.1 Utilização de Sistemas de Transporte Público de Alta Capacidade

Os veículos particulares em circulação estão concentrados nas regiões metropolitanas. A expansão e o aprimoramento da qualidade dos sistemas de transporte público pode ajudar a reduzir o uso de veículos particulares e limitar assim as emissões.

O Sistema de Trânsito de Ônibus Rápido (BRT⁹⁴) possui considerável potencial de redução de emissões nas áreas urbanas, considerando que as viagens de ônibus respondem por aproximadamente 85% das viagens públicas nas cidades brasileiras. Comparado aos sistemas convencionais de ônibus, o BRT consegue transportar uma quantidade muito maior de passageiros, reduzindo assim o consumo de combustível por passageiro e por quilômetro. Como os veículos do BRT utilizam pistas reservadas a eles, apresentam uma velocidade média mais alta, o que resulta em um melhor serviço e em menos emissões.

O investimento necessário para a construção dos quase 650 km de BRT já previstos no Cenário de Referência totalizaria cerca de US\$6,5 bilhões. A modelagem indica que seria possível expandir o sistema BRT para cerca de 2.600 km, o que implicaria em US\$26 bilhões adicionais. Essa quantia exigiria financiamento do setor público, uma vez que existe pouca possibilidade de desoneração destes valores, pois o investimento em transportes coletivos de massa, urbanos, são pouco atrativos para a iniciativa privada devido a grandes esforços para obtenção de eficiências operacionais e margens de lucros bastante reduzidas.

Comparando as cargas e as emissões dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono e as que resultariam da proposta de um sistema de transporte público expandido de alta capacidade proposto, baseado em BRT movido a diesel, observamos uma redução de 7,5% nas emissões em 2030 (de 128 MtCO₂ por ano para 119 MtCO₂ por ano),⁹⁵ mesmo na ausência de quaisquer mudanças tecnológicas importantes.

Essa redução de emissões resultaria de uma maior participação do BRT no transporte de passageiros, que experimentaria aumento dos 6% no início do período para 30% em 2030. Sessenta e nove por cento dos novos passageiros do BRT migrariam dos ônibus convencionais, causando um declínio da participação desses últimos de 17% (de 44 para 27%), enquanto 17% seriam usuários potenciais de veículos motorizados individuais, cujo uso teria experimentado um declínio de 4% (de 43 para 39%).

O sistema do metrô inclui também significativo potencial para reduzir o consumo de combustível e as emissões, em especial nas cidades grandes, uma vez que toma o espaço dos ônibus a diesel e de veículos individuais, que ficam frequentemente presos em congestionamentos, e substitui por um sistema movido a eletricidade gerada principalmente por usinas hidrelétricas. No Rio de Janeiro, existem planos para expansão da Linha 1 até Ipanema, e nos próximos anos a conexão do Centro com a Barra da Tijuca através de concessão privada provavelmente vai ser operacionalizada. Entre os planos para maiores expansões, incluem-se novas rotas dentro do horizonte tempo de 2030 focalizado pelo Cenário de Baixo Carbono. Os

94 Do inglês *Bus Rapid Transit* (BRT)

95 Durante o período de 2010 a 2030, o BRT adicional proposto evitaria 73 MtCO₂.



planos-mestre de Brasília e de Belo Horizonte indicam semelhantemente a probabilidade de extensão de seus sistemas de metrô até 2030.

A modelagem indica que seria possível construir 785 km adicionais de linhas de metrô em comparação com o Cenário de Referência; para isso, seria necessário um gasto de aproximadamente US\$80 bilhões, que poderiam ser parcialmente co-financiados pelo setor privado, de acordo com um modelo semelhante de Parceria Público-Privada (PPP) ao modelo adotado para a Linha Amarela em São Paulo.

Através da combinação das linhas propostas do metrô com as linhas adicionais do BRT, as emissões geradas pelo transporte seriam reduzidas em mais 8% até 2030 do que somente com o BRT (Figura 5.7). Como resultado, a introdução conjunta do BRT e do metrô resultaria em um total anual de redução de emissões de CO₂ de cerca de 7,5% em 2030 (de 128 MtCO₂ para 119 MtCO₂ por ano). Com o acréscimo do metrô no Cenário de Baixo Carbono, a participação do modal dos ônibus convencionais cairia ainda mais (de 44 para 21%), enquanto a participação dos veículos particulares seria também reduzida (de 43 para 37 por cento) (Tabela 5.7).

Figura 5.7: Exemplo de Transferência Modal para o Transporte Urbano– Belo Horizonte

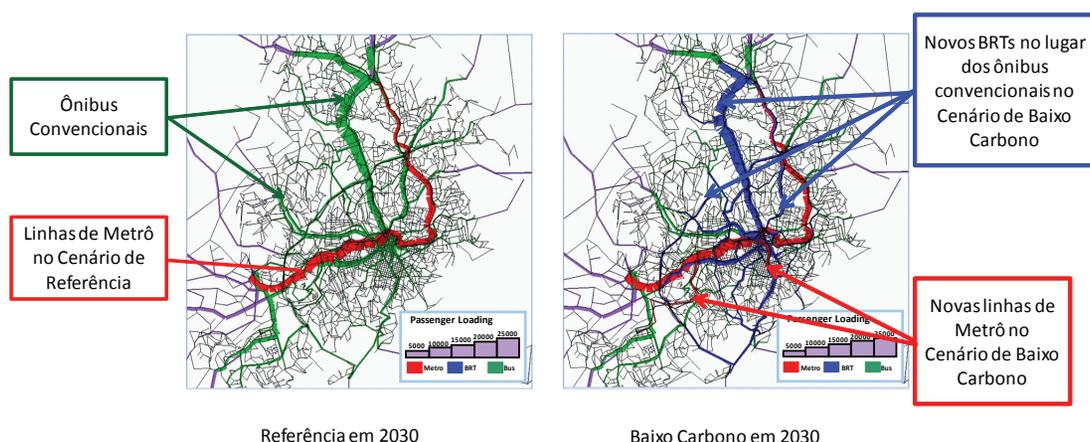


Tabela 5.7: Reduções de Emissões em 2030 com a Expansão do BRT a Diesel e Sistemas de Metrô

Segmento	Modo de Transporte	Tipo de Combustível	Carga (milhões de pass * km/ano)		Emissões globais diretas de CO ₂ (Mt/ano)	
			Cenário de Referência	Cenário com BRT + Metrô	Cenário de Referência	Cenário com BRT + Metrô
Rodov	Caminhões	Diesel	49.15	49.15	7,498	7,498
Carga Urbana Total			49.15	49.15	7,498	7,498
Rodovia	Bus	Diesel	730,799	346,281	51,310	39,398
	BRT		102,332	470,621	3,360	13,349
	Carros	Etanol	364,890,	320,240	0	0
Ferrovia	Carros e Motos	Gasolina	347,350,	304,840	66,160	59,227
	Metrô	Electricidade	55,385	212,844	0	0
	Trem		50,699	26,577	0	0
Total passageiros (urbanos)			1,651,460	1,675,400	120,830	111,974
TOTAL DE EMISSÕES: transporte urbano					128,328	119,472

(*) para evitar a dupla contagem com emissões já consideradas nos setores de agricultura e de energia, foram consideradas aqui apenas as emissões diretas.⁹⁶

96 Ainda que não tenham sido consideradas aqui, para evitar a dupla contagem, as emissões “a montante” ou “indiretas” associadas à produção dos combustíveis e da eletricidade usados no setor de transportes são calculadas e apresentadas no relatório específico para transportes.

5.5.2 Administração da Demanda de Trânsito

Além do BRT e do metrô, a administração da demanda de trânsito pode reduzir significativamente as emissões urbanas, através de intervenções públicas; combina uma série de medidas que visam desencorajar o uso de automóveis particulares, e, ao mesmo tempo, estimula o uso dos sistemas de transporte público e de massa. As medidas de administração da demanda de trânsito conseguem aumentar a velocidade média, e conseqüentemente, reduzir as emissões de GEE associadas. Por exemplo, o fato de aumentar a velocidade horária média de 20 para 25 km em grandes áreas metropolitanas pode reduzir as emissões em 5 por cento. As medidas de administração da demanda de trânsito devem ser inteiramente integradas às que promovem e aprimoram a qualidade dos sistemas de transporte público e de massa, bem como o uso racional de automóveis. As principais medidas são:

- Desenvolvimento de sistemas de transporte com alta capacidade, usando ônibus e trens nos corredores de alta demanda, para melhorar a velocidade e as condições gerais das operações de trânsito;
- Gerenciamento da mobilidade do trânsito nos sistemas viários para minimizar o congestionamento;
- Desenho de estratégias que restrinjam o uso de automóveis particulares (por exemplo, através de políticas de estacionamento em áreas do centro das cidades que restrinjam o acesso);
- Integração de vários modais de transporte;
- Integração das políticas de uso da terra e de transporte (redução do número e da distância das viagens).

De acordo com a modelagem, as medidas propostas para administração do trânsito reduziriam ainda mais as emissões do transporte urbano em 4,2 por cento.⁹⁷

As estratégias de mitigação baseadas na administração da demanda de trânsito devem considerar o uso e a ocupação da terra. Curitiba, Bogotá e outras cidades latino-americanas ilustram as significativas reduções nas emissões de CO₂ que podem resultar desse tipo de planejamento integrado. Essas estratégias visam garantir no médio/longo prazo a adequação urbana de várias regiões de forma a promover um uso espacial mais adensado e mais diversificado (*mixed use*). Com isso é possível reduzir não só o número de viagens realizadas por carros (uma vez que serviços, comércio e outras atividades se tornam mais acessíveis em termos de distância) como também a extensão das viagens realizadas. Além disso, estimula o uso mais intenso do transporte público, o que reduz congestionamentos de trânsito e aumenta a viabilidade de transporte não motorizado. Entretanto, para que essas estratégias sejam bem-sucedidas em longo prazo, é necessário que existam estruturas institucionais, financeiras e regulatórias apropriadas, bem como políticas de *marketing* e campanhas públicas.

Ainda que o gerenciamento da demanda de tráfego reduza o consumo de combustível e as emissões, um melhor fluxo dos veículos envolve também o risco de criar mais trânsito, como resultado da demanda atualmente reprimida, o que resultaria em volta do consumo de combustível e emissões. Assim sendo, as estratégias de gerenciamento da demanda devem garantir um equilíbrio entre o desenvolvimento do fornecimento de serviços de transporte e o gerenciamento da demanda por viagens, para evitar esse efeito de rebote.

⁹⁷ Durante o período de 2010 a 2030, as medidas propostas de gerenciamento de trânsito evitariam cerca de 73 MtCO₂.

5.5.3 Políticas de Incentivo ao Uso de Transporte Não Motorizado

Finalmente, o transporte não motorizado – o único modal de transporte que não gera qualquer emissão – continua a representar muitas das viagens realizadas em cidades brasileiras. Em São Paulo, por exemplo, as caminhadas respondem por aproximadamente um terço de todas as viagens. A integração de uma infraestrutura segura e atraente para as caminhadas e a expansão da rede de ciclovias como parte das políticas e sistemas de transporte público pode melhorar o cenário urbano geral e evitar quantidades significativas de emissões de CO₂, estimadas em aproximadamente 1,6% das emissões geradas pelo transporte urbano no Cenário de Referência (Tabela 5.8).

Tabela 5.8: Cargas de Ciclovias e Ganhos em Emissões Evitadas, 2010–30

Ano	Transferência de carga para a bicicleta (milhões de pass/km)	Emissões evitadas (milhares de toneladas CO ₂ /ano)	Valor cumulativo (milhares de US\$)	
			Investimento	Economia de combustível
2010	88	7	14.000	136
2011	273	21	28.000	555
2012	563	42	42.000	1.418
2013	968	72	56.000	2.899
2014	1.497	110	70.000	5.187
2015	2.162	158	84.000	8.486
2016	2.973	215	98.000	13.014
2017	3.942	282	112.000	19.006
2018	5.083	360	126.000	26.714
2019	6.408	450	140.000	36.408
2020	7.932	551	154.000	48.375
2021	9.670	662	168.000	62.924
2022	11.501	777	182.000	80.188
2023	13.431	895	196.000	100.304
2024	15.464	1.015	210.000	123.402
2025	17.605	1.138	224.000	149.625
2026	19.857	1.264	238.000	179.119
2027	22.225	1.393	252.000	212.033
2028	24.715	1.525	266.000	248.513
2029	27.332	1.660	280.000	288.710
2030	30.080	1.798	294.000	332.784

Observação: Esse cenário potencial inclui a construção de 8.400 km de ciclovias e instalações relacionadas.

5.6 Maior Uso do Bioetanol como Combustível Veicular

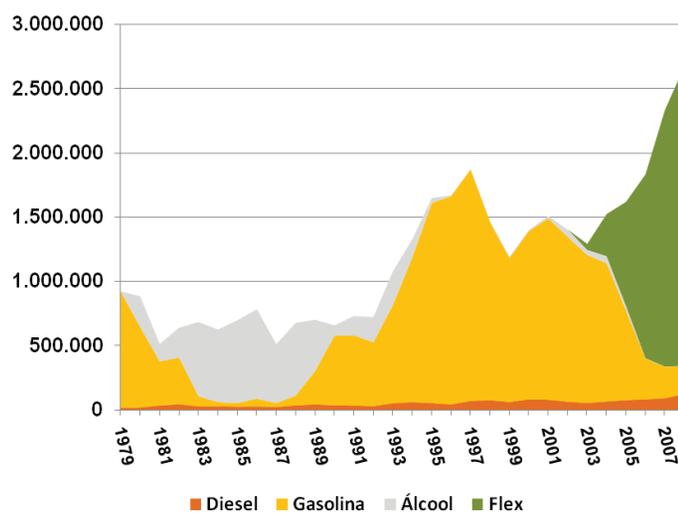
Todas as emissões do setor de transportes resultam em última análise da combustão do combustível usado para gerar energia para os motores dos veículos. Assim sendo, enquanto as emissões podem ser reduzidas pela troca de modais de transporte, como ficou descrito acima, podem também sofrer redução mediante a substituição dos combustíveis empregados por certos modais. Nas seções anteriores, o estudo considerou mudanças parciais de modais, de carros individuais e caminhões para modais que utilizem menores quantidades de carbono. Nesta seção, o estudo passará a considerar uma troca de combustível para os carros restantes, da gasolina para o bioetanol produzido da cana-de-açúcar. Considerando que as medidas propostas para evitar maiores conversões de florestas nativas (apresentadas nos Capítulos 2 e 3) já estão sendo adotadas até certo ponto, e que as emissões de combustíveis fósseis, fertilizantes e da queima da cana-de-

açúcar já foram computadas como emissões de GEE geradas pelo setor agrícola, as emissões diretas de GEE associadas ao uso do etanol de cana-de-açúcar pelos carros podem ser consideradas como nulas, uma vez que todo o CO₂ emitido pelo motor terá sido anteriormente retirado da atmosfera pela própria planta da cana-de-açúcar. Assim sendo, a substituição da gasolina pelo etanol evita as emissões de GEE associadas ao uso da gasolina substituída. Este estudo considera uma maior substituição da gasolina pelo bioetanol, além do nível proposto pelo Cenário de Referência, como uma opção de mitigação de emissões de GEE para o setor de transportes.⁹⁸

O Brasil já possui uma longa tradição de substituir a gasolina pelo etanol. Em 1975, o país iniciou um importante programa de substituição pelo etanol, que culminou na década de 1980, com mais de 85% dos novos carros produzidos sendo movidos exclusivamente pelo etanol. No início dos anos 90, os preços mais altos do açúcar e os mais baixos do petróleo fizeram com que a produção do etanol não mais fosse custo-eficiente. O país enfrentou uma escassez na oferta, que forçou os clientes a fazerem a reversão dos carros para gasolina. Entretanto, em 2003 a indústria de automóveis brasileira lançou o primeiro veículo de combustível *flex*, equipado com um tipo de motor que poderia usar qualquer mistura de gasolina e etanol. Essa inovação representou a flexibilidade de que o mercado precisava para mitigar os riscos de oferta e de preços para os clientes. Desde então, o número de veículos de combustível *flex* cresceu rapidamente, alcançando hoje um número maior do que 8 milhões; em junho de 2009, 89% de todos os veículos novos produzidos no Brasil eram *flex*.

São dois os principais parâmetros que determinam a substituição da gasolina pelo etanol como combustível para os carros individuais: (i) a participação dos veículos *flex* na frota nacional e (ii) o preço relativo do etanol em comparação com a gasolina para o cliente final. Com relação à participação de veículos *flex*, foram feitas projeções do tamanho e da distribuição da frota, por tipo de motor, usando dados da ANFAVEA, suposições macroeconômicas do PNE 2030 e a “curva Winfrey-3” para a retirada de circulação dos veículos antigos. Considerando que a participação dos veículos *flex* já está crescendo rapidamente no Cenário de Referência – de 29% em 2010 para 92% em 2030 – a mesma projeção se aplica também a qualquer Cenário de Baixo Carbono (Tabela 5.9).

Figura 5.8: Evolução das Vendas de Carros Individuais por Tipo de Motor 1979–2007 (mostrando o número de carros vendidos por ano)



Fonte: ANFAVEA

98 Muito embora as reduções de emissões possam ser também alcançadas pela substituição do petrodiesel pelo biodiesel, este estudo não considerou nenhuma outra substituição além da já projetada de acordo com o PNE 2030, usada tanto para o Cenário de Referência quanto para o de Baixo Carbono.

Tabela 5.9: Composição da Frota de Carros Individuais de Passageiros por Tipo de Motor, 2010-2030

Ano	Participação na Frota Nacional (%)		
	Flex	Apenas etanol	Gasolina
2010	29	6	65
2015	43	5	53
2020	57	3	39
2025	74	2	25
2030	92	1	8

Fonte: ANFAVEA, PNE 2030 e LOGIT de Processamento (2009).

No nível dos consumidores, os preços relativos do etanol e da gasolina são altamente sensíveis ao custo de transporte de combustíveis e, portanto, à localização dos consumidores em relação às áreas de produção. Uma vez que possui um teor de energia por litro inferior ao da gasolina, o etanol é considerado como mais atraente se o seu preço corresponder a menos do que 70% do preço da gasolina. De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em 2009 o etanol está mais atraente do que a gasolina para consumidores em 17 estados, menos atraente em 5 e equivalente em outros 5 estados. O menor preço relativo foi encontrado no estado de São Paulo (53,4%), e o mais alto no estado de Roraima (80,25%).

No Cenário de Referência, a taxa de substituição da gasolina pelo etanol deve crescer de 40% em 2010 para 60 em 2030. Assim sendo, é preciso sublinhar o fato de que o Cenário de Referência já tem um teor de baixo carbono, quando comparado aos padrões internacionais. Caso fosse adotada uma taxa zero de substituição, a equipe do estudo calculou que as emissões de GEE do setor de transportes aumentariam 28 por cento em comparação com o Cenário de Referência durante o período de 2010 a 2030.

Entretanto, a taxa de substituição pode ser aumentada ainda mais em comparação com o Cenário de Referência, através da adoção de uma política que garanta que o preço do etanol permaneça atraente para um número maior de consumidores durante o período considerado. Com base na longa experiência do Brasil e em outras experiências internacionais, podem ser utilizados quatro instrumentos principais para sustentar a atratividade do etanol para o usuário final dos automóveis⁹⁹:

- *Incentivos financeiros*: abatimento fiscal e condições especiais de empréstimos para a compra de veículos;
- *Normas regulatórias*: nível mínimo obrigatório de combustíveis renováveis, normas de emissões e de eficiência energética;
- *Tributação*: tributação superior sobre combustíveis fósseis; e
- *P&D*: incentivo para o desenvolvimento do uso mais eficiente de combustíveis alternativos.

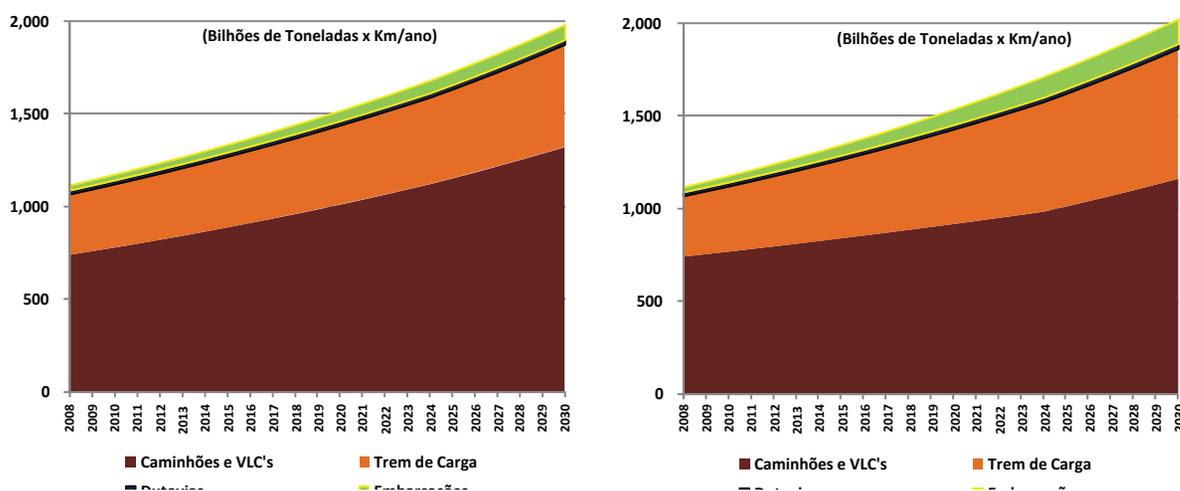
Supondo que possa ser sustentada uma política adequada de preços para garantia da atratividade do etanol em face à gasolina, a taxa de substituição da gasolina pelo etanol poderia então aumentar de 40% em 2010 para 79% em 2030. Como resultado, as emissões sofreriam redução de mais 12% em 2030, ou 28,7 MtCO₂ e em termos absolutos. As reduções cumulativas alcançadas através da substituição da gasolina pelo bioetanol totalizariam 176 MtCO₂ e durante o período de 2010 a 2030.

99 Esses instrumentos são consistentes com a Lei do Petróleo, número 9.478/97.

5.7 Resultados Agregados: Cenário de Baixo Carbono para o Setor de Transportes

O Cenário de Baixo Carbono para o setor de transportes foi construído através da combinação de opções de mitigação propostas para o transporte regional e urbano. Foram alcançadas reduções de emissões transferindo parte da carga de fretes e das viagens de passageiros de modais de transporte que usam mais carbono para outros, com teor de carbono baixo ou até zero (Figuras 5.7 e 5.8, respectivamente). A transferência mais significativa entre modais é a do caminhão para a ferrovia (para transporte de carga) e do uso de veículos particulares para o BRT e o metrô, juntamente com as medidas de gerenciamento de demanda de trânsito (transporte de passageiros).

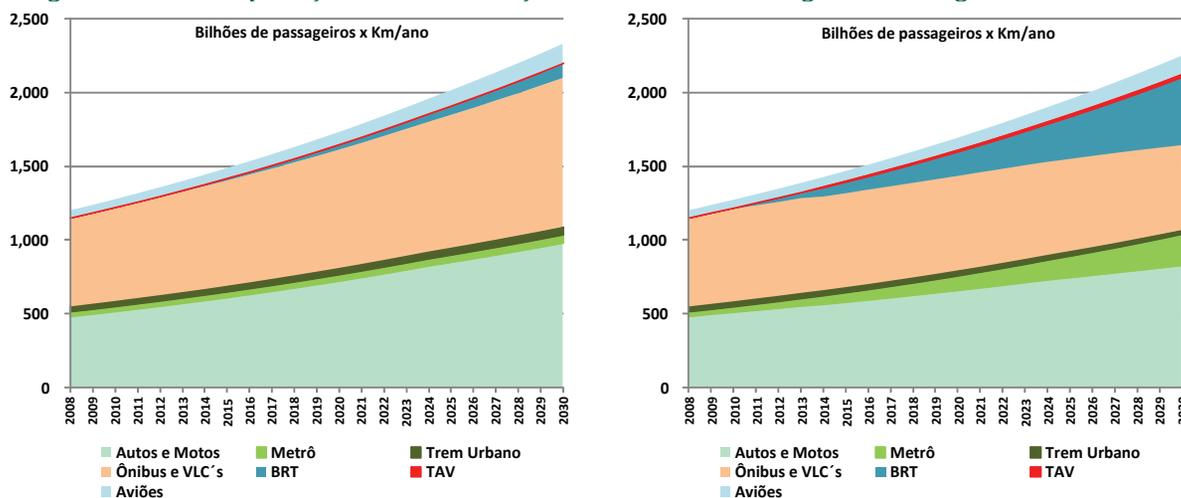
Figura 5.9: Comparação da Distribuição de Modais para frete, 2008–30



Cenário de Referência

Cenário de Baixo Carbono

Figura 5.10: Comparação da Distribuição de Modais na Carga de Passageiros, 2008–30

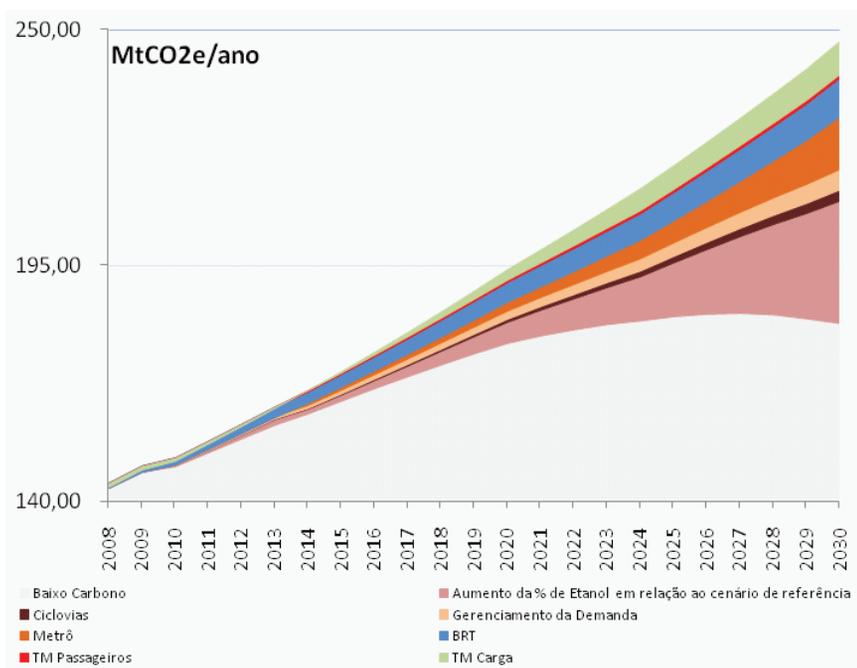


Cenário de Referência

Cenário de Baixo Carbono

Essas mudanças de modais refletem uma importante redução das emissões, que totaliza cerca de 7,3% durante o período do estudo, ou 302 MtCO₂e. Por outro lado, seria possível conseguir um outro potencial significativo de mitigação durante o mesmo período, de cerca de 4,3%, com o aumento do emprego do etanol, e outros 1,5% através do gerenciamento da demanda por viagens (Figura 5.9). Dessa forma, as emissões seriam reduzidas em mais de 13 por cento.

Figura 5.11 Potencial de Redução de Emissões no Setor de Transportes, 2008-30



Como resultado, o aumento nas emissões do setor seria reduzido de 60% no Cenário de Referência para apenas 18% no Cenário de Baixo Carbono. Em outras palavras, de 247 MtCO₂ por ano no Cenário de Referência para 182 MtCO₂ por ano no Cenário de Baixo Carbono em 2030, em comparação com 154 MtCO₂ em 2010, evitando assim um total de 487 MtCO₂e ou 23 MtCO₂e por ano, em média (Tabela 5.10).

O potencial de redução de emissões parece ser limitado, considerando que os biocombustíveis, que têm teor baixo de carbono, desempenham um papel importante no Cenário de Referência. Por esse motivo, o estudo simulou as emissões do setor que resultariam se os biocombustíveis fossem substituídos por combustíveis fósseis (principalmente pela gasolina). Nesse caso, as emissões do Cenário de Referência cresceriam em 50% em 2030 (45% em termos cumulativos durante o período 2010 a 2030), passando de 143 MtCO₂ em 2008 para 371 MtCO₂ por ano em 2030. Em comparação, as emissões no Cenário de Baixo Carbono seriam 51% por cento mais baixas do que no cenário dos “combustíveis fósseis” em 2030 (*versus* 26% mais baixas do que no Cenário de Referência) (Figura 5.10), ou seja 1,6 GtCO₂e a menos durante o período do estudo.

Tabela 5.10: Carga do Setor de Transportes e Emissões de GEE nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono

				Carga				
				(Mt * km ou pass * km/ano)				
				Cenário de Referência 2030	Cenário de Baixo Carbono 2030	Cenário de Referência 2030	Cenário de Baixo Carbono 2030	Emissões Evitadas 2010-2030
Frete Urbano	Rodov	Caminhões	Diesel	49.151	49,151	7,6	7,6	0
	Total do frete urbano			49.151	49.151	7.6	7.6	0
Passageiros urbanos	Rodov	Ônibus	Diesel	730.799	308,538	51,31	26,46	243
		BRT		102.332	465,301	3,36	12,289	-110,1
		Carros	Etanol	364.894	446,579	-	-	-
		Carros e motos	Gasolina	347.346	136,404	66,16	27,26	265,4
	Ferrov	Metrô	Eletricidade	55.385	211,262	0,0	0,1	0,6
		Trem		50.699	25,129	0,0	0,0	0,6
	Total de passageiros urbanos				1.651.455	1.593.213	120,83	66,0
Emissões de GEE do transporte urbano					-	128,43	73,6	398,3
Frete Regional	Ferrov	Trem	Diesel	552.364	703.854	6,42	8,5	-28,24
	Aquav	Navios		81.349	133.503	0,52	0,9	-4,77
	Dutos	Dutos		24.727	26.621	0,1	0,1	-0,15
	Rodov	Caminhões		1.274.440	1.113.926	75,63	66,6	84,14
	Total do frete				1.932.880	1.977.904	82,65	76
Passageiros regionais	Rodov	Carro	Etanol	176.485	213.72	-	-	-
		Carro e moto	Gasolina	97.031	37.781	5,2	2,44	19,9
		Ônibus	Diesel	276.915	266.675	7,5	6,4	10,8
	Aéreo	Avião	Querosene de Aviação	127.569	21.092	23,74	23,13	6,75
	Ferrov	TAV	Eletricidade	-	121641	-	-	-
Total de passageiros regionais				678.001	660.909	36,5	32	37,5
Emissões de GEE do transporte regional					-	119,1	108	88,5
TOTAL DE EMISSÕES DO SETOR DE TRANSPORTES						247,6	181,6	486,8

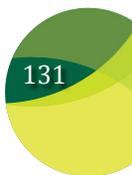
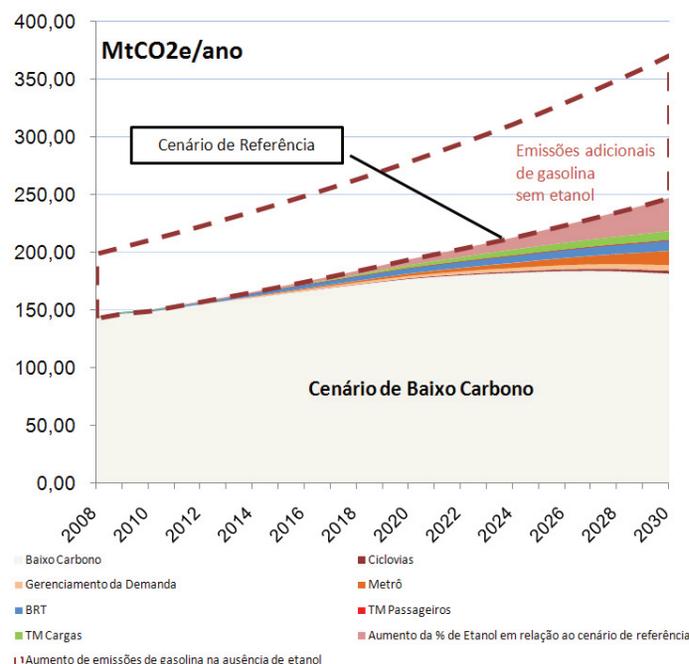
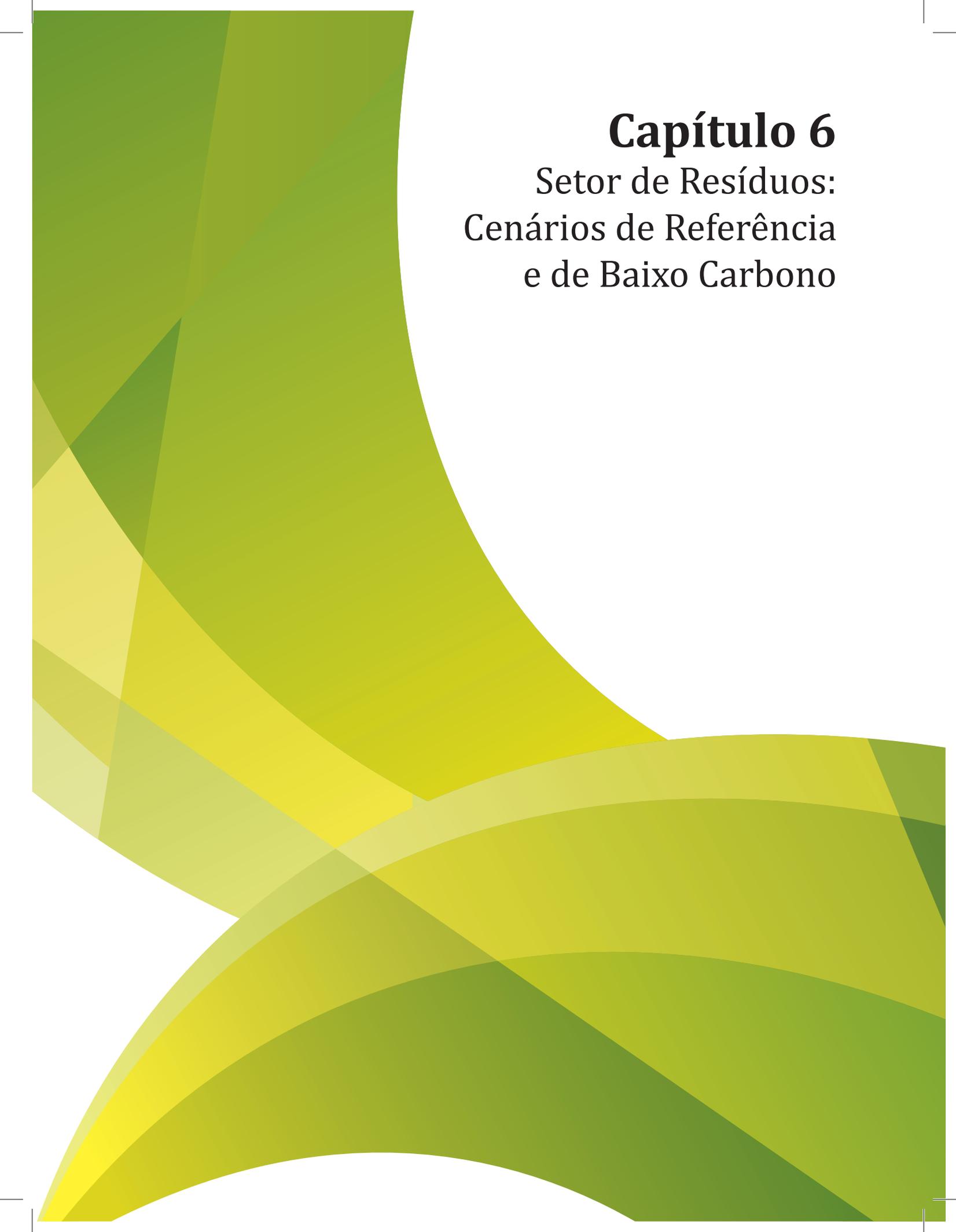


Figura 5.12: Comparação das Emissões nos Cenários de Referência, de Baixo Carbono e de “Combustíveis Fósseis”, 2008–30



A implementação do Cenário de Baixo Carbono desencadeia dois principais desafios: (i) coordenação e (ii) mobilização de recursos adicionais de financiamento. Devido ao amplo espectro dos atores públicos e privados envolvidos, a harmonização das muitas iniciativas diversas exige coordenação do Governo Federal. Além disso, os mecanismos existentes de financiamento podem necessitar de suplementação de fontes adicionais de financiamento, para alavancar o grande volume de investimentos necessários por essa infraestrutura, que exige quantidades tão significativas de capital.

É necessário que haja uma melhor coordenação para o transporte, tanto urbano quanto regional. Por exemplo, o Ministério das Cidades poderia oferecer aos municípios, que são responsáveis pela administração de seus próprios sistemas de transportes, incentivos para a adesão a planos mais amplos para o transporte de massa, através do Plano Nacional de Mobilidade (PlanMob). No caso do transporte regional, o Ministério dos Transportes (MT), de acordo com o PNLT, poderia facilitar o desenvolvimento integrado de nova infraestrutura e de concessões para serviços de transporte.



Capítulo 6

Setor de Resíduos: Cenários de Referência e de Baixo Carbono

O tratamento dos resíduos gera uma quantidade grande de gases geradores do efeito estufa (GEE), em especial o metano (CH_4), como resultado da digestão anaeróbica da matéria orgânica contida nos resíduos. A incineração dos resíduos sólidos resulta ainda em dióxido de carbono (CO_2) e dióxido nitroso (N_2O). No Brasil, o tratamento dos resíduos contribui com 6,1% das emissões de CH_4 e com 3,8% das emissões de N_2O .¹⁰⁰

6.1 Visão Geral do Método

Para estimar as emissões futuras de GEE oriundas do tratamento dos resíduos, este estudo aplicou o método do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC 2000), que é o mesmo empregado para a elaboração do Relatório de Referência das emissões de gases de efeito estufa do setor de resíduos e que compõe a Comunicação Nacional. Este método foi usado para calcular tanto as emissões geradas pela incineração quanto as do gás de aterros sanitários (CH_4) (Quadros 6.1 e 6.2). O método estabelece uma distinção entre as categorias de disposição e de tratamento, de acordo com a natureza física do resíduo responsável pela geração de GEE (ou seja, resíduos sólidos ou efluentes). Para calcular o potencial de redução de emissões futuras do setor de resíduos, foi preparado um Cenário de Referência, para projeção das principais variáveis envolvidas no cálculo das emissões produzidas pelos vários tipos de tratamento de resíduos sólidos e de efluentes.

No Cenário de Referência, os principais fatores responsáveis pela geração de GEE foram o clima, o aumento da população urbana, variações na quantidade de resíduos gerada por habitante e diferenças na composição desses resíduos (materiais geradores orgânicos e potenciais geradores de metano e materiais fósseis). Vale a pena observar que as cidades com maior população respondem por uma maior produção de resíduos *per capita*.

O estudo explorou em seguida os métodos e as possibilidades técnicas para a redução das emissões de GEE. Além disso, identificou as principais barreiras à adoção dessas opções de mitigação no Cenário de Referência e as medidas possíveis para superá-las. Finalmente, o estudo preparou um Cenário de Baixo Carbono para o setor de resíduos, com base nas alternativas para a mitigação das emissões de GEE.

100 Ver primeira Comunicação Nacional brasileira, novembro de 2004.

Quadro 6.1: Métodos para o Cálculo das Emissões Geradas pela Incineração

O método do IPCC (2000) descrito abaixo é usado para calcular as emissões geradas pela incineração. O método estima o seguinte: a massa de CO₂ e de N₂O gerados anualmente a partir de diferentes tipos de resíduos incinerados; o carbono contido em cada tipo de resíduo; a fração desse carbono que tem origem fóssil; a eficiência da combustão dos incineradores; e, finalmente, o fator de emissões de N₂O.

$$Q_{CO_2} = \sum_i (IW_i \cdot CCW_i \cdot FCF_i \cdot EF_i \cdot 44 / 12)$$

Equação 1 – Estimativa do CO₂ produzido pela incineração de resíduos sólidos

onde:

Q_{CO_2} = Quantidade de dióxido de carbono gerado por ano [GgCO₂/ano]

i = RSU: resíduos sólidos domésticos

HW: resíduos perigosos

CW: resíduos hospitalares

SS: lodo de esgoto

IW = massa de resíduos incinerados por tipo i [Gg/ano]

CCW = carbono contido nos resíduos de tipo i [sem dimensão]

FCF = fração de carbono fóssil contido nos resíduos de tipo i [sem dimensão]

EF = eficiência de queima dos incineradores de resíduos de tipo i [sem dimensão]

$44/12$ = conversão de C para CO₂ [sem dimensão]

$$Q_{N_2O} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

Equação 2 – Estimativa das emissões de N₂O produzidas pela incineração de resíduos sólidos

onde:

Q_{N_2O} = Quantidade de óxido nitroso gerado por ano [GgN₂O/ano]

i = RSU: resíduos sólidos domésticos

HW: resíduos perigosos

CW: resíduos hospitalares

SS: lodo de esgoto

IW = massa de resíduos incinerados por tipo i [Gg/ano]

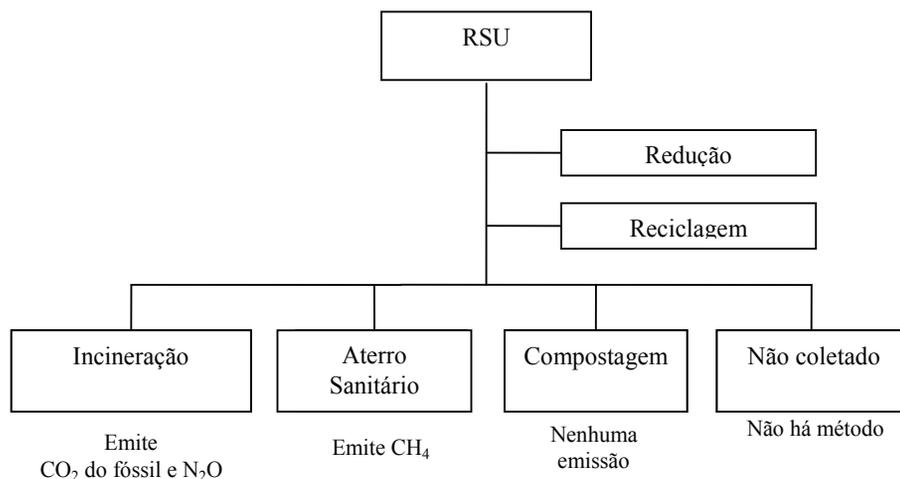
EF = fator de emissões i [kgN₂O/Gg]



6.1.1 Métodos de Manejo de Resíduos no Cenário de Referência

De acordo com o método do IPCC (2000), o estudo examinou um número de métodos possíveis de manejo de resíduos sólidos (Figura 6.1).

Figura 6.1: Fontes de GEE Resultantes da Disposição e Tratamento de Resíduos Sólidos



6.1.1.a Aterros Sanitários

A disposição em local de disposição de resíduos urbanos pode ser classificada como aterros sanitários, aterros não gerenciados com mais de 5m de profundidade e aterros não gerenciados com menos de 5m de profundidade. Nesses locais, a matéria orgânica contida nos resíduos libera CH_4 durante períodos que variam de 30 a 50 anos; assim, é preciso conhecer o histórico de disposição de um determinado aterro sanitário para poder estimar as emissões futuras. É bom observar que a melhoria na operação dos aterros pode resultar em aumento da geração GEE. De acordo com o IPCC (2000), a concentração de GEEs gerados pela mesma quantidade de resíduos em um aterro sanitário seria reduzida em 80% em um aterro sem manejo de 5 metros de profundidade, e em 40% em outro, de menos de 5 metros de profundidade.

O tratamento de resíduos sólidos em aterros sanitários baseia-se na digestão anaeróbica (ausência de oxigênio) da matéria orgânica descartada, através da ação bacteriana e até que a matéria seja estabilizada e/ou seja transformada em matéria inerte. O biogás, produto do processo de digestão anaeróbica, é uma mistura de gases, principalmente o metano (CH_4), o gás carbônico (CO_2), o hidrogênio (H_2) e o ácido sulfúrico (H_2S). O CH_4 representa em média 50-90% do volume total dessa mistura, enquanto o CO_2 corresponde a 5-10%. A composição do biogás é semelhante à do gás natural combustível, e pode ser usado como valiosa alternativa para a produção de energia (Alves 2000). No Brasil, são poucos os aterros sanitários que usam o biogás para queima ou para a geração de energia, sendo que a prática mais comum é permitir que o gás escape diretamente para a atmosfera, através de drenos coletores.

6.1.1.b Compostagem

A compostagem é um processo aeróbico (presença de oxigênio) que remove a matéria orgânica do aterro, para a produção de composto orgânico de alta qualidade. Não há produção

de GEE, ficando assim evitada a geração de emissões de CH₄. Ainda que a compostagem não seja incluída entre os métodos para estimar as emissões, a adoção mais ampla dessa prática poderia resultar em potenciais reduções das quantidades de resíduos depositados nos aterros.

6.1.1.c Incineração

A incineração é um método de tratamento baseado na decomposição térmica através da oxidação, que torna os resíduos menos volumosos, menos tóxicos, atóxicos ou, em alguns casos, elimina-os totalmente (CETESB 1993). O tratamento dos resíduos por incineração exige o emprego de sistemas de tratamento dos gases poluentes gerados pelo processo de combustão de determinados componentes dos resíduos sólidos. Na maior parte dos casos, são usados filtros eletrostáticos ou de tecido.

No Brasil, é insignificante o nível de tratamento de resíduos através da incineração, e a queima de lixo que ocorre pode ou não ser acompanhada pelo emprego de tecnologias para a recuperação do calor e geração de energia.

6.1.1.d Reciclagem

A redução do lixo em geral, a reutilização e a reciclagem do lixo, além da modificação dos padrões de consumo podem contribuir significativamente para reduzir a necessidade de energia, matérias-primas e recursos naturais.

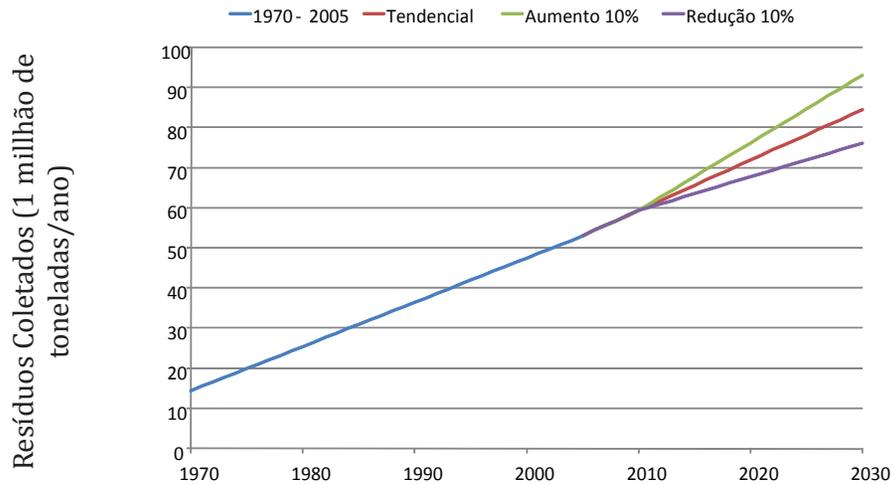
6.1.2 Projeção do Volume de Resíduos Sólidos no Cenário de Referência

Para construir esse Cenário de Referência, foi preciso projetar a produção de lixo, a evolução de suas características e a sua alocação entre as diferentes modalidades técnicas de gerenciamento. Utilizando os métodos acima mencionados, foi possível calcular as emissões geradas pela combinação de modalidades definidas nesse cenário.

O estudo considerou as projeções do Plano Nacional de Energia (PNE 2030) para estimar o volume futuro de resíduos. Além de tendências que têm a ver com a população, o volume projetado desses resíduos depende da taxa de resíduos gerada por essa população. Assim sendo, o estudo usou também dados de geração *per capita* obtidos da CETESB (1998) e da ABRELPE (2008), relativos ao período entre 1970 e 2005; quanto aos dados referentes aos anos subsequentes, foram estimados com base na taxa contínua de crescimento da população urbana e de geração de resíduos *per capita*.

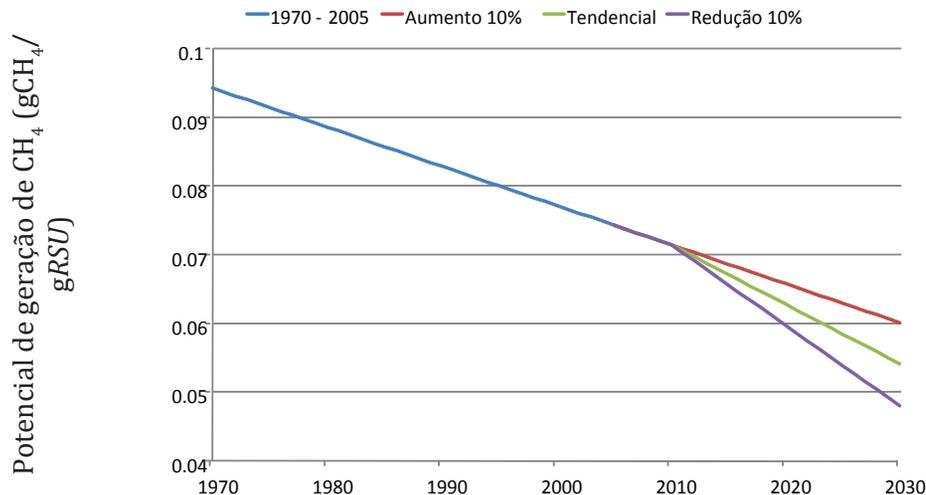
Estimular a redução da geração de lixo “na fonte”, através de programas de educação ambiental, encargos impostos aos geradores de lixo e esquemas de reciclagem são possibilidades que poderiam resultar na redução da geração geral de lixo na ordem de 10% ou mais. Os geradores comerciais de resíduos teriam um incentivo de ordem econômica para reduzir o lixo descartado, a partir do momento em que tivessem que pagar diretamente pela coleta desse lixo. Por outro lado, a melhoria dos serviços de coleta de lixo poderia resultar em um aumento de até 15% na quantidade de lixo coletado (atualmente, 85% do lixo urbano é recolhido). Fatores adicionais que poderiam contribuir para aumentar a quantidade de resíduos coletados seriam o aumento das rendas pessoais e padrões mais altos de consumo (Figura 6.2).

Figura 6.2: Evolução da Coleta de Resíduos: Resultados da Simulação, 1970 - 2030



No caso dos aterros sanitários, as emissões de GEE dependem do potencial de geração de metano pelo tipo específico de resíduos. Para determinar o potencial dos aterros sanitários de gerar CH_4 , o estudo usou uma amostragem de 95 análises dos tipos de lixo recolhidos em 47 áreas municipais entre 1970 e 2005. Os dados foram usados para preparar estimativas da variação do comportamento do lixo ao longo de um período de tempo. O Cenário de Referência é representado pela redução continuada desse potencial observado entre 1970 e 2005. A expansão dos fatores que produziram essa redução poderia resultar em redução de cerca de 10-20 por cento (Figura 6.3).

Figura 6.3 Potencial de Geração de Metano, 1970-2030



As emissões geradas pelos resíduos dependem ainda das características dos locais de descarte. O estudo cobriu quatro categorias de locais, em ordem ascendente de qualidade: (i) local de depósito de lixo sem classificação, (ii) aterro sem manejo de menos de 5 metros de profundidade, (iii) aterro sem manejo de mais de 5 metros de profundidade e (iv) aterro sanitário. Há mais CH_4 emitido da mesma quantidade de resíduos nos locais de melhor manejo, o que indica que a queima do CH_4 é um ingrediente essencial para evitar as emissões de GEE.

No Cenário de Referência, foi feita a suposição de que os municípios com menos de 200.000 habitantes em 2030 continuariam a ter locais de depósito de lixo sem manejo e com menos de 5 metros de profundidade. No caso dos municípios com mais de 200.000 habitantes em 2030, foi adotada a suposição de que teriam evoluído da “pior condição básica” em 1970, para adquirem “condição intermediária” em 1990 e que a partir de 2010 possuiriam um aterro sanitário.

A situação do futuro foi definida simplesmente continuando com as tendências observadas no passado. Podem ser verificadas concentrações mais altas de frações de carbono fóssil, como resultado da intensificação das práticas atuais, que envolvem a embalagem e a logística de distribuição de alimentos e bebidas, bem como as reduções de preços que afetam os bens de consumo produzidos pela indústria petroquímica.

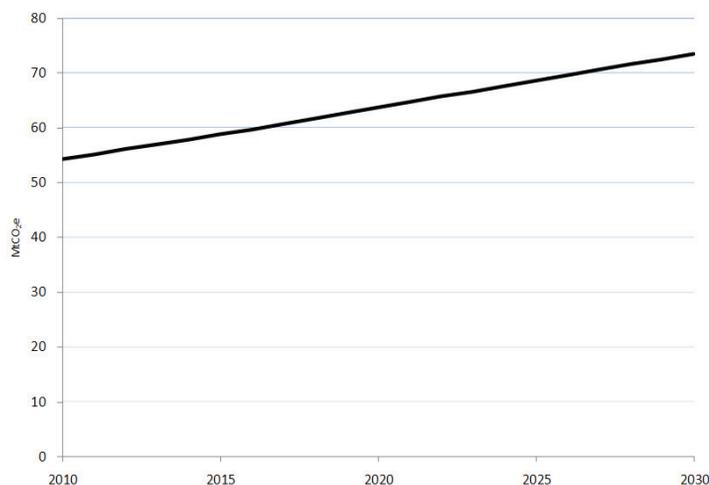
Foram usados os mesmos dados para determinar a fração de carbono fóssil do lixo para o período 1970-2005. Essa fração tem importância especial para o cálculo das emissões de GEE liberados por incineração, já que são apenas as emissões resultantes da queima da porção fóssil que contribuem para o aumento das concentrações de GEEs.

6.1.3 Estimativa de Emissões de Resíduos Sólidos no Cenário de Referência

No Cenário de Referência pressupõe-se a continuação dos métodos atuais de manuseio dos resíduos, que consistem do seu depósito em aterros e nenhuma mudança no papel desempenhado por outras tecnologias, que são atualmente insignificantes (e permanecem assim nesse cenário). Como será explicado abaixo, são muitas as barreiras que atualmente impedem quaisquer mudanças para melhorar a situação atual no Brasil, principalmente considerando-se os seus custos e a necessidade de introduzir um programa amplo de educação para a separação do lixo na fonte.

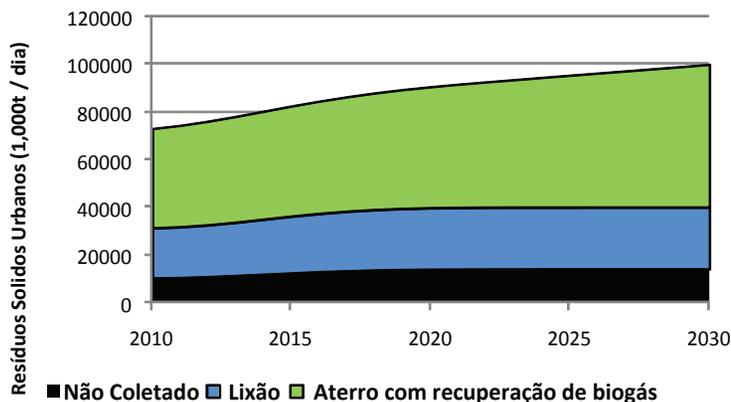
As emissões de GEE do Cenário de Referência, expressas em termos de CO₂e por ano, indicam uma continuação das práticas atuais, incrementadas pelo contínuo crescimento da população, um crescimento persistente da taxa de geração de lixo e uma evolução na composição desse lixo. Nesse cenário, as emissões de CH₄ aumentam de 55 MtCO₂e em 2010 para mais de 74 MtCO₂e até 2030 (Figura 6.4).

Figura 6.4: Cenário de Referência para o Setor de Resíduos, 2010-2030 (MtCO₂/ano)



O estudo calculou também a quantidade e a porcentagem de distribuição dos serviços de manejo dos resíduos urbanos para o Cenário de Referência durante o período de 2010 a 2030 (Figuras 6.5). Foi considerada uma taxa média de 15% para o lixo não coletado.

Figura 6.5: Distribuição de tratamento e disposição de resíduos sólidos no Cenário de Referência, 2010–30



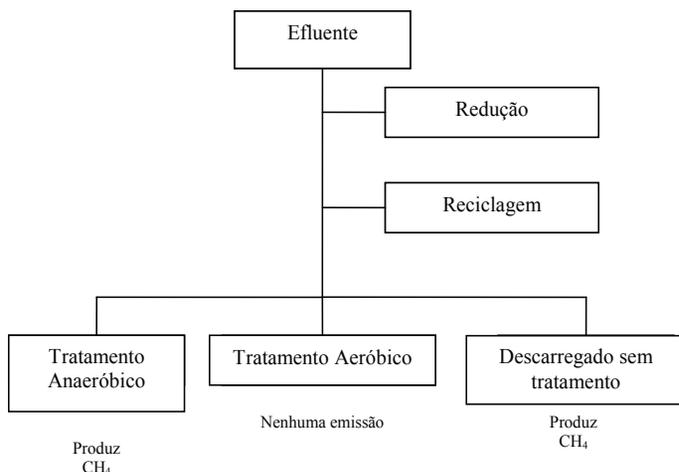
6.2 Cenário de Referência para Esgotos e Efluentes

No setor de esgotos e efluentes, as futuras emissões de GEE dependem dos tipos de tratamento a serem utilizados e das emissões que resultarem do seu *modus operandi*. A construção desse Cenário de Referência envolveu uma pesquisa inicial dos tipos de tratamento utilizados, seguida por uma análise da evolução do seu emprego e de uma estimativa das emissões associadas a esses tratamentos.

6.2.1 Métodos de Manejo de Efluentes Líquidos no Cenário de Referência

Formas potenciais de manejar efluentes de acordo com o método do IPCC (2000) aparecem descritas abaixo (Figura 6.6, Quadro 6.3).

Figura 6.6: Fontes de Emissões de GEE do Tratamento dos Efluentes



Além disso, o tratamento anaeróbico das águas residuais, divididas em esgotos domésticos e efluentes industriais, é dividido em várias opções (Figura 6.7).

Quadro 6.2: Cálculo das Emissões Oriundas das Várias Formas de Tratamento de Efluentes

O Cenário de Referência inclui uma estimativa das emissões de CH₄ geradas pela degradação anaeróbica de cargas orgânicas que ocorrem nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) que operam com reatores anaeróbicos e processos de lagoas de estabilização, e em ETEs com processos aeróbicos e anaeróbicos, como as que usam a digestão anaeróbica de lodos. Não foram estimadas as emissões geradas pela degradação anaeróbica de cargas orgânicas que ocorrem no mar, em rios e em lagos – bem como os processos identificados como tratamentos on-site, como latrinas com fossa e fossas sépticas.

As equações empregadas para a estimativa das emissões de GEE, adotadas do IPCC (2000) são descritas abaixo:

$$Emissões = TOW \cdot EF - R$$

Equação 3 – Estimativa das emissões de CH₄ resultantes do tratamento anaeróbico do esgoto e de efluentes

onde:

<i>Emissões</i>	= quantidade de metano gerado por ano	[GgCH ₄ / ano]
<i>TOW</i>	= total de esgoto orgânico ou efluente	[kgDBO/ ano]
<i>TOW_{dom}</i>	= total de esgoto orgânico doméstico	[kgDBO/ ano]
<i>TOW_{ind}</i>	= total de esgoto orgânico industrial	[kgDBO/ ano]

$$TOW_{dom} = P \cdot D_{dom}$$

Equação 4 – Estimativa do total de esgoto orgânico e efluentes

onde:

<i>P</i>	= população \ \	[1.000 pessoas]
<i>D_{dom}</i>	= componente orgânico degradável do esgoto doméstico	[kgDBO/1.000 pessoas.ano]

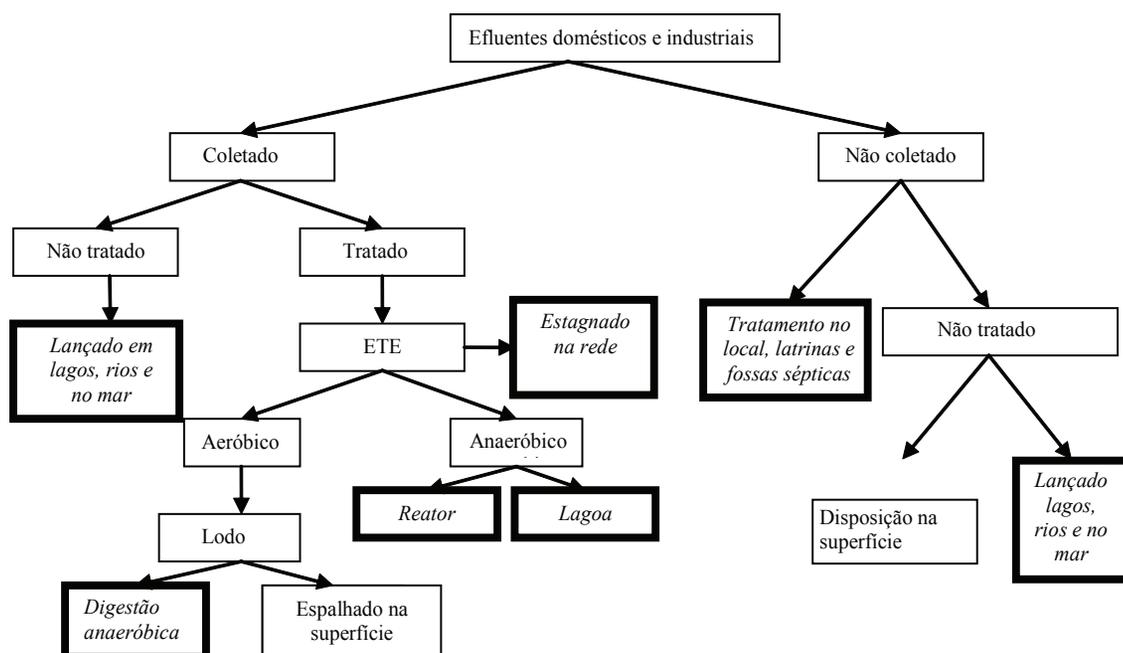
$$TOW_{ind} = Prod \cdot D_{ind}$$

Equação 5 – Estimativa do total de esgoto orgânico e efluentes

<i>Prod</i>	= produção industrial	[um produto/ ano]
<i>D_{ind}</i>	= componente orgânico degradável do efluente industrial	[kgDBO/um produto] ou [kgDQO/um produto]



Figura 6.7: Fontes de Esgoto e Efluentes, Sistemas de Tratamento e Potencial de Emissões de Metano



Observação: As áreas em negrito indicam possíveis fontes de emissões de CH₄. Fonte: IPCC (2000).

6.2.2 Efluentes Líquidos Projetados no Cenário de Referência

Para construir o Cenário de Referência, foi preciso também projetar a produção de efluentes líquidos, a evolução de suas características e a sua representação das várias modalidades de manejo de resíduos. Empregando os métodos mencionados acima, foi então possível calcular as emissões oriundas da combinação de modalidades definida nesse cenário.

A projeção da massa de efluentes depende do desenvolvimento da população e da taxa geração de carga orgânica *per capita* (com base nessa população), que permanece constante com o tempo. O presente estudo adotou as tendências de desenvolvimento populacional do PNE 2030.

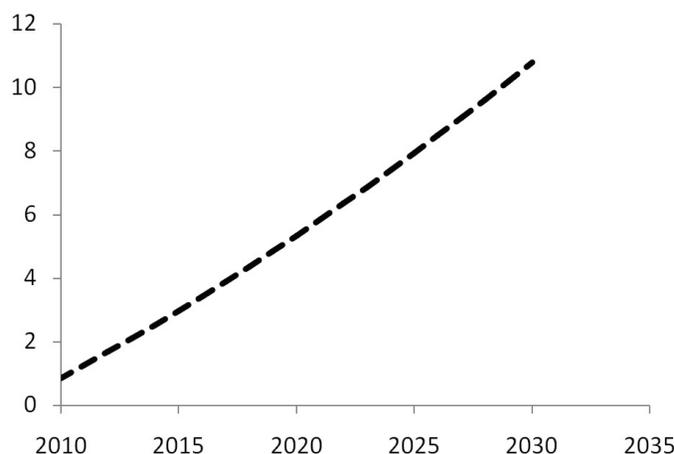
Foram desenvolvidos cenários para o tratamento de: efluentes domésticos, (ii) comerciais e (iii) industriais. O Cenário de Referência reflete a implementação do Plano Básico de Saneamento do governo¹⁰¹, que prevê a universalização dos serviços de coleta e tratamento. Cerca de 33% dos efluentes residenciais e comerciais seriam reduzidos através de um processo aeróbico, com o restante sendo processado através de reatores anaeróbicos, com o lodo final sendo enviado a aterros para descarte final. Atualmente, existem várias barreiras para chegar à universalização, em especial as que têm a ver com os custos envolvidos no estabelecimento e na operação de serviços de águas residuais.

As atuais taxas de coleta para os efluentes domésticos são de cerca de 50%, enquanto os índices de tratamento são baixos (aproximadamente 10%) (Figura 6.8).

No caso dos efluentes industriais, a sua composição orgânica varia consideravelmente, dependendo do setor da indústria. Por exemplo, setores como o de alimentos e bebidas já queimam o biogás associado, através de tratamento, desde a década de 1980.

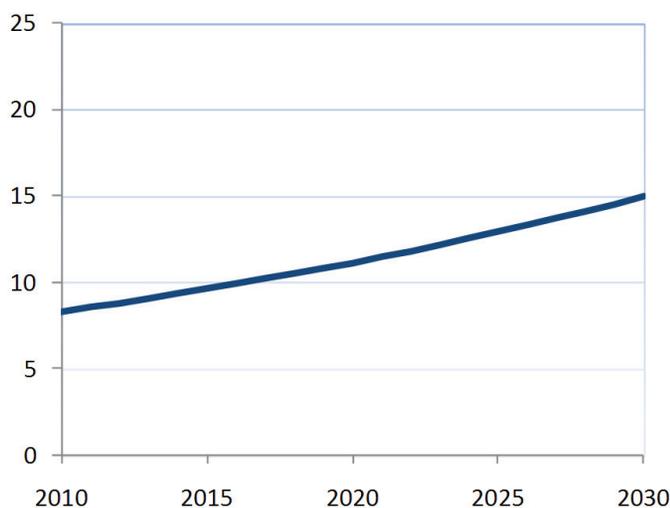
101 Lei 11.145/2007 – Lei Nacional de Saneamento Básico (5/1/07).

Figura 6.8: Efluentes Domésticos e Comerciais, 2010-2030 (MtCO₂e/ano)



Durante o período de 2010 a 2030, as emissões de GEE dos efluentes industriais no Cenário de Referência, expressas em termos de CO₂e, refletem a continuação da geração do biogás, bem como a sua queima, com índices de tratamento de cerca de 20 por cento (Figura 6.9).

Figura 6.9: Cenário de Referência para o Setor de Efluentes Industriais, 2010-2030 (MtCO₂e/ano)



6.3 Cenário de Baixo Carbono para o Setor de Resíduos Sólidos e de Efluentes

O Cenário de Baixo Carbono para o setor de resíduos sólidos e efluentes é representado pela destruição ou pelo uso CH₄ com o objetivo de produzir energia. Nos aterros sanitários, a captura e a queima em incineradores pode resultar em redução de 75% dos níveis atualmente estimados de emissões (com base em projetos CDM, na ausência de publicações nacionais que possam confirmar esses dados). Nas estações de tratamento de esgoto anaeróbicas (ETEs), as emissões podem ser totalmente evitadas.

6.3.1 Cenário de Baixo Carbono para o Manejo de Resíduos Sólidos

Duas necessidades prementes regem a preparação do Cenário de Baixo Carbono no Brasil¹⁰²: (i) melhorar as condições de saneamento e (ii) de introduzir práticas para reduzir a emissão de GEEs. Práticas que poderiam resultar em evitar emissões são também desejáveis do ponto de vista de melhorar o manejo dos resíduos – e é tanto necessário quanto possível encontrar soluções que combinem esses dois objetivos.

Nem sempre os resíduos sólidos são recolhidos de forma abrangente em todos os municípios brasileiros, o que representa problemas de saúde e de saneamento em muitas cidades brasileiras. Como resultado, o descarte de maiores quantidades de resíduos em locais apropriados, minimizando assim os problemas de poluição causados pelo lixo não recolhido, resultará em melhores condições sanitárias no Brasil.

6.3.1.a Barreiras e Propostas

No Cenário de Referência, há uma variedade de barreiras que restringem a adoção de boas práticas para aterros sanitários e incineração (Tabela 6.1).

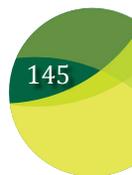
Tabela 6.1: Barreiras nos Aterros Sanitários e Incineradores e medidas para superá-las.

Barreiras aos Aterros Sanitários	Medidas Preventivas	Medidas Corretivas	Medidas de Governança
Técnico-Ambientais			
Falta de Capacitação técnica.	Desenvolver recursos humanos mediante capacitação técnica de Programas Regionais e de assistência técnico-operacional.	Adequação e recuperação ambiental de sítios de disposição de resíduos sólidos urbanos que estão ativos e inadequados.	Regularização com licenciamento ambiental dos aterros sanitários ativos, tornando-os plenamente adequados.
Reduzida disponibilidade de áreas ambientalmente adequadas.	Análise socioambiental nas escolhas de áreas para logística e tratamento de resíduos em um raio inferior 20km.	Aplicação no incentivo de concepções técnicas (ex. compostagem em condições aeróbias) visando o tratamento da parcela da composição “orgânica” dos resíduos.	Redução e reutilização dos resíduos, com segregação e coleta seletiva, notadamente da parcela da composição “fóssil”.
Falta de aplicação de técnicas em sistemas de coleta, queima, recuperação e/ou aproveitamento energético do biogás.	Troca de experiências entre entidades especializadas e que operam sistemas afins (empresas privadas nacionais e internacionais, órgãos governamentais, ONGs etc.).	Execução de sistemas eficientes e eficazes, com vista à viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental.	Proposição de exigências técnicas nos órgãos e agências ambientais na execução e operação de sistemas afins nos procedimentos de licenciamento ambiental.

102 Por outro lado, o Cenário de Referência mantém um importante passivo socioambiental.

Econômico-Jurídicas			
Reduzidos investimentos e recursos econômicos insuficientes.	Adequação e aquisição de equipamentos em sistemas de medição (pesagem com aferição e calibragem) e caracterização gravimétrica dos resíduos.	Incremento considerável no valor dos investimentos de forma sistemática ao longo dos próximos 20 anos.	Controle e fiscalização no fomento e aplicação de recursos econômicos afins em seus diversos programas e planos existentes.
Falta de Mecanismos facilitadores e legais de cobrança e tributação.	Proposição de um novo mecanismo de medição e acompanhamento na quantificação e geração <i>per capita</i> dos resíduos.	Alteração do sistema de tributação e de pagamentos pelos serviços de coleta e tratamento de resíduos.	Integração dos mecanismos de fomento institucional entre os setores de saneamento, meio ambiente, recursos hídricos e energia com a questão das mudanças climáticas.
	Promoção do consumo consciente, coleta seletiva e logística reversa dentro do ciclo de vida em toda cadeia produtiva de geração de resíduos.	Incremento considerável na coleta seletiva através de parcerias com cooperativas e ONGs de forma sistemática ao longo dos próximos 20 anos.	Mecanismos de alteração com isenção na tributação em toda cadeia produtiva nos serviços de coleta seletiva e logística reversa de resíduos, notadamente da parcela da composição "fóssil".

Barreiras aos métodos de incineração	Preventivas	Corretivas	Governança
Técnico-Ambientais			
Falta de conhecimento tecnológico.	Os formadores de opinião e especialistas no setor devem adquirir conhecimento tecnológico e nas consequências ambientais na operação de sistemas afins.	Esclarecimento e capacitação das partes interessadas e agentes envolvidos quanto à aplicação e operação de sistemas afins, principalmente levando-se em conta seus efeitos adversos à saúde pública e ambiental decorrentes das emissões atmosféricas com potencial presença de substâncias passíveis de toxicidade e efeitos sinérgicos.	Envolvimento técnico das agências ambientais e organismos licenciadores no encaminhamento técnico da questão analisando o contexto da sustentabilidade nas grandes metrópoles e regiões metropolitanas.
Econômico-Jurídicas			
Requer-se investimentos com valores elevados.	Desenvolver estudos de viabilidade para sistemas de tratamento afins somente em ambientes urbanos com população superior a 3.000.000 habitantes.	Proposição na implantação de alta tecnologia em sistemas afins com inserção de sistemas de alta eficiência em exaustão, controle e mitigação na emissão de gases e efluentes atmosféricos.	Capacitação em desenvolvimento de projetos e planejamento a longo prazo nas municipalidades.
Requer-se mecanismos facilitadores e legais de cobrança e tributação.	Proposição de um novo mecanismo de medição e acompanhamento na quantificação e geração <i>per capita</i> dos resíduos.	Alteração do sistema de tributação e de pagamentos pelos serviços de coleta e tratamento de resíduos.	Necessidade do setor público e privado de aprimoramento do conhecimento e uso da estrutura jurídica e institucional, assim como os procedimentos necessários para o acesso a fontes de financiamento disponíveis (ex.: dentro de prazos estipulados etc.)



6.3.1.b Manejo de Resíduos Sólidos Otimizado para a Redução das Emissões de GEE

O Cenário de Baixo Carbono para resíduos sólidos é definido através da prática continuada de depósito dos resíduos em aterros sanitários, reduzindo os atuais problemas ambientais e sanitários e introduzindo sistemas de captura e queima de CH_4 . Entre as opções de mitigação ou captura, a redução na fonte de geração de resíduos é a de maior relevância em termos de sustentabilidade. Esta opção de mitigação é com certeza a mais desejável, muito embora esteja atrelada a vários fatores socioculturais, que frequentemente não dependem de soluções nem ambientais e nem técnico-econômicas. Há pouca dúvida de que essa abordagem deveria ser considerada como prioritária, envolvendo também um componente educacional, em termos da geração de mudanças de hábitos e costumes e revertendo os paradigmas atuais de modelos de desenvolvimento.

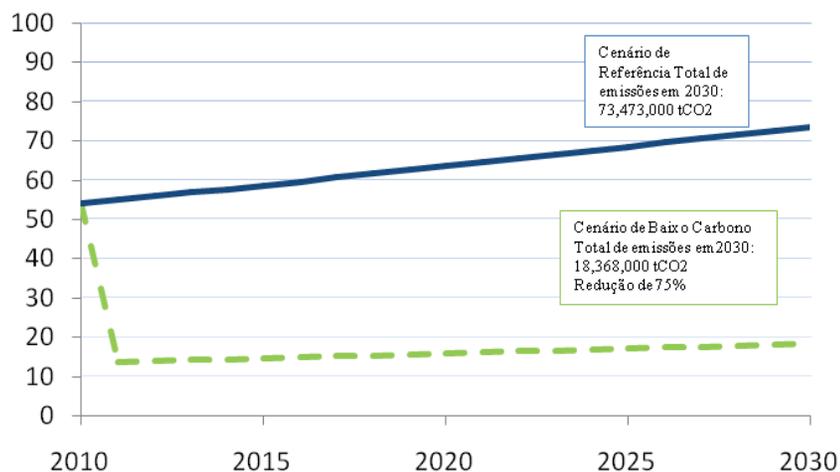
Com relação à redução ou à substituição de matérias-primas e insumos, uma questão crucial tem a ver com qual inovação tecnológica seria capaz de gerar novos produtos e materiais oriundos do etanol e de outras fontes renováveis, biomateriais, biopolímeros e bioplásticos que deixam de ser considerados lixo fóssil após serem descartados.

Assim, também a questão da reciclagem deve ser considerada como uma opção importante de mitigação, sobretudo a reciclagem de materiais e bens de consumo. Ressalta-se em particular a reciclagem dos materiais à base de polímeros oriundos da cadeia do petróleo e gás que geram resíduos fósseis como: plásticos diversos, espumas, isopor, peças automotivas, borracha, vela, parafinas etc. Tanto a reciclagem como a redução e substituição dos resíduos considerados fósseis contribuem consideravelmente para os Cenários de Baixo Carbono quando há a opção de tratamento por incineração ou o tratamento térmico a alta temperatura, ou ainda, a compostagem anaeróbia (biodigestor anaeróbio).

6.3.1.c Cenário de Baixo Carbono para o Setor de Resíduos Sólidos

O Cenário de Baixo Carbono no setor de resíduos pode ser representado pelas reduções dos resíduos sólidos em comparação com o Cenário de Referência (Figura 6.10).

Figura 6.10: Cenário de Baixo Carbono para Resíduos Sólidos: Queima do Metano com Eficiência de Coleta de 75% no Aterro Sanitário, 2010–30 ($\text{MtCO}_2\text{e/ano}$)



A queima do biogás é a alternativa que vem começando a ser praticada no país desde a entrada em vigor do Protocolo de Quioto. Antes disso, não se queimava metano e em abril de 2009 eram 27 projetos de MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo com esta prática que tramitavam na Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. Todas as demais características que definiram o Cenário de Referência são mantidas, com exceção da destruição do metano a uma taxa de 75% de capacidade de coleta de metano no aterro. Esta é uma orientação dos projetos de MDL, sendo que ainda não há publicações nacionais confirmando esta informação.

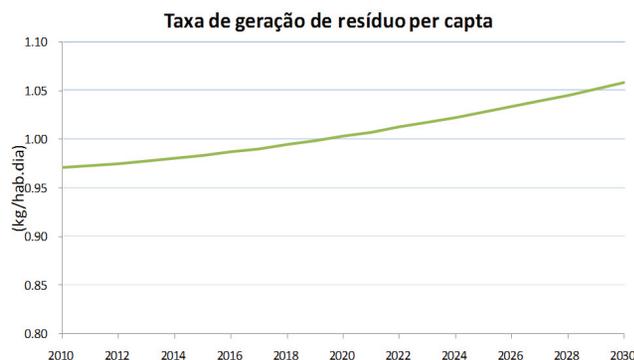
Nota-se, como era de se esperar, que as emissões de gases de efeito estufa caem em 75% do total verificado sem esta prática e voltam a crescer acompanhando o crescimento populacional e demais características definidas também no Cenário de Referência. Neste Cenário, as reduções caem de 73 para 18 MtCO₂ e no ano de 2030, o que corresponde aos 75% de queima do metano. Estimou-se que a implantação deste Cenário deve ocorrer ao longo dos próximos 20 anos, observando-se reduções da ordem de 20% a cada 4 anos em cinco ciclos até 2030¹⁰³.

O Cenário de Baixo Carbono proposto para os resíduos é único em termos de método de destinação. No Cenário de Referência, 100% dos resíduos coletados devem ser transferidos para os aterros sanitários. Da mesma maneira, no Cenário de Baixo Carbono proposto todo o lixo precisa ser destinado para os aterros, mas a opção inclui ainda a captura e a queima do CH₄. As outras tecnologias avaliadas demonstraram menor eficiência (Tabela 6.2). A expectativa é que os resíduos gerados diariamente *per capita* aumentem durante o período 2010-2030, passando de aproximadamente 0,95 kg para mais de 1,05 kg (Figura 6.11).

Tabela 6.2: Sumário da Evolução da Distribuição Percentual dos Resíduos no Cenário de Baixo Carbono (2010-2030), por Método

Método	2010 (%)	2020 (%)	2030 (%)
Não coletado	14.3	15.6	14.3
Aterro sem recaptura de biogás	45.5	22.4	0.0
Aterro com recaptura de biogás	11.4	33.6	59.8
Aterro a céu aberto	28.8	28.4	25.9
Total	100	100	100

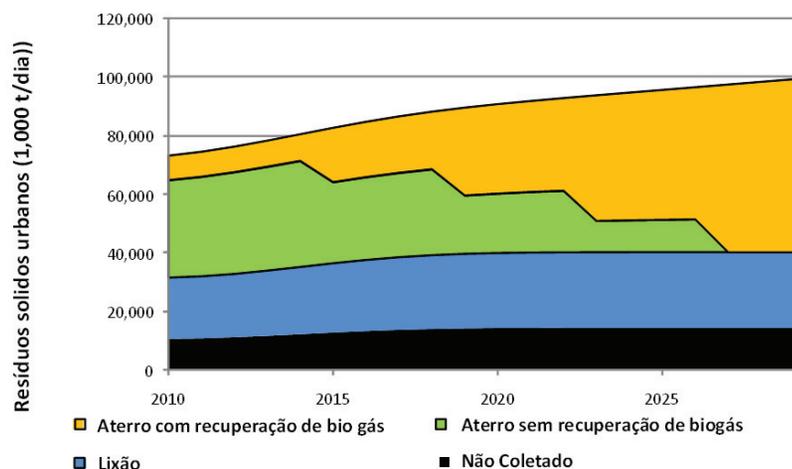
Figura 6.11: Resíduos Gerados Per Capita: Cenário 2010–30



103 Recente experiência no Estado de São Paulo indica que a evolução da gestão de resíduos no Estado, observada em 1997 passou de 5% de aterros, contra 95% de lixões, para 50% 10 anos depois. Isso sugere que o ritmo sugerido de implantação do Cenário de Baixo Carbono condiz com a realidade nacional.

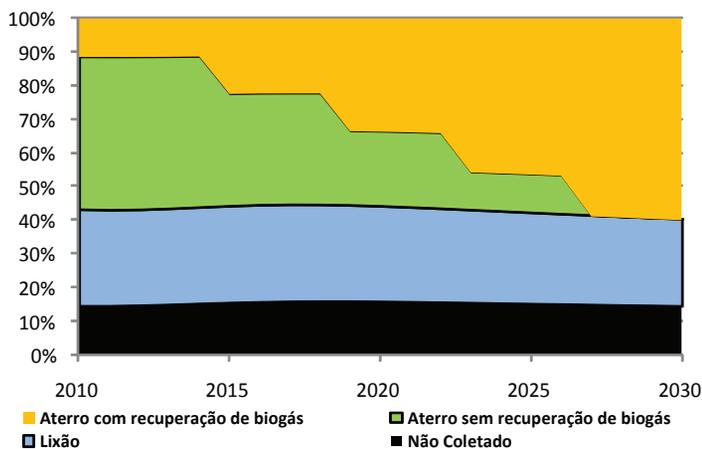
A prática crescente da coleta e da queima do biogás nos aterros está projetada para chegar a 100% até 2030. A projeção indica o crescimento como sendo linear, de 0% em 2010 para 100% até 2030 (Figura 6.12).

Figura 6.12: Distribuição do Tratamento de Resíduos e de Serviços no Cenário de Baixo Carbono, 2010-2030



A distribuição percentual do tratamento dos resíduos durante o período de 2010 a 2030 foi também estimada no Cenário de Baixo Carbono (Figura 6.13).

Figura 6.13: Porcentagem de distribuição de tratamento dos Resíduos Sólidos no Cenário de Baixo Carbono, 2010-30



6.3.2 Cenário de Baixo Carbono para o Manejo de Efluentes

A situação precária dos serviços de esgotamento e a inexistência virtual de instalações de tratamento são características notórias do Brasil. Esgotos são lançados *in natura* em corpos de água, o que representa perigo para a pesca. Por sua vez, a água potável doméstica e a água usada na agricultura estão contaminadas, e áreas urbanas inteiras localizadas próximo a praias, lagos e rios poluídos estão degradadas.

Medidas de expansão e melhoria das condições de tratamento dos esgotos são necessárias e fazem parte do processo de desenvolvimento de um país. O emprego da tecnologia aeróbia pode implicar no aumento do consumo de energia elétrica e em consequente aumento nos níveis de emissão de gases de efeito estufa. Além da intensa geração de lodos que também podem ser fonte de geração de gases de efeito estufa em função da escolha da tecnologia empregada para o seu tratamento ou destinação. O emprego da tecnologia anaeróbia tem como principal característica o baixo consumo de energia em paralelo à geração de energia que é representada pelo metano produzido pelo processo anaeróbio. O metano, se lançado para a atmosfera, implica em significativo aumento das emissões de gases de efeito estufa. Todavia, a sua retenção e destruição ou uso energético implicam em redução deste severo problema ambiental.

Da mesma forma que com os resíduos sólidos, a melhoria sanitária e a implantação de práticas de emissões reduzidas de gases de efeito estufa podem ser medidas conflitantes, podendo gerar aumento nas emissões de gases de efeito estufa como um efeito colateral da almejada melhoria sanitária.

6.3.2.a Barreiras e Propostas

No Cenário de Referência, fica mantido o passivo socioambiental no setor de efluentes. As barreiras que limitam a adoção de práticas sólidas no setor de tratamento de efluentes são resumidas abaixo (Tabela 6.43).

Tabela 6.3: Barreiras à Adoção de Sistemas de Tratamento de Efluentes e de Medidas de Mitigação Sugeridas

Barreiras	Preventivas	Corretivas	Governança
Técnico-Ambientais ao Tratamento de Efluentes			
Falta de tratamento técnico em sistemas de coleta, queima, recuperação e/ou aproveitamento energético do biogás.	Intercâmbio de experiências entre entidades especializadas e que operam sistemas afins (empresas privadas nacionais e internacionais, órgãos governamentais, ONGs etc.).	Execução de sistemas eficientes e eficazes, com vista à viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental.	Proposição de exigências técnicas nos órgãos e agências ambientais na execução e operação de sistemas afins nos procedimentos de licenciamento ambiental.
Econômico-Jurídicas			
Reduzidos investimentos e recursos econômicos.	Adequação das concepções de sistemas de tratamento com geração de gases de efeito e fomento em sistemas de coleta, queima, recuperação e/ou aproveitamento energético do biogás.	Incremento considerável no valor dos investimentos de forma sistemática ao longo dos próximos 20 anos.	Controle e fiscalização no fomento e aplicação de recursos econômicos afins em seus diversos programas e planos existentes.
	Promoção do reuso de água e técnicas de produção mais limpa visando a melhoria da capacidade de suporte dos corpos d'água.	Incremento considerável no controle de perda e racionalização no consumo de água visando empreendimentos sustentáveis.	Mecanismos de alteração com incentivo na tributação para empreendimentos que se utilizam de técnicas de reuso de água e produção mais limpa.

6.3.2.b Manejo de Efluentes Líquidos Otimizado para a Redução de Emissões de GEE

Entre as opções de mitigação ou de captura, a redução de efluentes na fonte é o fator mais importante em relação à sustentabilidade.

O objetivo do Cenário de Baixo Carbono proposto é o de fomentar a tecnologia anaeróbia que tem baixo consumo de energia além de gerar o metano que tem poder calorífico suficiente para que este possa ser usado como combustível em substituição ao gás natural, gasolina ou diesel. Implantando-se os sistemas de tratamento de esgotos, reduzindo a carga orgânica dos efluentes, soluciona-se o problema ambiental que há em todas as metrópoles do país, além daqueles municípios próximos às áreas de descarte dos seus esgotos. Isso é o que ocorre com as cidades que se serviriam das águas do rio Tietê, em São Paulo, ou com as cidades instaladas no entorno da Baía da Guanabara. O Cenário de Baixo Carbono proposto visa a redução deste problema ambiental, sem que, com isso, se agravem as emissões de gases de efeito estufa, pois acompanha cada ETE um sistema de contenção e queima de biogás.

A proposta representada pelo Cenário de Baixo Carbono deste estudo implica na larga implantação de sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos, sempre acompanhados dos respectivos sistemas de retenção e destruição do metano. O que resulta na melhoria do problema ambiental vivido hoje em todo o país, com redução nos níveis atualmente observados de gases de efeito estufa (Tabela 6.4).

Tabela 6.4: Evolução da distribuição percentual dos efluentes entre os diferentes métodos, 2008–30

Método	2008 (%)	2010 (%)	2020 (%)	2030 (%)
Tratamento anaeróbico	50	100	100	100
Lançado sem tratamento	50	0	0	0
Total	100	100	100	100

6.3.2.c Cenário de Baixo Carbono para o Setor de Efluentes

Os respectivos Cenários de Baixo Carbono para esgoto doméstico e efluentes industriais foram comparados ao Cenário de Referência (Figuras 6.14 e 6.15). No Cenário de Baixo Carbono para esgotos domésticos, o nível de emissões é zero, já que 100% do biogás é queimado, enquanto o serviço é prestado de forma universal.

Figura 6.14: Comparação dos Cenários de Baixo Carbono e de Referência para Esgotos Domésticos, 2010-2030 (queima de 100% do Biogás) (MtCO₂e/ano)

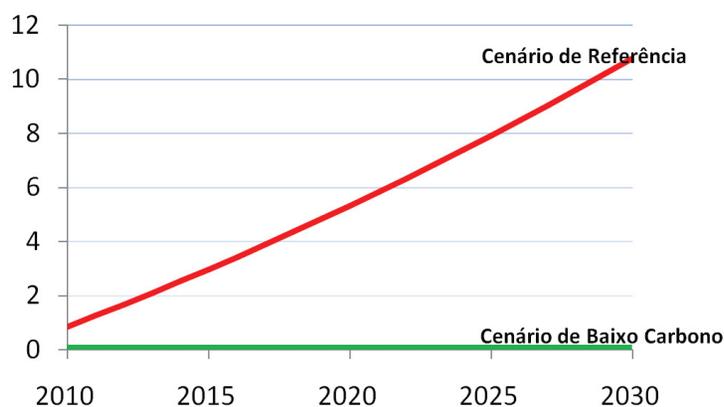
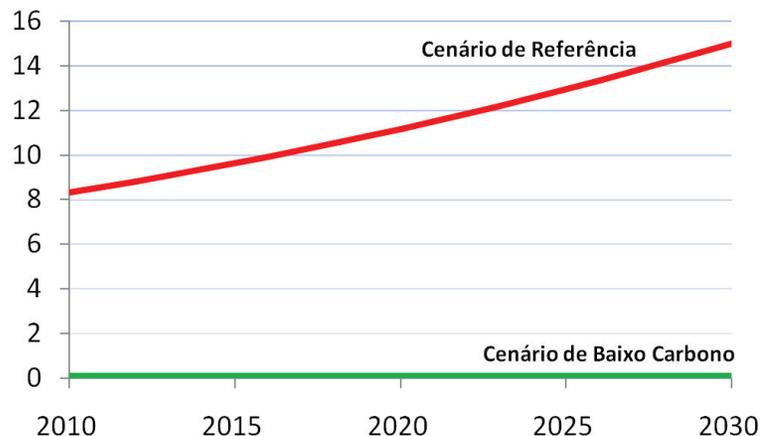


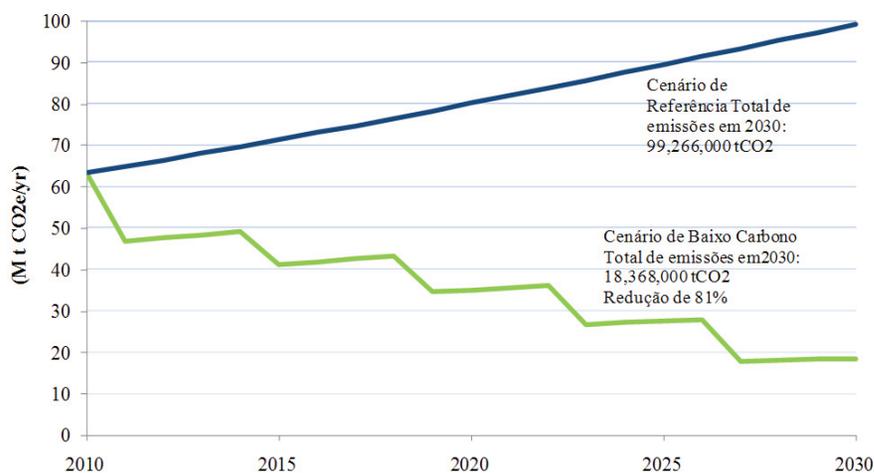
Figura 6.15: Cenário de Baixo Carbono e de Referência para Efluentes Industriais (100% do biogás queimado a partir de 2010) (MtCO₂e/ano)



6.3.3 Emissões Projetadas no Cenário de Baixo Carbono

Na área de manejo de resíduos, o Cenário de Baixo Carbono demonstra a possibilidade de evitar emissões a níveis 80% inferiores aos projetados no Cenário de Referência até 2030. Naquele ano, as expectativas indicam que as emissões no Cenário de Referência alcançariam 99 MtCO₂e enquanto caíam para 18 MtCO₂e no Cenário de Baixo Carbono, para um total cumulativo de emissões evitadas de 963 MtCO₂e (Figura 6.16). Essa redução significativa ocorreria principalmente através da queima do CH₄ gerado nos aterros sanitários controlados.

Figura 6.16: Comparação dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (2010–2030) (MtCO₂e/ano)



A atividade que geraria a quantidade mais significativa de emissões evitadas seria a queima de CH₄ gerado pelos aterros sanitários. Ainda que não tenham sido considerados neste Cenário de Baixo Carbono, são também recomendados métodos para reduzir a produção de resíduos (por exemplo, alterações nas embalagens descartáveis, descarte de lixo e reciclagem), considerando-



se que as emissões oriundas do setor de resíduos são diretamente ligadas à quantidade de resíduos e efluentes gerados.

Consequentemente, durante os próximos 20 anos, o Brasil precisaria de investimentos significativos na sua infraestrutura para coleta e tratamento de resíduos para reduzir as emissões do setor. Uma estimativa destes investimentos é apresentada no Capítulo 9 (Seção 9.5). Todavia, é preciso observar que a prioridade desses investimentos é o aprimoramento das condições sanitárias, contribuindo ao mesmo tempo para prevenir emissões. Assim sendo, os co-benefícios da redução e da prevenção de emissões geradas no setor de resíduos podem ser percebidos como mais importantes no processo de decisão do que a própria redução potencial dessas emissões.



Capítulo 7

Análise Econômica

Uma análise econômica do Cenário de Baixo Carbono serve para informar tanto o governo quanto a sociedade dos custos e benefícios econômicos de migrar para uma via de desenvolvimento com menor emissão de carbono. Ela também ajuda a apreciar as condições nas quais as opções propostas de mitigação e remoção de carbono possam ser efetivamente implementadas. Ao mesmo tempo, não existe um método único para a análise dessas opções. Diversas perspectivas podem ser utilizadas para informar uma ampla gama de audiências e agentes sobre as condições econômicas que permitiriam a execução de um Cenário de Baixo Carbono.

Este estudo executou avaliações econômicas em dois níveis:

- 1. Microeconômico.** Essa análise de custo-benefício permitiu comparações entre opções individuais no Cenário de Baixo Carbono, assim como entre as opções gerais do Cenário de Baixo Carbono e de Referência. Foram desenvolvidas abordagens complementares do ponto de vista da sociedade e do setor privado;
- 2. Macroeconômico.** Foi utilizado um modelo macroeconômico baseado em Insumos e Produtos (Modelo *Input-Output*, ou I-O) para comparar o conjunto de opções de baixo carbono para mitigação e remoção de carbono (ou seja, o Cenário de Baixo Carbono) com o Cenário de Referência, como forma de explorar a sustentabilidade macroeconômica de uma migração para o Cenário de Baixo Carbono.

É importante ressaltar que não é possível realizar uma análise econômica completa e consistente de todas as externalidades em todos os setores. Embora os principais co-benefícios de certas opções de mitigação e remoção de carbono consideradas no Cenário de Baixo Carbono possam ser medidos em termos físicos para a exploração de sua sustentabilidade, o número e diversidade dos setores envolvidos virtualmente impedem uma análise completa das externalidades. Inevitavelmente, para garantir a homogeneidade da análise é necessário limitá-la a custos e receitas diretos e mensuráveis, omitindo assim importantes co-benefícios, que mesmo assim podem ser cruciais ao processo de tomada de decisão.¹⁰⁴

Além disso, esta análise desenvolveu um método específico para opções de mitigação relacionadas à modificação no uso da terra, uma vez que as propostas para evitar emissões do desmatamento são inerentemente diferentes de outras, como as que evitam emissões de atividades de setores como energia e transporte. Nestes setores, as opções de mitigação substituem tecnologias emissoras de GEE por outras menos poluentes e que atendam à mesma necessidade. As opções de mitigação propostas para o desmatamento envolvem intervenções *sistêmicas* que eliminam a necessidade de mais terra, que de outra forma causariam mais desmatamento e emissões de GEE. Dessa forma, é preciso uma metodologia mais inovadora e detalhada para aplicar os mesmos princípios na avaliação microeconômica.

Neste capítulo, a Seção 7.1 apresenta o método microeconômico utilizado para avaliar as opções de mitigação e remoção de carbono consideradas no Cenário proposto de Baixo Carbono. São apresentadas análises de custo-benefício usando abordagens para a sociedade e o setor privado nas subseções 7.1.1 e 7.1.2, respectivamente; a subseção 7.1.3 calcula os custos associados com a redução das emissões por desmatamento e a remoção de carbono através do restauro florestal; a subseção 7.1.4 apresenta estimativas dos co-benefícios associados às opções de mitigação no setor de transportes; a subseção 7.1.5 inclui uma análise de sensibilidade em relação às variações dos preços do petróleo, com foco no etanol. A Seção 7.2 avalia os efeitos macroeconômicos das opções de mitigação de GEE sobre o PIB e o emprego, assim como os quatro principais setores emissores considerados nesse estudo.

¹⁰⁴ Para o transporte, os principais benefícios são o menor congestionamento e poluição local, e não a mitigação de GEE; portanto, o estudo conduziu um exercício separado para estimar tais benefícios (ver subseção 7.1.4).

7.1 Método de Avaliação Microeconômica

É especialmente difícil fazer uma avaliação conjunta das diversas medidas a serem consideradas, uma vez que essas são implementadas em diversos contextos. Algumas estão na esfera da economia pública, e são implementadas pelo governo local ou federal; outras são conduzidas pelo setor privado. Algumas geram receita (ex.: geração de energia), outras geram economia (ex.: conservação de energia), outras ainda geram co-benefícios e externalidades (ex.: transporte, manejo de resíduos e medidas para evitar o desmatamento). Algumas têm alto volume de capital com cronograma de amortização para além de 2030, enquanto outras envolvem mudanças de curto prazo em condições operacionais (ex.: migrar para veículos flex). A avaliação pode variar significativamente, dependendo da perspectiva adotada, do ponto de vista do setor público ou do setor privado. Para fornecer melhores informações aos tomadores de decisão, a equipe do estudo conduziu as análises de custo-benefício usando tanto abordagens sociais quanto de setor privado.

A abordagem social forneceu a base para uma comparação intersetorial da eficiência de custo das 40 opções de mitigação e remoção de carbono consideradas no estudo. Foi utilizada uma taxa de desconto social para calcular os Custos Marginais de Abatimento (CMAs). Os CMAs de todas as medidas propostas de mitigação e remoção de carbono foram classificados por valor crescente e plotados em um único gráfico para facilitar uma rápida comparação intersetorial de seus custos e do volume de emissões que poderiam reduzir ou sequestrar.

A abordagem privada avaliou as condições nas quais as medidas propostas poderiam se tornar atraentes para agentes econômicos que decidem entre investir em alternativas de baixo carbono ou nas opções com maior volume de carbono encontradas no Cenário de Referência. Essa abordagem seguiu os mesmos princípios que as transações financeiras de carbono da abordagem *cap-and-trade* adotada sob o Protocolo de Quioto: tais transações financeiras de carbono fornecem receita adicional aos agentes econômicos que optam por soluções com menor uso de carbono do que as opções de referência. A abordagem privada adotada neste estudo estimou o incentivo econômico que os agentes econômicos necessitariam para que a medida de mitigação proposta se tornasse atraente. Se os incentivos fossem providenciados através do mercado financeiro de carbono, a abordagem privada indica o preço mínimo do carbono, expressado em US\$ por tCO₂e, necessário para tornar a opção de baixo carbono atraente o suficiente para a implementação. Isso não significa necessariamente que o incentivo econômico correspondente deve ter a forma de receita de carbono através da venda de créditos de carbono; poderiam ser utilizados subsídios de capital para tecnologias de baixo carbono ou uma combinação de incentivos. Condições de financiamento e créditos tributários podem às vezes ser bem mais eficientes na canalização do incentivo correspondente para fazer da opção de baixo carbono a preferida dos desenvolvedores de projetos.

7.1.1 A “Abordagem Social”: Construindo a Curva de Custo Marginal de Abatimento

7.9 Usando a abordagem social, os custos e benefícios da opção implementada no Cenário de Referência para o período de 2010-30 foram subtraídos ano a ano dos custos e benefícios da opção proposta de baixo carbono implementada para o mesmo período. O valor presente líquido (VPL) de 2009 dos custos e benefícios incrementais anuais foram então calculados para determinar a média ponderada por tCO₂e evitado durante o período, chamada de “Custo



Marginal de Abatimento” (CMA). O VPL foi calculado usando uma taxa de desconto social de 8 por cento. Esse foi o valor que o PNE 2030 utilizou para o Plano Nacional de Energia de longo prazo para o Brasil, e geralmente é utilizado para projetos financiados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES).

É preciso reiterar que esta análise não podia levar em conta as externalidades, porque nesse estágio não era possível quantificar todas as principais que estivessem associadas a cada medida proposta. Se fossem levadas em conta as externalidades para algumas medidas, mas não para todas, a comparação seria considerada parcial e irrelevante. Portanto, nas análises apresentadas abaixo, foram levados em conta apenas os custos e receitas monetários. Ao mesmo tempo, a equipe do estudo admite que certas externalidades podem ser cruciais para o processo de tomada de decisão.

O estudo construiu uma curva de custo marginal de abatimento (CMA) da mitigação de GEE. A CMA é usada amplamente para analisar políticas de mitigação de GEE, e representa em forma de gráfico a atração econômica de dada opção de mitigação em relação ao seu tamanho potencial de mitigação. As curvas de custo de abatimento são construídas no nível de tecnologia/atividade ou setor/programa. No nível de tecnologia/atividade, é utilizada uma abordagem de baixo para cima de engenharia econômica (ex.: análise de custo-benefício ou análise de custo nivelado) para gerar as curvas de custo de abatimento. No nível de setor/programa, elas são geradas pela comparação das carteiras de opções de tecnologia de mitigação nos Cenários de Baixo Carbono e de Referência.

Neste estudo, as medidas de mitigação no nível de atividade foram analisadas individualmente. Foram elaboradas então carteiras dessas medidas no nível setorial para construir um Cenário de Baixo Carbono; o potencial associado para cada opção de mitigação foi ajustado para garantir consistência interna no nível setorial e impedir uma contagem duplicada de reduções de emissões.¹⁰⁵

O estudo usou comparações paritárias de tecnologias de referência e de tecnologias de mitigação de GEE para gerar as curvas de custo de abatimento. Esse tipo de abordagem normalmente compara os VPLs dos custos de investimento, custos de operação e manutenção e receitas para as tecnologias implementadas nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono. Entretanto, o objetivo dessa análise não se limitou a comparar tecnologias de abatimento e de referência de forma estática; ele também visou criar uma via de desenvolvimento de baixo carbono com cenários possíveis de penetração para as tecnologias e medidas de abatimento. Como uma abordagem dessas normalmente assume que a série de investimentos realizados poderia se estender para além do período considerado, a equipe do estudo usou uma abordagem de anuidade ou custo nivelado para calcular o custo de abatimento de cada alternativa. Uma vez que tomadores de decisão podem ter que escolher entre alternativas bastante diferentes em termos de distribuição de custos e benefícios sobre o tempo, especialmente no que se refere a custos de investimentos, valores atualizados em 2009 foram utilizados para cálculos e comparações (Quadro 7.1).

105 Por exemplo, medidas para conservação de energia e a migração para energia renovável não podem levar crédito simultaneamente pela substituição da mesma geração de energia com base em combustíveis fósseis.

Quadro 7.1: Calculando Custos Marginais de Abatimento

Esse estudo usou uma abordagem de custo incremental para calcular os custos marginais de abatimento. A abordagem pode ser expressada matematicamente da seguinte forma:

$$AC_n^{Activity} = \frac{ANC_n^{abatement} - ANC_n^{base}}{AE_n^{base} - AE_n^{abatement}} \quad (1)$$

onde

- $AC_n^{Activity}$ = Custo de abatimento de atividade/tecnologia de mitigação de GEE para o ano n
- $ANC_n^{abatement}$ = Custo anual líquido da tecnologia de abatimento para o ano n
- ANC_n^{base} = Custo anual líquido da tecnologia usada no Cenário de Referência para o ano n
- $AE_n^{abatement}$ = Emissão anual de GEE com tecnologia de abatimento para o ano n
- AE_n^{base} = Emissão anual de GEE com tecnologia usada no Cenário de Referência para o ano n

$$ANC_n = \frac{INV.r \cdot \frac{(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} + AOMC_n + AFC_n - AREV_n}{(1+r)^{(n-2009)}} \quad (2)$$

Onde

- ANC_n = Custo anual líquido da tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência (valores de 2009) para o ano n
- INV = Investimento total ou custo capital de da tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência
- $AOMC$ = Custo anual de operações e manutenção da tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência
- AFC = Custo anual de combustíveis de tecnologia da tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência
- $AREV$ = Receita anual gerada pela tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência
- r = Taxa de desconto
- t = Vida útil da tecnologia
- n = Ano

Os custos de abatimento calculados dessa forma podem ser diferentes por ano devido à variação dos fluxos de custo-benefício ao longo dos anos. Para uma determinada tecnologia no período do estudo, os custos de abatimento anuais são ponderados com a mitigação de GEE anual correspondente, para calcular o custo de abatimento anual médio. O método utilizado pode ser expressado da seguinte forma:

$$AAAC^{Activity} = \frac{\sum_y AC_y^{Activity} \times MIT_y^{Activity}}{\sum_y MIT_y^{Activity}} \quad (3)$$

onde,

- $AAAC^{Activity}$ = Custo de abatimento anual médio da atividade/tecnologia de mitigação de GEE no período de 2010-30
- $AC_y^{Activity}$ = Custo de abatimento da atividade/tecnologia de mitigação de GEE no ano n
- $MIT_y^{Activity}$ = Mitigação de GEE da atividade/tecnologia no ano n

As alternativas e seu respectivo potencial de abatimento de emissões foram usadas coletivamente para construir as curvas de custo de abatimento. Foram aplicados os mesmos preços projetados para combustíveis e eletricidade utilizados no PNE 2030.

Para as opções de abatimento consideradas neste estudo, foi utilizada uma taxa de desconto de 8% no cálculo do CMA. Esse é o valor considerado como taxa de desconto social para projetos no Brasil. Para comparação, o estudo também conduziu análises de sensibilidade para taxas de desconto de 4% e de 12%. Considerou-se que as medidas de mitigação com os principais benefícios coletivos, tais como redução do congestionamento de tráfego ou poluição local menor (ex.: trem-bala, investimento no metrô, e manejo de resíduos), fossem implementadas independentemente de seus CMAs ou níveis de redução de emissões, apesar de seu custo mais elevado. O potencial de mitigação de emissões e de remoção de carbono no período de 2010-30 totalizou quase 11,7 GtCO₂ (incluindo emissões evitadas como resultado do etanol para exportação e da linha de transmissão Brasil-Venezuela) (Tabela 7.1).

A curva CMA, usando uma taxa de desconto social de 8%, foi construída para opções de mitigação com CMAs de menos de US\$50 por tCO₂e (Figura 7.1a). Curvas semelhantes foram construídas para uma análise de sensibilidade (taxas de desconto social de 4% e de 12%). Cada platô na Figura 7.1a corresponde a uma opção de mitigação de GEE com seu potencial de mitigação. Os potenciais de mitigação de GEE abaixo do eixo X implicam um ganho econômico líquido com uma taxa de desconto de 8 por cento.

O potencial total de mitigação ou remoção de carbono de emissões associado com as medidas dos CMAs de menos de US\$50 por tCO₂e é de 11,3 bilhões de tCO₂e no período de 2010–30. Se forem incluídas opções de mitigação acima de US\$50 por tCO₂e, o total cresce para 11,7 bilhões de tCO₂e. Em média, o potencial anual de mitigação é de 560 milhões tCO₂e durante o período do estudo.

A característica mais marcante da curva CMA para o Brasil é que, diferentemente da maioria dos outros países, ela parece plana, devido ao grande potencial de redução de emissões pela redução das emissões de desmatamento. Essa opção representa mais de 6 GtCO₂ ou mais da metade de todo o potencial de mitigação e remoção de carbono do Cenário de Baixo Carbono proposto. Não é fácil avaliar os custos associados a esta opção; assim, recomenda-se muita cautela. Por esse motivo, a subseção 7.1.3 fornece detalhes sobre como este estudo calculou esses custos.

As medidas de mitigação com os menores CMAs são iluminação residencial, cogeração de cana-de-açúcar e sistemas de recuperação de vapor, com custos negativos de US\$120, \$105, e \$97 por tCO₂e, respectivamente. As medidas com os menores CMAs estão ligadas primeiramente à eficiência energética (residencial/comercial e industrial). Essas medidas têm economias significativas de custo devido aos custos reduzidos de consumo energético, resultando em CMAs negativos no geral.

Opções com maior volume de capital relacionadas a transporte, manejo de resíduos e energia possuem os maiores CMAs. Essas opções incluem o trem-bala, a US\$360 por tCO₂e; tratamento de esgoto industrial, a US\$103 por MtCO₂e; e refinarias existentes, a US\$95 por tCO₂e.

Para melhor enxergar os CMAs para outras opções de mitigação além do desmatamento e do restauro florestal, foi construída uma curva do mesmo tipo mostrado na Figura 7.1a, excluindo essas duas opções (Figura 7.1b).

Tabela 7.1 Potencial de Mitigação e Custo Marginal de Abatimento das Várias Alternativas, com Base em Três Taxas de Desconto

Mitigation option	% emissions reduction (2010-30)	Emissions reduction (Mt CO ₂) (2010-30)	Abatement cost		
			(US\$/tCO ₂)		
			8%	4%	12%
Iluminação residencial	0	3	(120)	(164)	(92)
Cogeração de cana de açúcar	1	158	(105)	(219)	(43)
Sistemas de recuperação de vapor	0	37	(97)	(157)	(62)
Sistema de recuperação de calor	0	19	(92)	(147)	(60)
Iluminação industrial	0	1	(65)	(122)	(36)
Energia térmica solar	0	26	(55)	(89)	(35)
Iluminação comercial	0	1	(52)	(104)	(27)
Motores elétricos	0	2	(50)	(154)	(6)
Otimização da combustão	1	105	(44)	(71)	(28)
Refrigeradores (MEPS)	0	10	(41)	(151)	5
Reciclagem	1	75	(35)	(53)	(24)
Linha de transmissão Brasil-Venezuela	0	28	(31)	(32)	(29)
Sistema de recuperação de calor de fornalha	3	283	(26)	(49)	(13)
Gás natural substituindo outros combustíveis	0	44	(20)	(53)	(4)
Outras medidas de eficiência energética	0	18	(14)	(24)	(8)
Etanol substituindo gasolina no mercado doméstico	2	176	(8)	(15)	(2)
Energia eólica	0	19	(8)	(162)	64
Otimização do trânsito	0	45	(2)	(4)	0
Gás para Líquido (GTL)	1	128	(2)	(7)	1
Redução do desmatamento + pecuária	53	6.041	(0)	(4)	1
Plantio direto aumentado	3	355	(0)	(1)	(0)
Investimento em ciclovias	0	17	1	(2)	3
Exportação de etanol substitui a gasolina no exterior	6	667	2	(15)	9
Novos processos industriais	1	135	2	(53)	26
Destrução de metano em aterro	9	963	3	4	2
Aquecimento solar (residencial)	0	3	4	(186)	84
Refinarias existentes (integração energética)	0	52	7	(5)	11
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (res. e com.)	1	116	10	14	8
Novas refinarias	0	52	19	21	16
Carvão renovável substituindo carvão não renovável	5	567	21	14	32
Investimento em ferrovias e hidrovias versus rodovias	1	63	29	21	15
Reflorestamento	10	1.085	39	39	39
Total (MAC < US\$50)	100	11.294			



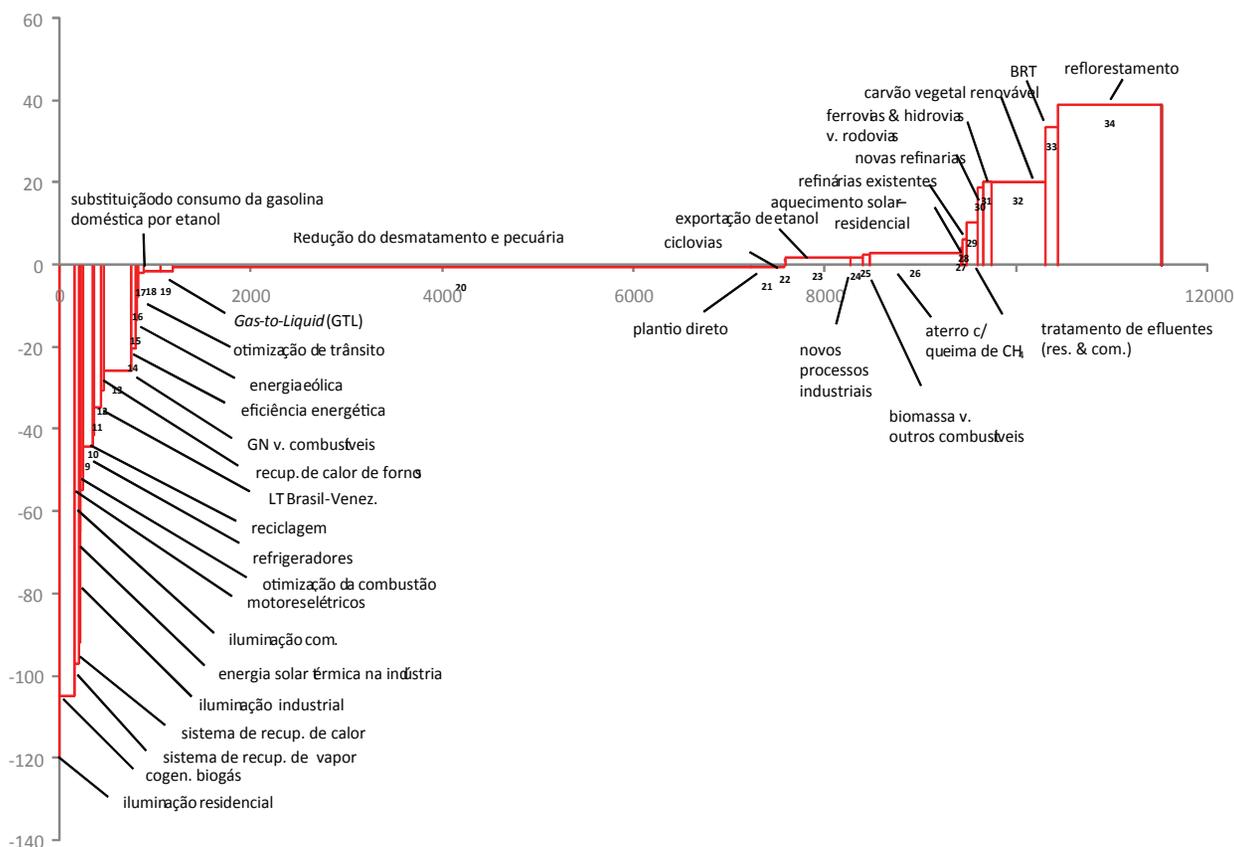
Mitigation Options with MAC > US\$50/tCO₂e

Refinarias existentes (controle de incrustação)	7	73	121	46
Refinarias existentes (controles avançados)	7	95	112	79
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (ind.)	238	103	140	80
Investimento em metro	174	106	100	83
Trem-bala (São Paulo e Rio de Janeiro)	12	400	358	331
Total (MAC > US\$50)	438			

Nota: As hipóteses de preços do petróleo são do PNE 2030 (US\$45 por barril, em média), que é baixo em comparação com os preços atuais (US\$70 por barril). Portanto, uma análise de sensibilidade é necessária, principalmente para as opções que substituem petróleo ou gás (por exemplo, substituição da gasolina com o bioetanol) (ver subseção 7.1.4).

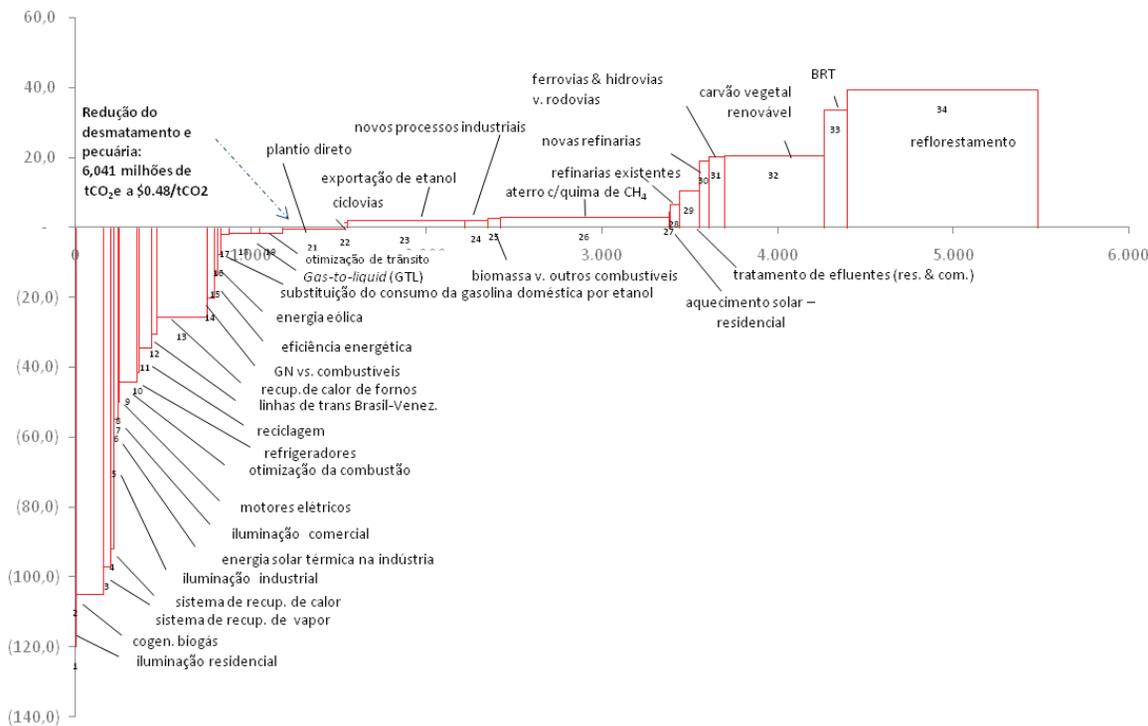
* Um CMA positivo para aquecedor solar residencial versus CMA negativo para substituição solar-térmico industrial reflete o menor teor de carbono da geração de eletricidade residencial (principalmente hidrelétricas) versus o maior teor de carbono da geração de energia industrial (gás, diesel, carvão).

Figura 7.1a: Curvas de Custos Marginais de Abatimento para Medidas de Mitigação com CMAs abaixo de US\$50 por tCO₂e (taxa de desconto social de 8%)



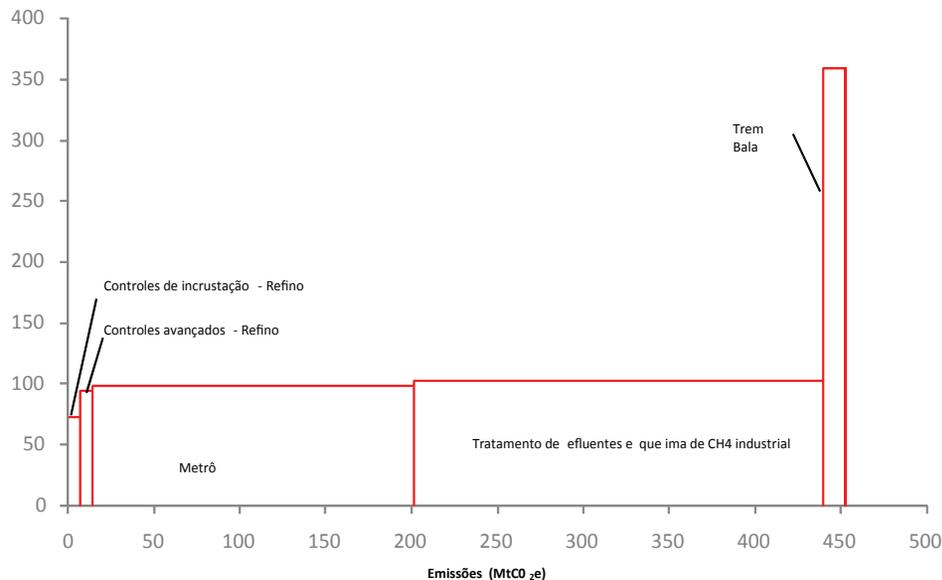
Note: O preço do petróleo é o mesmo utilizado pelo PNE 2030 (US\$45 por barril), sendo considerado baixo em comparação ao preço atual (\$70 por barril). Uma análise de sensibilidade foi realizada para as opções de mitigação afetadas pelo consumo de petróleo e gás (e.g., substituição de gasolina com etanol) (ver subseção 7.1.4).

Figura 7.1b: Curvas de Custos Marginais de Abatimento para Medidas de Mitigação abaixo de US\$50 por tCO₂e, Excluindo Desmatamento e Reforestamento (taxa de desconto social de 8%)



A curva CMAs para opções de mitigação com CMAs acima de US\$50 por tCO₂e também foi construída. Embora essas opções tenham CMAs mais elevados e representem apenas 5% do potencial total de emissões evitadas, a probabilidade de serem implementadas depende mais de seus co-benefícios do que de seu potencial de mitigação de emissões (Figura 7.1c).

Figura 7.1c: Curvas de Custo Marginal de Abatimento para Medidas de Mitigação acima de US\$50 por tCO₂e (taxa de desconto social de 8%)



7.1.2 A “Abordagem Privada”: Determinando o Preço de Equilíbrio do Carbono

Para avaliar a possibilidade de se implementar as opções de mitigação e remoção de carbono do ponto de vista do setor privado, a equipe do estudo calculou os incentivos que seriam necessários para as medidas propostas se tornarem atraentes para os agentes econômicos do Brasil. A equipe aplicou um método de duas partes. Em primeiro lugar, estimou a taxa interna de retorno (TIR) mínima – ou TIR de *benchmark* – que os agentes econômicos do Brasil poderiam esperar no subsetor onde a medida de mitigação proposta fosse implementada. Em segundo lugar, ela estimou o incentivo mínimo necessário, expresso na forma de receita adicional média por tCO₂ evitado, que tornaria atraente a possibilidade de mudança da opção de referência para a opção de baixo carbono; ou seja, a TIR resultante, incluindo o incentivo, seria no mínimo igual à TIR de *benchmark*.

Como os níveis de riscos percebidos pelos investidores diferem por tipo de tecnologia, as estratégias dos investidores podem variar de acordo com as condições de mercado observadas em subsetores específicos – e as taxas de retorno necessárias, conseqüentemente, podem ser diferentes, de acordo com as tecnologias.¹⁰⁶ Para estabelecer essa TIR de *benchmark*, a equipe do estudo consultou diversas instituições no Brasil que financiam projetos nos subsetores considerados, assim como participantes significativos e empresários da área. Embora questões de confidencialidade impedissem que este estudo publicasse informações detalhadas, a consistência dos dados fornecidos deu à equipe do projeto uma percepção da robustez das estimativas estabelecidas dessa forma.

Esses dados foram compilados para chegar a um consenso sobre as taxas usadas e observadas na prática; mas essas TIRs de *benchmark* continuam sendo indicadores. Ao mesmo tempo, são claramente diferentes da taxa de desconto social utilizada para calcular o CMA e podem mudar de um setor ou subsetor para o outro, confirmando que o CMA apresentado na seção acima não deve ser utilizado como representante para o incentivo de mercado a ser fornecido no nível do projeto.

O incentivo de mercado foi determinado como valor de dólar por tCO₂ que faria com que o VPL dos custos e benefícios incrementais fosse igual a zero, usando a TIR de *benchmark* como uma taxa de desconto privada. Nesse sentido, o incentivo pode ser visto como o preço de equilíbrio do carbono. Deve-se ressaltar que nem o CMA nem o preço de equilíbrio do carbono levaram em consideração as externalidades não-monetárias (positivas ou negativas) que a opção de baixo carbono poderia gerar.

Para a maioria dos setores, a TIR de *benchmark* de consenso foi de 15%. Mas para certas medidas de mitigação, foram aplicados outros valores, com base em uma mistura esperada de financiamento significativo do setor público (ex.: manejo de resíduos) ou de um maior envolvimento do setor privado (ex.: cogeração ou grande infraestrutura de transporte). Para projetos de gás-para-líquido (GTL), foi utilizada uma TIR de *benchmark* de 25%, enquanto projetos de cogeração de cana-de-açúcar aplicaram uma taxa de 18% (Tabela 7.2.a).

Espera-se que projetos de mitigação de GEE com TIRs acima das TIRs de *benchmark* atraiam investidores de mercado; por outro lado, projetos com TIRs abaixo das TIRs de *benchmark* provavelmente precisarão de incentivos adicionais, tais como créditos de carbono ou outros mecanismos, para atrair financiamento privado. O nível de tais incentivos é interpretado como o preço de equilíbrio de carbono porque representa o tamanho do incentivo que igualará os benefícios e custos para atingir a TIR de *benchmark* necessária. Se o preço de equilíbrio de

¹⁰⁶ É importante perceber que, na prática, certas opções de mitigação propostas são componentes de projetos e não podem ser financiadas separadamente; portanto, para essas opções, foram utilizadas as TIRs dos projetos gerais.

carbono para uma opção de mitigação de GEE for negativo, a implementação dessa medida já é, em sua maior parte, atraente, e sua TIR, na maioria dos casos, é ainda maior do que a TIR de *benchmark* do setor, não sendo necessário incentivo algum. Entretanto, se o preço de equilíbrio de carbono for positivo, a opção não é atraente e não pode gerar a TIR de *benchmark* necessária sem incentivos.

É interessante notar que, para certas opções de mitigação, o valor do Custo Marginal de Abatimento (CMA), que usa a taxa de desconto social de 8%, foi menor do que zero; mas o preço de equilíbrio de carbono, que usa taxas de desconto do setor privado, tais como a TIR de *benchmark* indicador, foi positivo (ex.: cogeração da cana-de-açúcar, substituição de combustível por gás natural, iluminação e motores elétricos ou GTL). Opções correspondentes, que pareciam economicamente atraentes em uma abordagem social, não são mais atraentes ao se utilizar uma abordagem do setor privado. Outras opções de mitigação, já consideradas caras quando avaliadas com as taxas de desconto social, teriam custos ainda mais altos quando avaliadas do ponto de vista do setor privado (ex.: opções de mitigação de resíduos, trem-bala ou metrô implementado pelo setor privado).

Muitas opções de mitigação com CMAs negativos não exigiriam incentivos do ponto de vista do setor privado (ex.: a maioria das opções de conservação de energia na indústria). Essas opções gerariam tamanha economia de energia que a implementação, mesmo do ponto de vista do setor privado, seria considerada uma situação positiva para ambos os lados. Nesses casos, as normas obrigatórias podem ser uma opção para colher frutos tão acessíveis.

Obviamente, nem todas as opções de mitigação seriam trabalhadas somente do ponto de vista do setor privado; de outra forma, incentivos governamentais podem ser oferecidos por outros motivos, além das reduções de emissões de GEE. Mesmo assim, essa perspectiva é válida para demonstrar os melhores destinos para incentivos, ou onde eles são mais necessários, e onde outras ferramentas, como regulamentações e normas, podem ser mais apropriadas do que o financiamento de carbono.

Em teoria, toda medida cujo preço de equilíbrio de carbono fique abaixo do preço de mercado do carbono seria implementada como resultado da ação das forças de mercado; o potencial cumulativo correspondente de redução de emissões estaria diretamente no eixo horizontal, à esquerda do ponto onde o preço do carbono cruza a curva (Figura 7.2a-c). Entretanto, como mencionado acima, o incentivo econômico correspondente não viria necessariamente na forma de receita de carbono através da venda de créditos de carbonos; outros incentivos poderiam ser usados, tais como condições de financiamento ou créditos tributários. Uma estimativa do volume total de incentivos necessários para o período coberto pelo estudo chegaria a US\$ 445 bilhões, ou US\$21 bilhões por ano, em média. Quanto às opções de mitigação no setor de transportes, essas exigiriam o maior valor de incentivos anuais médios, de cerca de \$9 bilhões, seguidas pelo setor de energia, de \$7 bilhões e LULUCF, de \$2,2 bilhões (Tabela 7.2b). Praticamente todas as opções de mitigação exigiriam incentivos financeiros, com exceção das medidas de eficiência energética.



Tabela 7.2.a: Comparação entre os Custos Marginais de Abatimento (calculados com taxa de desconto social de 8%) e os Preços de Equilíbrio de Carbono para Diversas Opções de Mitigação e Remoção (calculados com as taxas de retorno privadas de referência nos Setores)

Mitigation option	Abatement cost (US\$/tCO₂) (8% social discount rate)	Carbon incentive-incremental approach (US\$/tCO₂)	Benchmark IRR (%)
Iluminação residencial	(120)	(243)	15
Sistemas de recuperação de vapor	(97)	(228)	15
Sistema de recuperação de calor	(92)	(220)	15
Iluminação industrial	(65)	(173)	15
Energia térmica solar	(55)	(123)	15
Otimização da combustão	(44)	(104)	15
Reciclagem	(35)	(91)	15
Sistema de recuperação de calor de fornalha	(26)	(41)	15
Outras medidas de eficiência energética	(14)	(22)	15
Plantio direto aumentado	(0)	0	8
Otimização do trânsito	(2)	4	15
Desmatamento evitado + pecuária	(0)	6	10
Destrução de metano em aterro	3	7	12
Cogeração de cana de açúcar	(105)	8	18
Gás natural substituindo outros combustíveis	(20)	10	15
Reflorestamento	39	12	10
Etanol substituindo gasolina no mercado doméstico	(8)	24	15
Investimento em ciclovias	1	25	15
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (res. e com.)	10	33	12
Gás para Líquido (GTL)	(2)	34	25
Exportação de etanol substitui a gasolina no exterior	2	48	15
Motores elétricos	(50)	72	15
Refinarias existentes (integração energética)	7	75	15
Energia eólica	(8)	93	10
Carvão renovável substituindo carvão não renovável	21	95	15
Investimento em ferrovias e hidrovias versus rodovias	29	97	17
Novas refinarias	19	106	15
Iluminação comercial	(52)	122	15
Novos processos industriais	2	174	15
Refinarias existentes (controle de incrustação)	73	209	15
Linha de transmissão Brasil-Venezuela	(31)	216	15
Refrigeradores (MEPS)	(41)	223	15
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (ind.)	103	251	12
Investimento em metro	106	371	17
Refinarias existentes (controles avançados)	95	431	15
Aquecimento solar (residencial)	4	698	15
Trem-bala (São Paulo e Rio de Janeiro)	400	7.787	19

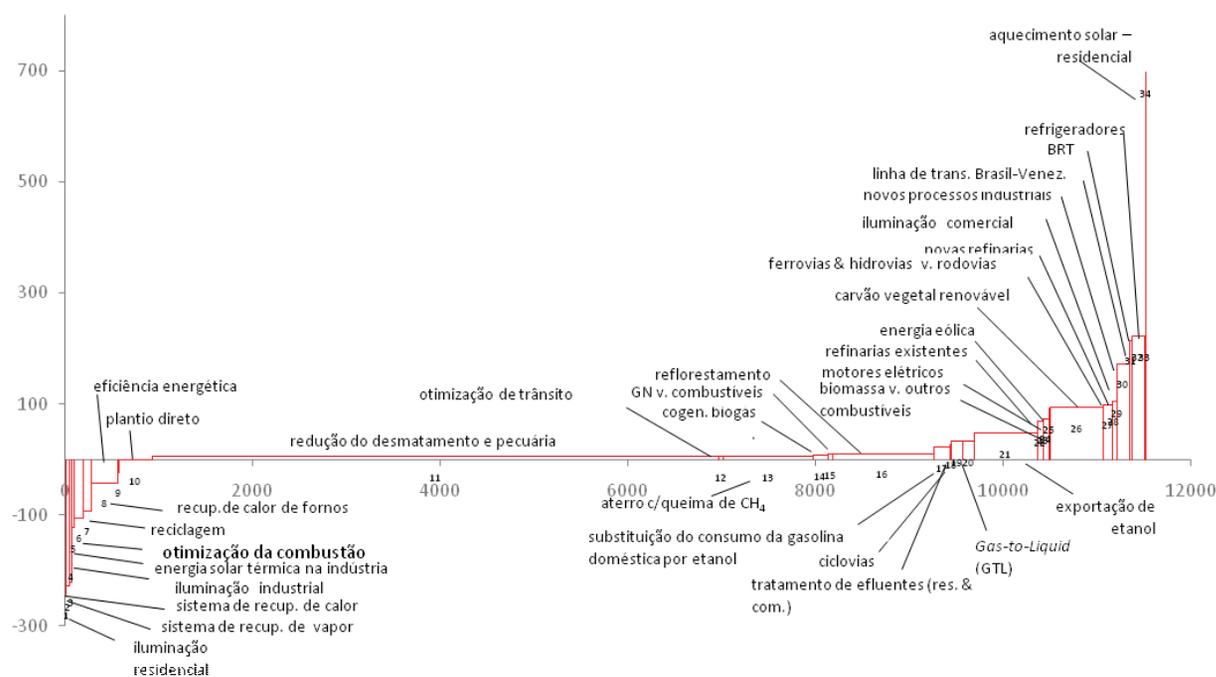
Tabela 7.2b: Volume de incentivos necessários (não descontados) para o período 2010-2030

	Emissões Evitadas (MtCO ₂ e)	Total Incentivos Necessários (US\$MM)	Incentivos Necessários Anuais (US\$MM)
Energia	1.721	142.892	6.804
Transportes	487	185.018	8.810
Resíduos	1.317	70.256	3.346
LULUCF	7.481	46.769	2.227
Total	11.006	444.935	21.187

Vários mecanismos de financiamento já existentes poderiam ser usados para financiar algumas das atividades de mitigação propostas no Cenário de Baixo Carbono. Por outro lado, são poucos os que visam especificamente atividades relacionadas a mudanças climáticas; ainda, a disponibilidade, alcance e configuração de tais mecanismos podem ser limitados. O Capítulo 9 explica em detalhe os mecanismos de financiamento já existentes nos diversos setores.

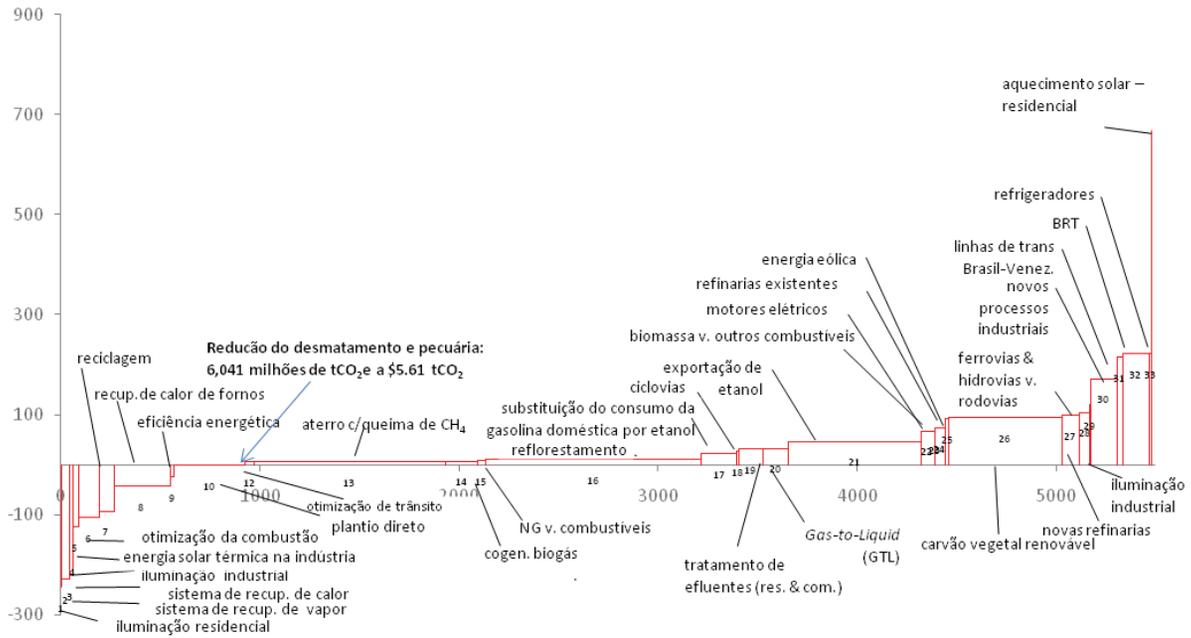
Da mesma forma que a curva CMA, a forma da curva dos preços de equilíbrio do carbono é determinada em grande parte pelo enorme potencial de redução de emissões do desmatamento. Por esse motivo, é preciso tomar um cuidado especial no cálculo do CMA e do preço de equilíbrio do carbono para esta opções de mitigação. A subseção 7.1.3 descreve em detalhes as hipóteses de avaliação de custo e os métodos utilizados.

Figura 7.2a: Preço de Equilíbrio do Carbono¹⁰⁷ para Medidas de Mitigação e Remoção de carbono com CMAs abaixo de US\$50/tCO₂e



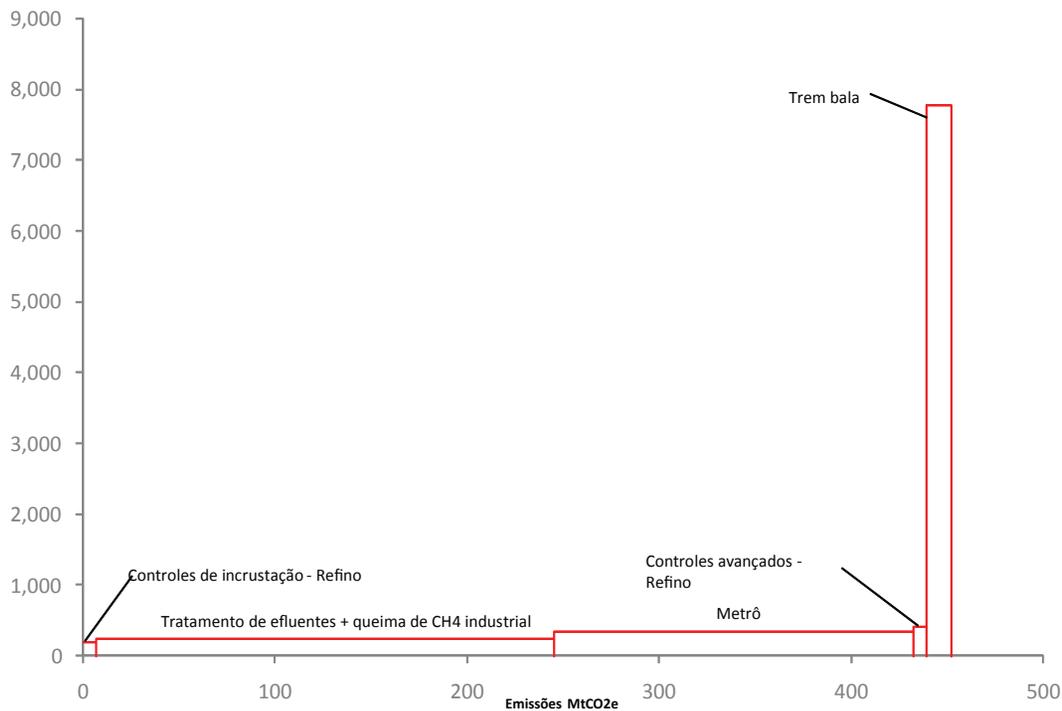
107 Em inglês: Break-even Carbon Price

Figura 7.2b: Preço de Equilíbrio do Carbono para Medidas de Mitigação e Remoção de carbono com CMAs abaixo de US\$50/tCO₂e (Excluindo Redução do Desmatamento e Reflorestamento)



Nota: Um preço de equilíbrio de carbono negativo significa que não é necessário nenhum incentivo de carbono para a opção considerada ser atraente no ponto de vista do setor privado.

Figura 7.2c: Preço de Equilíbrio do Carbono para Medidas de Mitigação e Remoção de carbono com CMAs acima de US\$50/tCO₂e (Excluindo Redução do Desmatamento e Reflorestamento)



7.1.3 Custos da Redução de Emissões do Desmatamento

As duas maiores opções de mitigação e remoção de carbono de emissões identificadas neste estudo são (i) reduzir o desmatamento, estimado em 9,8 GtCO₂ e no período de 2010–30 e (ii) remoção de carbono através do restauro de reservas florestais legais, estimado em cerca de 1,0 GtCO₂ e no mesmo período.

As subseções a seguir analisam os custos da transição de um Cenário de Referência LULUCF para o Cenário de Baixo Carbono proposto, para colher o potencial dessas duas grandes medidas de mitigação e remoção.¹⁰⁸

7.1.3.a Reduzindo o Desmatamento

Para quantificar os custos envolvidos em evitar o desmatamento, as duas principais medidas foram analisadas em termos de necessidades de investimento e financiamento. As medidas são (Capítulos 2 e 3):

- **Melhorar a produtividade pecuária** para liberar terras necessárias para outras atividades. Estima-se que essa medida levaria a uma redução de 70% no desmatamento, caindo de uma média anual de 19.500 km² para aproximadamente 4.780 km² por ano (números ligeiramente abaixo da meta governamental de 5.000 km²);
- **Preservar florestas.** Esse conjunto de medidas complementares visa preservar a floresta onde o desmatamento for ilegal.¹⁰⁹

7.1.3.a Aperfeiçoando a Produtividade Pecuária

A produção pecuária é obtida através de quatro categorias de sistemas de produção: dois de baixa produtividade (pasto degradado e extenso) e dois de alta produtividade (confinamento de gado e lavoura-pecuária mista). No Cenário de Referência, os pastos degradados e extensos são responsáveis por mais de 90% da terra usada para atividades pecuárias. No Cenário de Baixo Carbono, esses sistemas de baixa produtividade são substituídos gradativamente pelos sistemas de confinamento de gado na engorda e lavoura-pecuária mista, até que esses sistemas de alta produtividade alcancem aproximadamente 60% do total da terra necessária para a produção pecuária em 2030. A parcela maior de produção de carne nos sistemas de alta produtividade reduziria a necessidade de pasto, resultando em terra liberada para outros usos. Por sua vez, isso reduziria a pressão sobre as florestas, resultando em menores emissões de GEE.

Como mencionado no Capítulo 3 (Tabela 3.4), 70,4 milhões de hectares de terra adicional seriam disponibilizados: 16,8 milhões de hectares para cultivo, florestas de produção e expansão de pasto no Cenário de Referência e 53,4 milhões de hectares para novas atividades de mitigação e remoção de carbono no Cenário de Baixo Carbono (44,3 milhões de hectares para o restauro do passivo ambiental no que diz respeito às reservas de florestas legais, 6,4 milhões de hectares para produção adicional de etanol, e 2,7 milhões de hectares para florestas de produção).

Comparados com os sistemas de baixa produtividade, os sistemas de alta produtividade

108 Maiores detalhes no relatório técnico LULUCF e nos relatórios de consultorias sobre tópicos relacionados.

109 Não seriam computadas nesta análise outras medidas para evitar o desmatamento onde ainda fosse legalmente possível. Entre as medidas atualmente em discussão, tanto no Brasil quanto internacionalmente, incluem-se os incentivos financeiros, às vezes denominados pagamentos por serviços ambientais, oferecidos aos agentes econômicos para compensar os custos de oportunidade do cancelamento dos direitos ao desmatamento.

exigem volumes significativamente maiores de recursos financeiros para investimento e gastos, e oferecem retorno maior. Em termos de custos de produção no período 2010-30, a recuperação do pasto degradado através da adoção do sistema lavoura-pecuária exigiria um investimento adicional de R\$2.925 por hectare (US\$1.330 por hectare), assim como outros R\$21.300 por hectare (US\$9.682 por hectare) para cobrir os gastos. A adoção do sistema de confinamento de gado no mesmo período exigiria R\$1.144 por hectare (US\$520 por hectare) de investimentos adicionais e R\$4.869 por hectare (US\$2.213 por hectare) para gastos adicionais (Tabela 7.3).

Tabela 7.3: Investimento e Gastos para Sistemas Pecuários Prototípicos (2009-30)

Sistema de Produção	R\$ bruto por hectare*			R\$ adicional por hectare*		
	Investimento	Gastos	Total	Investimento	Gastos	Total
Pasto degradado	2.124	2.594	4.717	-	-	-
Pasto extenso	2.775	4.644	7.419	651	2,051	2,702
Confinamento do gado	3.267	7.463	10.730	1.144	4.869	6.013
Lavoura-pecuária	5.049	23.894	28.943	2.925	21.300	24.225

* O câmbio é R\$2,20 = 1US\$.

Com base nos preços relativos considerados, os sistemas de alta produtividade (confinamento do gado na engorda e lavoura-pecuária) geram TIRs dramaticamente mais altas (7,50% e 15,47%, respectivamente) do que aquelas dos sistemas de baixa produtividade (pasto degradado e extenso) (Tabela 7.4).

Tabela 7.4: Desempenho Econômico e Financeiro dos Sistemas Pecuários Prototípicos (2009-30)

Sistema	VPL* (R\$ por hectare)	TIR (%)
Pasto degradado	(1.857)	NC**
Pasto extenso	(1.128)	0,56
Confinamento do gado	(95)	7,50
Lavoura-pecuária	1.953	15,47

* Baseado em uma taxa de desconto social de 8%.

** NC = valor suficientemente negativo não-calculável.

Como resultado, a economia dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono é bastante diferente. O custo por hectare no Cenário de Baixo Carbono é muito mais alto do que o do Cenário de Referência. No período de 2010-30; a diferença de custo por hectare ficaria em média em R\$3.139 (Tabela 7.5).

Tabela 7.5: Investimentos e Gastos nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono

Cenário	Gasto total de investimento (R\$ bruto por hectare)			Gasto total de investimento (R\$ adicional por hectare)		
	Investimento	Gastos	Total	Investimento	Gastos	Total
Referência	2.688	5.020	7.708	2.688	5.020	7.708
Baixo Carbono	2.996	7.849	10.845	308	2.829	3.137

Fonte: EMBRAPA

O desempenho econômico do setor de pecuária é bem melhor no Cenário de Baixo Carbono do que no Cenário de Referência. Utilizando uma taxa de desconto social de 8% o VPL geral do investimento e os fluxos de caixa correspondentes do Cenário de Referência no período de 2010-30 resultam em -\$R18 bilhões (US\$8 bilhões). Em comparação, o valor presente líquido do Cenário de Baixo Carbono resulta em R\$14 bilhões (US\$6.5 bilhões). Comparado com o Cenário de Referência, a TIR média para o setor de pecuária no Cenário de Baixo Carbono aumenta de um valor negativo¹¹⁰ para 11,24% (Tabela 7.6). É importante observar que o VPL e a TIR calculados aqui referem-se simplesmente aos novos investimentos feitos a partir de 2010 em ambos os cenários. Não foram considerados nem os investimentos realizados antes dessa data, nem as despesas e receitas relacionadas.

Tabela 7.6: Desempenho Econômico e Financeiro Comparativo do Setor de Pecuária

<i>Cenário</i>	<i>VPL (2010–30) (R\$ bilhões)</i>	<i>TIR (%)</i>
Referência	(17,782)	NC*
Baixo Carbono	14,335	11,24

*NC = valor suficientemente negativo não-calculável.

Essas diferenças em economia são acompanhadas por diferenças no desempenho ambiental: o Cenário de Baixo Carbono para LULUCF não exige terras adicionais para uso de terra, e portanto não contribui para o desmatamento, e por sua vez, suas emissões associadas de GEE.

7.1.3.a.ii Proteção Florestal

Embora o Cenário de Baixo Carbono para uso de terra ofereça soluções para levar a virtualmente zero a necessidade por terra adicional, espera-se que sejam necessárias medidas complementares de proteção florestal, por dois grandes motivos. Em primeiro lugar, o limite legal para desmatamento (até 20% das propriedades localizadas na região Amazônica) ainda não foi alcançado. Assim, nos lugares onde a dinâmica complexa de desmatamento for motivada pelo valor financeiro da madeira ou da terra limpa (junto com a necessidade de terra para cultivo, pasto, e plantações de produção), o desmatamento continuaria. Em segundo lugar, pode haver uma demora significativa entre o tempo de redução de demanda por terras para cultivo, pasto ou florestas de produção e o tempo em que será possível observar efetivamente uma mudança comportamental entre os agentes de desmatamento na fronteira (ou seja, eles podem continuar a especular sobre a demanda que já secou rio acima na cadeia de mercado de terra).

Assim, o Cenário de Baixo Carbono propõe implementar medidas adicionais de proteção florestal em áreas de mata onde o o desmatamento for ilegal. Considerando os vários programas em andamento e a ampla literatura disponível sobre esse tópico, incluindo o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM), este estudo limitou-se a analisar as propostas existentes (Capítulo 3).

Apresentamos aqui, em ordem de magnitude, os resultados de uma análise preliminar dos custos adicionais que podem advir da necessidade de atividades adicionais de proteção florestal. Eles visam garantir que o potencial pleno de redução de desmatamento seja alcançado através da liberação de terra de pasto e ganhos de produtividade pecuária, como proposto no Cenário de Baixo Carbono.

¹¹⁰ A apropriação ilegal de terras para fins especulativos pode explicar a razão pela qual uma atividade aparentemente não atraente do ponto de vista econômico continue a acontecer. A questão do título da terra, que o programa “Terra Legal” visa abordar, não coube dentro do escopo deste estudo.

Para analisar os custos e gastos de investimento para o manejo e a aplicação da proteção das unidades de conservação onde o desmatamento é ilegal, o estudo utilizou a ferramenta de Investimento Mínimo de Conservação (IMC), desenvolvida pelo Grupo de Trabalho sobre a Sustentabilidade Financeira do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), criado pelo Ministério do Meio Ambiente.¹¹¹ Usando a ferramenta IMC, o estudo avaliou os custos associados às quatro atividades de proteção ao longo do período de 2010 a 2030: (i) proteção das reservas indígenas, (ii) proteção das unidades de conservação, (iii) controle ao longo da malha rodoviária e (iv) monitoramento por sensoriamento remoto. Essas atividades têm o objetivo de evitar a intrusão e o desmatamento dessas áreas, bem como proibir o transporte de produtos oriundos do desmatamento ilegal. Durante o período, os custos da proteção deverão totalizar US\$24 bilhões, ou \$1,14 bilhão por ano, em média (Tabela 7.7).

Tabela 7.7: Projeção dos Custos da Proteção das Florestas nas Áreas Onde o Desmatamento é Ilegal (em milhões de US\$)

Ano	Unidades de Conservação		Reservas Indígenas		Controle da Malha Rodoviária		Monitoramento por Sensoriamento Remoto	Custo Anual Total
	Investimento	Despesa	Investimento	Despesa	Investimento	Despesa		
2010	516	430	1.680	372	112	93	1	3.205
2011	0	430	43	381	0	93	1	949
2012	0	430	43	391	0	93	1	958
2013	0	430	43	400	0	93	1	968
2014	0	430	43	410	0	93	1	977
2015	0	430	43	419	0	93	1	987
2016	0	430	43	429	0	93	1	996
2017	0	430	43	438	0	93	1	1.006
2018	0	430	43	448	0	93	1	1.015
2019	0	430	43	457	0	93	1	1.025
2020	0	430	43	467	0	93	1	1.034
2021	0	430	43	476	0	93	1	1.044
2022	0	430	43	486	0	93	1	1.053
2023	0	430	43	495	0	93	1	1.063
2024	0	430	43	505	0	93	1	1.072
2025	0	430	43	514	0	93	1	1.082
2026	0	430	43	523	0	93	1	1.091
2027	0	430	43	533	0	93	1	1.101
2028	0	430	43	542	0	93	1	1.110
2029	0	430	43	552	0	93	1	1.120
2030	0	430	43	561	0	93	1	1.129
Total	516	9.035	2.539	9.797	112	1.963	21	23.983

¹¹¹ A ferramenta IMC (Investimento Mínimo de Conservação) baseia-se no módulo financeiro do Sistema Mínimo de Conservação (*Minimum Conservation System - MICOSYS*), desenvolvido por D. Vreugdenhill; ver D. Vreugdenhill, "MICOSYS, Aplicação Honduras 'National Parks Model'", Planilha de Avaliação em MS Excel, preparada para o PPROBAP, Projeto COHDEFOR/PNUD/Banco Mundial/GEF (2002).

É preciso enfatizar que as opções de mitigação consideradas de acordo com o Cenário de Baixo Carbono não incluem medidas adicionais para evitar o desmatamento nas áreas em que este ainda é legalmente permitido. A elaboração e a quantificação dessas propostas estavam além do escopo que poderia ser realizado como parte do presente estudo. Caso fossem acrescentadas essas medidas adicionais, como, por exemplo, pagamentos para compensar proprietários de terras pelo cancelamento de seus direitos ao desmatamento, teriam que ser integrados à conta outros custos e benefícios, o que muito provavelmente resultaria em custos marginais de abatimento mais altos.

7.1.3.a.iii Calculando o Custo Marginal de Abatimento do Ponto de Vista Social

São necessários três cálculos para determinar o CMA. O primeiro cálculo é o custo incremental ano-após-ano do Cenário de Baixo Carbono para a pecuária em relação ao Cenário de Referência (diferencial anual entre os resultados líquidos dos dois cenários). Em seguida, os custos incrementais para cada ano são calculados em valores atualizados para 2009, usando uma taxa de desconto social de 8%. Finalmente, é calculada a média ponderada pelo volume anual de redução de emissões do desmatamento no Cenário de Baixo Carbono em relação ao Cenário de Referência. Este volume de emissões corresponde à área desmatada no Cenário de Referência equivalente à área de pastagem liberada no Cenário de Baixo Carbono para a expansão das outras atividades.

Como já foi mencionado, a proporção dos sistemas de mais alta produtividade é maior no Cenário de Baixo Carbono do que no Cenário de Referência, o que resulta em um VPL positivo dos resultados incrementais de R\$14,3 bilhões, *versus* um VPL negativo de -\$18 bilhões no Cenário de Referência. A TIR geral para o Cenário de Baixo Carbono é de 11,24%, calculada com base nos custos incrementais da implementação e expansão dos sistemas de alta produtividade (com maiores custos) e os retornos relacionados a eles.

O resultado do cálculo indica um custo marginal negativo de US\$2,5 por tCO₂ evitado. Isso sugere que a adoção de sistemas mais produtivos, *versus* sistemas existentes e predominantes de pastos extensos e degradados, deveria produzir ganhos econômicos para o setor da carne, além de mitigar os GEEs. Enquanto os ganhos de produtividade projetados no Cenário de Baixo Carbono quase que certamente teriam resultados econômicos positivos, essa análise inicial de um “ponto de vista social” pode ser enganosa para aqueles que querem levar em conta os custos reais de fazer com que os criadores de gado adotem estes sistemas mais produtivos. Na realidade, as conclusões são extremamente diferentes quando percebidas através de um ponto de vista do setor privado, como demonstrado pelos resultados preliminares a seguir, relativos ao preço de equilíbrio do carbono (Seção 7.1.3.a.iv). Quando são incluídos os custos da proteção das florestas no período de 2010-2030 – US\$24 bilhões – o CMA sobe para –US\$0,48 por tCO₂ evitada.

7.1.3.a.iv Calculando o Preço de Equilíbrio do Carbono do Ponto de Vista do Setor Privado

Fazer a transição de sistemas predominantes de baixa produtividade, especificamente para sistemas de confinamento de gado e de lavoura-pecuária, exigiria altos níveis de investimentos e operações, além de gastos de manutenção de mais de US\$430 bilhões no período de 2010-30 ou de US\$22 bilhões por ano. Embora o Cenário de Baixo Carbono resulte em uma TIR de



11,24%, estes sistemas de produção mais eficientes – especialmente o sistema de confinamento de gado, com uma TIR de 7,5% – podem não trazer remuneração suficiente para que sejam implementados em escala significativa em um primeiro momento.

Assim, no caso da produção pecuária, seria especialmente importante complementar uma análise econômica do ponto de vista social (ex.: taxa de desconto social) com uma análise do ponto de vista do setor privado. A principal justificativa é a seguinte: enquanto o ponto de vista social não oscila entre o Cenário de Referência e o Cenário de Baixo Carbono, o ponto de vista do setor privado muda dramaticamente porque o setor pecuário do Brasil tem acesso limitado a financiamento bancário e depende muito de seus próprios recursos capitais para investir em tecnologias relacionadas à pecuária. A produtividade de sistemas pecuários mais tradicionais, que frequentemente produzem retornos de apenas 0,5% ou menos, geralmente é insuficiente para custear o crédito bancário.

Promover a transição de sistemas de produtividade mais baixa para sistemas de produtividade mais alta poderia contribuir para aumentar a taxa de retorno para esses negócios. Entretanto, a adoção de sistemas de alta produtividade pressupõe investimentos substancialmente maiores, que exigem acesso ao crédito bancário. Assim sendo, a taxa de retorno para esses negócios deve ser no mínimo igual ao custo de crédito mais o lucro esperado, para oferecer incentivos adequados aos criadores de gado. Assim, as TIRs têm que ser muito maiores no Cenário de Baixo Carbono do que no Cenário de Referência.

A soma total da taxa de retorno esperada, mais custos de financiamento (ex.: a taxa de juros de longo prazo [TJLP] + porcentagem de spread ~ 10%+) geralmente é maior do que as taxas de retorno que certos modos produtivos recomendados para o Cenário de Baixo Carbono podem alcançar (ex.: cerca de 0,56% para sistemas extensos, 7,5% para sistemas de confinamento de gado).

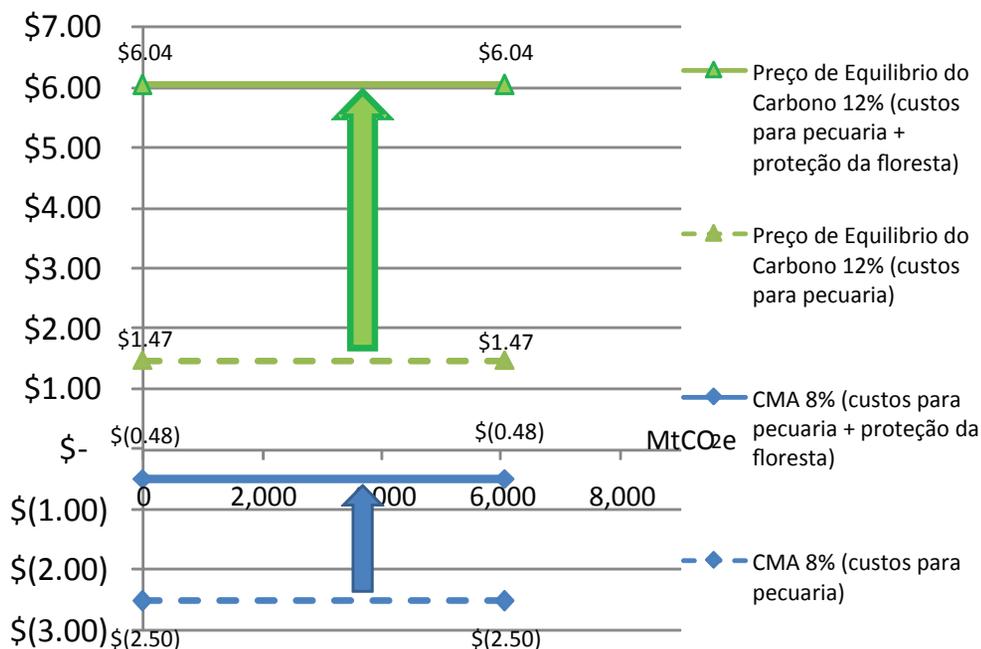
A abordagem social não explica porque sistemas de alta produtividade precisariam de incentivos substanciais para operar, enquanto sistemas produtores tradicionais, que produzem um lucro menor, tenderiam a se expandir por conta própria. O que à primeira vista parece uma situação boa para ambos os lados – menos terra necessária, portanto, menor pressão para desmatar florestas e expandir a fronteira agricultora por um lado, e um desempenho biológico e econômico melhor para o criador de gado, por outro lado – pode não ser uma imagem precisa.

Em resumo, as TIRs esperadas ou as taxas de desconto privado relacionadas à criação de gado no Cenário de Referência são baixas (perto de 0,5%), enquanto aquelas consideradas no Cenário de Baixo Carbono são significativamente maiores (pelo menos 10-12%). Se empréstimos bancários, que se beneficiam de juros mais baixos (ex.: Banco da Amazônia [5-8,5%] ou BNDES [5,75-6,75%]), são necessários apenas para financiar parte da soma total necessária, pode-se considerar que, no Cenário de Baixo Carbono, o produtor teria que alcançar uma TIR média de pelo menos 10%, que é um valor bastante conservador. Esse estudo usou essa TIR de *benchmark* para produzir uma estimativa inicial dos incentivos de que um Cenário de Baixo Carbono precisaria para gerar ganhos substanciais de produtividade no setor pecuário, resultando na liberação da terra de pasto necessária para acomodar as atividades alternativas crescentes sem induzir pressão nas florestas. Deve-se ressaltar que esse estudo é uma primeira tentativa de se medir o nível de incentivos necessários. Para lidar mais a fundo com a questão, claramente são necessários maiores estudos.

Para calcular o preço de equilíbrio do carbono, os únicos custos incrementais considerados foram aqueles associados com a implementação e expansão dos sistemas de alta produtividade. Considerando que o sistema de confinamento de gado na engorda tem uma TIR de 7,5%, que é menor do que a TIR de *benchmark* utilizada neste estudo (12%), o incentivo de equilíbrio de

carbono necessário foi calculado para garantir que esse sistema alcançaria uma TIR igual à taxa de *benchmark*. O cálculo indica que esse incentivo deveria ser de aproximadamente US\$1,47 por tCO₂e, ou de aproximadamente US\$9 bilhões no período de 2010-2030, para evitar 6GtCO₂e e garantir uma TIR de 12 por cento. Quando os custos da proteção das florestas no mesmo período são levados em consideração – US\$24 bilhões – o incentivo para implementar a estratégia geral para reduzir o desmatamento em cerca de 80% em relação às taxas históricas observadas sobe para US\$6 por tCO₂e ou US\$36,5 bilhões para evitar 6 GtCO₂e (Figura 7.3). Se adotarmos uma TIR mais alta, de 15%, os incentivos de equilíbrio de carbono seriam de \$1,88, e \$6,64 incluindo os custos de proteção florestal.

Figura 7.3: Custo Marginal de Abatimento (taxa de desconto social de 8%) e Preço de Equilíbrio do Carbono (considerando uma TIR de 12%) para Medidas para Reduzir o Desmatamento



7.1.3.a.v Exigências de Financiamento

Para implementar os sistemas de alta produtividade de produção pecuária no Cenário de Baixo Carbono, o financiamento necessário de investimentos, operações e manutenção alcançaria um total de R\$946 bilhões (US\$430 bilhões) no período de 2010–30, com investimentos representando aproximadamente 30% dos gastos totais, ou cerca de US\$21,5 bilhões por ano (Tabela 7.8). No Cenário de Referência, seria necessária uma quantia menor, uma vez que esses sistemas de alta produtividade devem se expandir em escala bem mais limitada nesse cenário. A liberação de mais 70,9 milhões de hectares no Cenário de Baixo Carbono exigiria mais R\$720 bilhões (US\$327 bilhões) no financiamento de sistemas de alta produtividade. Isso representaria cerca de US\$16 bilhões em custos anuais adicionais, equivalente a 72% do valor bruto da produção de carne em 2008.¹¹² Como ponto de referência, o financiamento do governo

112 O valor bruto da produção de carne em 2008 (baseado nos números para abril de 2008 pelo IGP-DI) foi estimado pela Confederação Brasileira de Agricultura e Pecuária (CNA) em R\$49,59 bilhões (veja *Indicadores rurais XI* (90 [Set.-Out.]):6.

brasileiro para o setor em 2007 foi de US\$3 bilhões ou aproximadamente 10% do investimento anual estimado exigido pelo Cenário de Referência em 2010 (US\$32,5 bilhões).

As exigências de financiamento seriam significativamente menores se o Cenário de Baixo Carbono não incorporasse medidas de mitigação e remoção de carbono que exigem terras adicionais além da expansão da terra de agricultura no Cenário de Referência (remoção de carbono de floresta legal, etanol para consumo nacional aumentado e para exportação, e florestas de produção para a indústria de ferro e aço). No Cenário de Referência, a terra adicional para produção de agricultura e pecuária é de 16,8 milhões de hectares, menos de um terço do volume total de terra liberado no Cenário de Baixo Carbono (através de sistemas de alta produtividade de produção pecuária para acomodar tanto a expansão do plantio quanto todas as medidas consideradas) (Tabela 3.4). Sem as atividades adicionais de mitigação e remoção de carbono, o financiamento necessário no Cenário de Baixo Carbono para que a produção pecuária melhorada libere terras para expansão do plantio chegaria a US\$238 bilhões – US\$108 bilhões a mais do que no Cenário de Referência – e US\$262 bilhões quando se acrescentam os custos estimados da proteção florestal.

Tabela 7.8: Investimentos e Gastos do Setor Pecuário para Liberar Terra e Absorver Terras Adicionais Necessárias nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (2010–30)

Cenário	Área de Pasto liberada (milhões de hectares)	Investimentos cumulativos em sistemas de confinamento de gado e lavoura-pecuária (bilhões de R\$)	Gastos cumulativos em sistemas de confinamento de gado e lavoura-pecuária (bilhões de R\$)	Investimento total em sistemas de confinamento de gado e lavoura-pecuária (bilhões de R\$)
Referência	0	92,075	134,351	226,426
Referência (remoção da terra adicional necessária)	16,8*	107,699	356,397	464,095
Baixo carbono	70,4**	225,322	721,124	946,446

* Terras adicionais necessárias para a expansão de plantio, pasto e florestas.

** Remoção da terra adicional necessária para a expansão de plantio, pasto e florestas no Cenário de Referência, além da terra necessária para as opções propostas de mitigação e remoção de carbono no Cenário de Baixo Carbono.

7.1.3.b Restauração Florestal: Reservas Florestais Legais

Os custos de restauração florestal podem ser divididos nos seguintes componentes, que incluem um componente de custo de trabalho:

- *Cercas.* Custos estimados em R\$1.500 a R\$2.000 por hectare;
- *Preparação do solo.* Custos de aragem, adubação, eliminação de ervas invasoras e formigas cortadeiras e abertura de covas para o plantio de mudas; custo total estimado em R\$1.000 e R\$5.000 por hectare;
- *Plantio.* Inclui custos de mudas e trabalho; estimados em R\$1.200 a R\$2.300 por hectare;
- *Manutenção de áreas restauradas.* Inclui limpeza regular de ervas daninhas e adubação de cobertura quando necessário. Esses custos poderiam chegar a 50% dos custos totais.

O custo final por hectare de restauro florestal depende de quanto o ambiente se deteriorou e dos níveis de intervenção necessários para restabelecer a cobertura de vegetação. Quatro níveis de intervenções correspondem a quatro cenários, a seguir:

- *Mínima*: A área a ser restaurada apresenta um elevado potencial de regeneração natural, necessitando apenas ser isolada para o restabelecimento da cobertura vegetal natural;
- *Leve*: É necessário, além do isolamento da área, um plantio de sementes das espécies de árvores que farão parte do restauro florestal;
- *Moderada*: o solo se mostra bem compactado devido a anos de pisoteio do gado, além de completamente colonizado por gramíneas. A intervenção necessária nesse cenário já envolve os custos relacionados ao isolamento, combate às ervas invasoras e formigas e preparo do solo, além do plantio ativo de mudas arbóreas. O terreno seria inteiramente mecanizável, o que contribui para não elevar excessivamente os custos;
- *Grande*: Além das condições descritas acima, o solo está extremamente degradado e erodido, sem possibilidade de mecanização; corresponde ao pior cenário de degradação ecológica, e que tende a continuar em um estado de baixo carbono indefinidamente.

Deve-se ressaltar que os custos de intervenção podem variar consideravelmente, primeiramente devido aos custos do trabalho manual em áreas rurais e à compra de insumos para as máquinas, cujos preços tendem a variar, mesmo dentro do mesmo estado (Figura 7.4). Devido à inabilidade de se espacializar geograficamente os custos de restauro florestal, custos de abatimento e investimento no Cenário da Legalidade foram simulados utilizando o cenário de intervenção moderada. A taxa de remoções de carbono por restauro florestal considerada foi uma média de absorção para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica (98,3 tCO₂ por hectare em 2030).

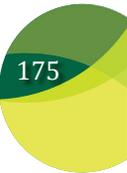
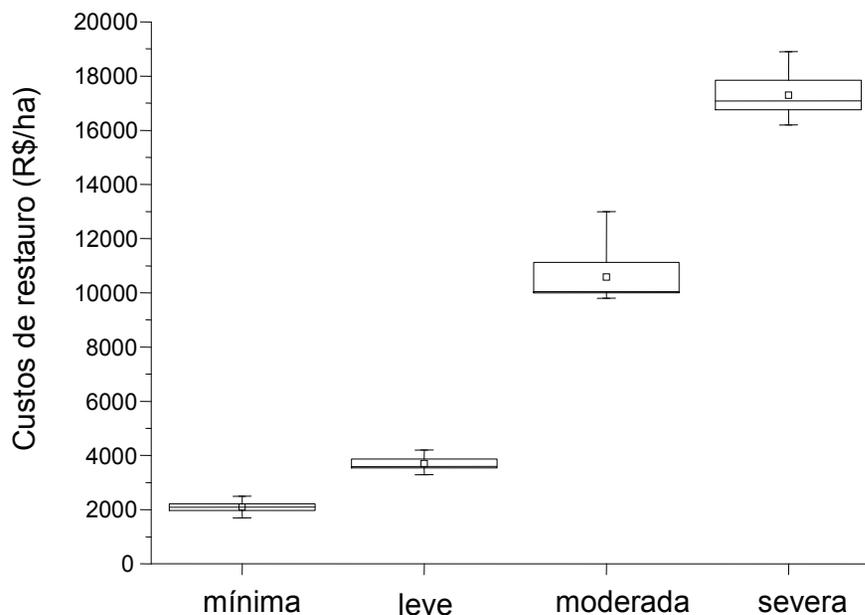


Figura 7.4: Variação dos Custos de Restauro Florestal, por Cenário de Intervenção

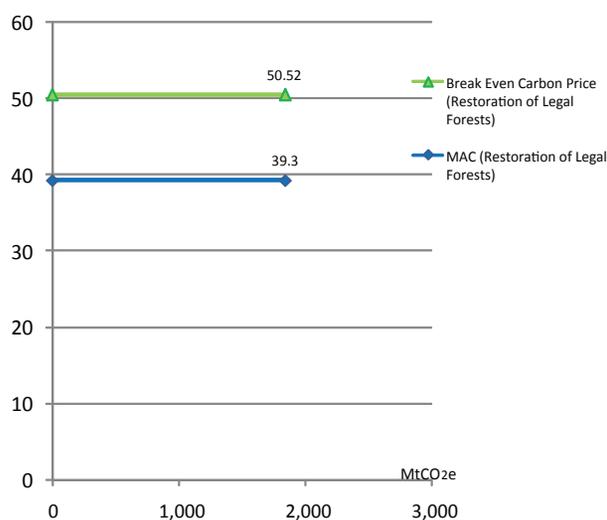


Nota: Os valores são custos médios.

Fontes: Diversos relatórios orçamentários para restauro florestal e literatura especializada.

No Cenário da Legalidade, o custo incremental é igual ao custo de restauro florestal, considerando que esse cenário pressupõe que não ocorrerá atividade econômica alguma nessas áreas. Assim, o custo marginal médio chegaria a US\$39,3 por tCO₂, enquanto o preço de equilíbrio de carbono chegaria a US\$50,52 por tCO₂ (Figura 7.5).

Figura 7.5: CMA e Preço de Equilíbrio de Carbono para Remoção de CO₂ através do Restauro Florestal Legal



Considerando que o volume total de restauro florestal seria de 44 milhões de hectares, o custo total não descontado, baseado no custo marginal mencionado acima, seria de US\$54 bilhões no período de 2010-30. O custo anual médio no período seria de US\$2,7 bilhões.

7.1.4 Internalização dos Benefícios do Desenvolvimento

Garantir a homogeneidade da análise de custo-benefício das opções de mitigação e remoção de carbono através dos setores significou limitá-la a custos e receitas diretos e mensuráveis, omitindo assim co-benefícios significativos que podem ser cruciais na conformação do processo de tomada de decisões. Isso revela-se especialmente importante nos setores onde esses benefícios de desenvolvimento não podem ser facilmente internalizados pelos agentes privados. Nos setores de transportes e de manejo de resíduos, por exemplo, a internalização de benefícios baseia-se em políticas públicas formuladas em vários níveis de governo; assim sendo, é preciso que isso se reflita no cálculo da abordagem social. Ao longo dos anos, verificase progresso significativo na economia pública e várias técnicas foram desenvolvidas para calcular esses benefícios em termos monetários. Onde é possível, esse tipo de quantificação pode modificar significativamente os resultados líquidos da avaliação de custo-benefício das medidas de mitigação propostas, possibilitando assim uma melhor informação do processo público de tomada de decisões.

O presente estudo calculou três categorias de co-benefícios associados às opções de mitigação consideradas para o setor de transportes: (i) economia no tempo de viagem, (ii) redução de acidentes e (iii) redução da poluição local, todas contribuindo para o aprimoramento dos serviços de transportes. Para calcular o tempo de viagem, o estudo recorreu aos dados gerados

pelo Projeto Corredor T5, que envolve BRT implementado na cidade do Rio de Janeiro, de acordo com os quais há um valor médio de tempo de viagem de R\$1,08 (US\$0,5) por passageiro e por hora no caso dos transportes coletivos, e de R\$12,07 (US\$5,5) por passageiro e por hora, quando se considera o transporte individual. No caso do cálculo da redução de acidentes, o estudo utilizou dados gerados por vários projetos financiados pelo Banco Mundial, incluindo os Programas de Descentralização para Sistemas de Trens Urbanos no Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte e Recife. Para calcular a redução da poluição local, o estudo empregou dados gerados pelo estudo denominado “Reduções do Efeito de Escala Negativo Associadas à Melhoria do Transporte Público”, desenvolvido em 1998 e coordenado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e pela Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), que fez uma análise das perdas anuais causadas por ineficiências do transporte público em 10 cidades (Quadro 7.2).

Algo que não é surpreendente é o fato de que os CMAs líquidos de certas opções de mitigação do setor de transportes são significativamente reduzidos, quando são incluídos os benefícios resultantes da melhoria dos transportes. O efeito é especialmente claro no caso do BRT, a principal modificação na área de transportes urbanos proposta no Cenário de Baixo Carbono; nesse caso, o CMA muda de ligeiramente positivo (+0,31 por tCO₂e) para tornar-se nitidamente negativo (-\$24 por tCO₂e). Por outro lado, os co-benefícios do trem de alta velocidade, que poderiam ser internalizados utilizando-se esse método, não são suficientes para compensar o alto CMA monetário relacionado à mudança correspondente de modal (Figura 7.6).

Quadro 7.2: Cálculo de Co-benefícios do Aprimoramento dos Transportes

Para calcular os principais co-benefícios das opções de mitigação consideradas para o setor dos transportes, o presente estudo utilizou os métodos a seguir:

1) Benefícios relacionados à redução de acidentes:

A equação a seguir foi aplicada a cada modo de transporte:

$$RCAcid = ((Pass \times km \text{ NP} - Pass \times km \text{ CP}) \times N \text{ Acid} \times C \text{ Acid} / FP - Of) \times \text{dias/anos}$$

onde:

RCAcid = Redução dos Custos de Acidentes

Pass x km NP = Total de passageiros x km no período de pico no caso da situação sem o projeto (nenhum projeto)

Pass x km CP = Total de passageiros x km no período de pico no caso da situação com o projeto

N Acid = Numero de Acidente por passageiros x km

FP - OF = Fator de pico para Oferta

CAcid = Custo Unitário de Acidente

Dias/ano = Número total de dias equivalentes no ano

2) Benefícios relacionados à redução do tempo de viagem

$$RTV = ((Pass \times \text{horas NP} - Pass \times \text{horas CP}) \times VT / (FP - Dem)) \times \text{Dias/ano}$$

onde:

RTV = Redução do Tempo de Viagem

Pass x km NP = Total de passageiros x km no período de pico no caso da situação sem o projeto (nenhum projeto)

Pass x km CP = Total de passageiros x km no período de pico no caso da situação com o projeto

VT = Valor do tempo

FP - Dem = Fator de Pico para a Demanda

Dias/ano = Número total de dias equivalentes no ano

3) Benefícios relacionados à redução da poluição local

$$RPoluição = ((Veíc \times km \text{ NP} - Veíc \times km \text{ CP}) \times CUPoluição / (FP - Dem)) \times \text{Dias/ano}$$

onde:

RPoluição = Redução de despesas com saúde relacionadas à poluição.

Veíc x km NP = Total de veículos x km no período de pico no caso da situação sem o projeto (nenhum projeto)

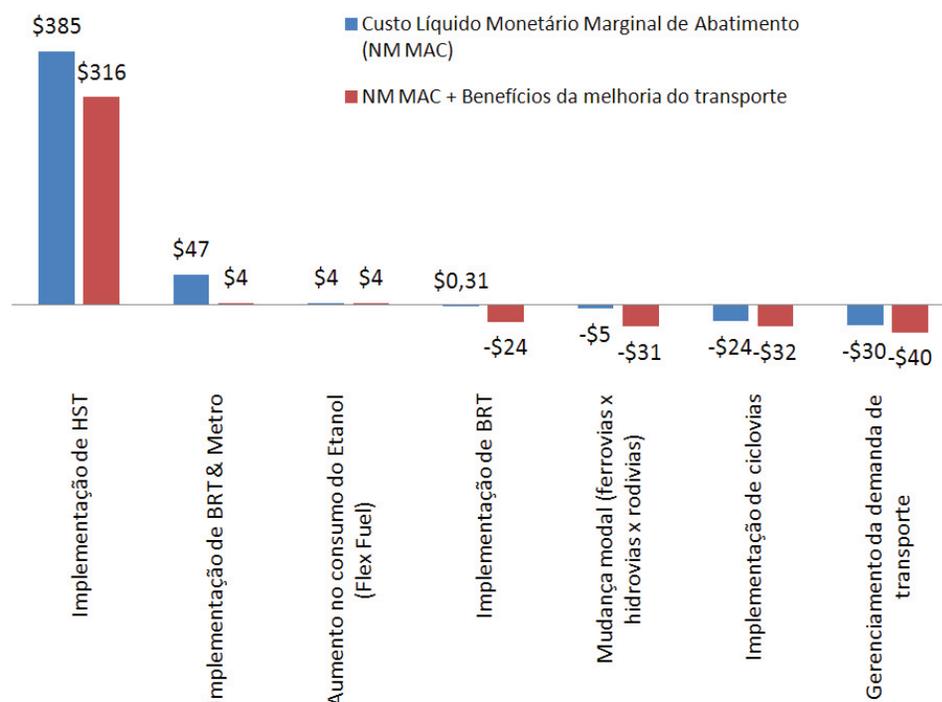
Veíc x km CP = Total de veículos x km no período de pico no caso da situação com o projeto

CUPoluição = Custo Unitário com saúde relacionado à poluição gerada pelos veículos

FP - Dem = Fator de Pico para a Demanda

Dias/ano = Número total de dias equivalentes no ano

Figura 7.6: Efeito dos Benefícios da Melhoria dos Transportes sobre o CMA



7.1.5 Análise de Sensibilidade em relação às Variações dos Preços do Petróleo

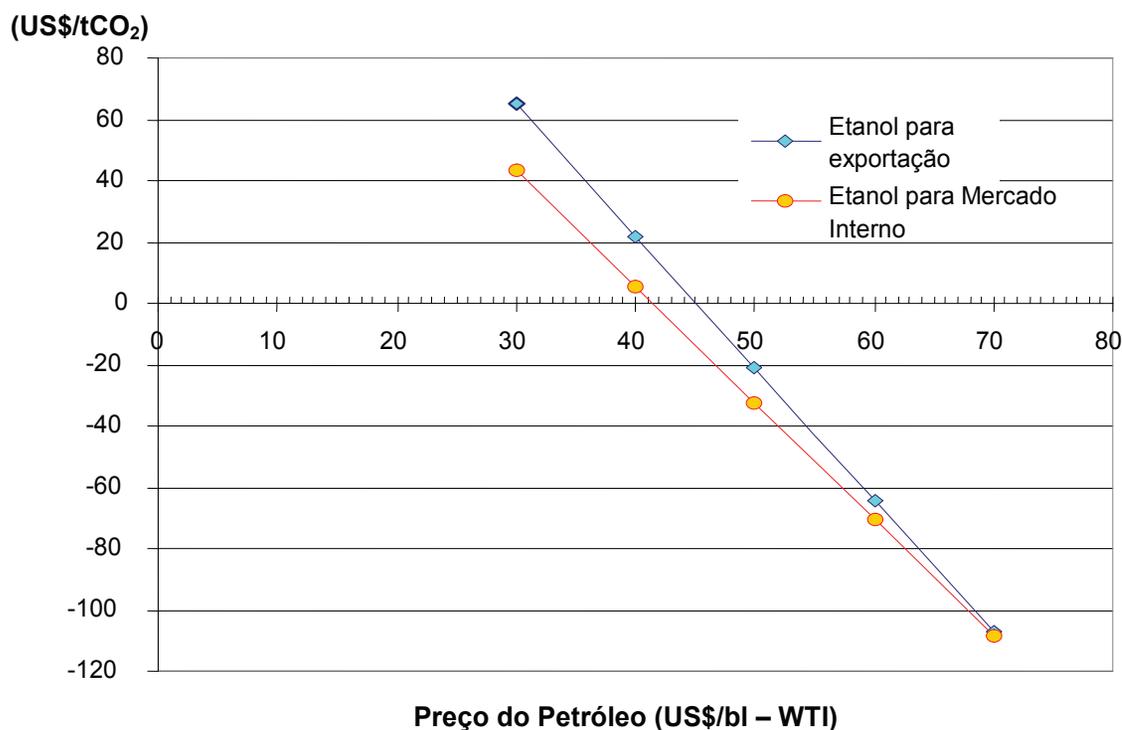
Os resultados da análise de custo-benefício da mitigação das emissões geradas por combustíveis fósseis na indústria e no setor de transportes são particularmente sensíveis aos preços do petróleo. Quanto mais altos forem esses preços, maiores os custos evitados, que são contados como benefício, reduzindo assim o CMA e o preço de equilíbrio do carbono. Como já foi mencionado, os cálculos do CMA e do preço de equilíbrio foram baseados na hipótese do preço do petróleo adotada no PNE 2030 (uma média de US\$46 por barril [WTI] durante o período. Na época em que o PNE foi elaborado, essa hipótese era considerada como sendo razoável; entretanto, hoje parece ser baixa, considerando que os preços do petróleo registraram uma média de mais de \$70 por barril nos últimos três anos (chegando a mais de \$100 em 2008), e que atualmente estão a \$71 por barril.¹¹³ Assim sendo, no caso de todas as medidas de mitigação nos setores de energia e transportes, é especialmente importante realizar uma análise de sensibilidade dos resultados apresentados acima em relação às variações dos preços do petróleo.

No caso da substituição da gasolina pelo bioetanol da cana-de-açúcar, os resultados indicam um preço de equilíbrio positivo do carbono para o etanol destinado tanto à exportação quanto ao consumo interno (US\$34 por tCO₂ e US\$48 por tCO₂, respectivamente), o que sugere que as exportações de etanol podem não ser competitivas em relação à gasolina sem um significativo incentivo relacionado ao carbono. Entretanto, a análise de sensibilidade mostra que quando os

113 Dados de setembro de 2009.

preços do petróleo sobem, os preços de equilíbrio do carbono tornam-se rapidamente negativos, tanto para o etanol de exportação, quanto para o destinado ao consumo interno. Quando os preços do petróleo alcançam em torno de \$50 por barril (supondo preços constantes do açúcar e de outras variáveis de produção), o preço de equilíbrio do carbono é reduzido a zero¹¹⁴; acima desse preço, o CMA e o preço de equilíbrio do carbono da substituição da gasolina por bioetanol são negativos, tanto no caso do mercado interno, quanto internacional. Ao preço atual do petróleo, de \$71 por barril, o preço de equilíbrio do carbono é de cerca de -\$80 por tCO₂ (Figura 7.7)¹¹⁵.

Figura 7.7: Análise de Sensibilidade do CMA e Preço de Equilíbrio do Carbono para o Etanol em relação ao Preço do Petróleo

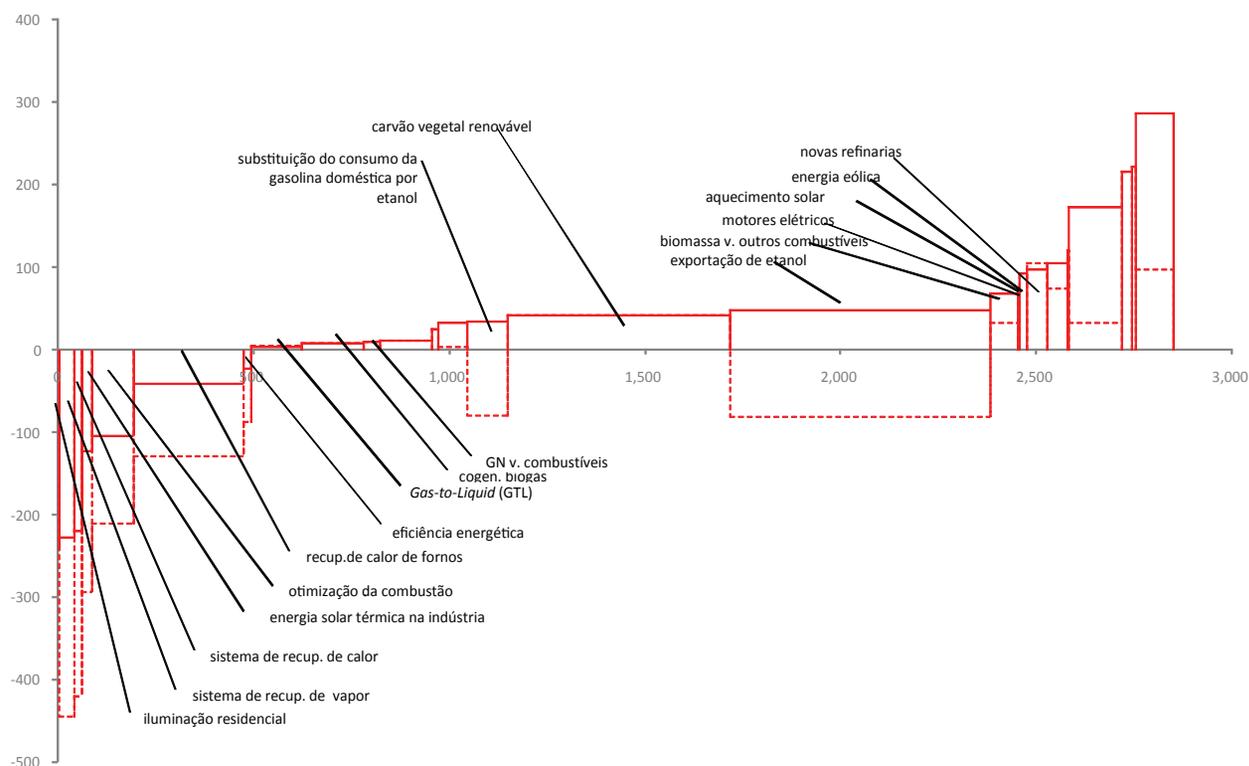


De acordo com a análise de sensibilidade, outras medidas de mitigação mostram-se também fortemente afetadas pelas mudanças dos preços do petróleo, tanto de uma perspectiva social, quanto da do setor privado (Figura 7.8). Por exemplo, o preço de equilíbrio do carbono para todas as opções relacionadas à eficiência energética tornam-se ainda mais negativos, o que indica vantagens fáceis de serem atingidas, que devem ser rapidamente aproveitadas. Por outro lado, as opções que têm a ver com a conservação de energia elétrica não são afetadas de modo significativo, o que é consistente com o teor limitado de combustíveis fósseis do mix energético da geração verificado no setor elétrico brasileiro.

114 Mais precisamente, o preço de equilíbrio do carbono é reduzido a zero quando o preço do petróleo chega a US\$49 por barril no caso do consumo interno de etanol, e a US\$51 por barril, no caso do etanol para exportação. O custo mais alto do etanol para exportação em comparação com o consumo interno resulta principalmente do fator mais baixo referente às emissões evitadas usado em decorrência das emissões relacionadas ao transporte do etanol. Na realidade, uma variedade de fatores afetaria a produção de etanol, incluindo o seu custo de produção, a competição por matérias-primas e o preço do petróleo. Essa simulação ilustra principalmente o impacto do preço do petróleo, incluindo-se aí as situações em que esses preços ultrapassam o cenário do PNE, de US\$46 por barril.

115 Ou seja, o valor presente líquido do custo da gasolina evitada torna-se mais alto do que o do etanol quando os preços do petróleo excedem US\$50 por barril.

Figura 7.8: Análise de sensibilidade do Preço de Equilíbrio do Carbono das medidas de mitigação nos setores de energia e transporte em relação aos preços do petróleo (US\$46 e US\$70 por barril)



7.2 Avaliação de Benefícios Macroeconômicos

As opções de mitigação de GEE frequentemente são avaliadas no nível do projeto ou do programa; entretanto, essas avaliações não capturam os efeitos indiretos das medidas em outros setores da economia. Na verdade, os setores econômicos e as indústrias estão interligados. Por exemplo, um consumo energético menor, devido a melhorias de eficiência energética, leva a uma redução nos combustíveis produzidos para geração de energia. Além disso, uma demanda menor por combustível pode causar perda de empregos não apenas na indústria de combustíveis, mas também na indústria de gasodutos. A opção de mitigação avaliada como atraente no nível do projeto também pode parecer menos atraente se seus efeitos na economia geral forem levados em consideração. Por outro lado, uma opção avaliada como menos atraente no nível do projeto pode oferecer mais benefícios indiretos no nível da economia geral, e assim, se torna mais atraente no contexto maior. Portanto, é sempre desejável avaliar as opções de mitigação de GEE com base em seus efeitos na economia geral.

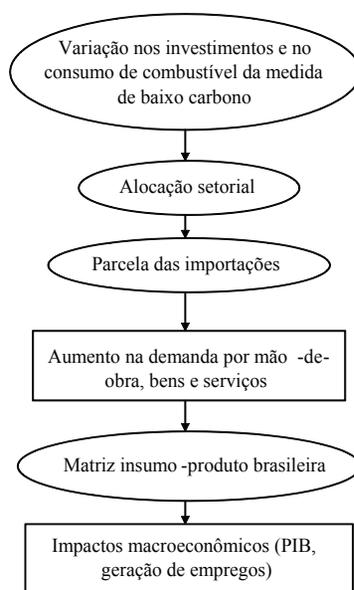
7.2.1 Metodologia

Podem ser usados diversos métodos e abordagens para estimar os impactos econômicos das opções de mitigação de GEE. O método mais comum é uma abordagem de cima para baixo envolvendo modelos de equilíbrio geral computável, que simulam os efeitos das limitações de carbono ou, como alternativa, imposto de carbono. Alguns estudos também incorporaram

medidas de baixo para cima, tais como administração do lado da demanda e substituição de combustíveis, nos modelos de cima para baixo.¹¹⁶ Embora esse elo pudesse ser ideal para este estudo, essa abordagem não foi implementada devido a limitações de orçamento e de tempo. Ao invés disso, a equipe do estudo empregou uma abordagem de modelo de insumos e produtos (*Input-Output*) para avaliar os impactos macroeconômicos das opções de mitigação de GEE. Assim sendo, esses resultados devem ser utilizados com cautela; são meramente indicativos, sugerindo a ordem de magnitude do impacto das medidas de mitigação e de remoção de carbono consideradas no Cenário de Baixo Carbono.

No arcabouço utilizado por este estudo para avaliar os impactos macroeconômicos, a análise de custos feita para calcular os custos de abatimento providencia a informação sobre a mudança nos investimentos e no consumo de combustíveis (e mudança nos produtos de qualquer outro setor) induzida pela escolha do Cenário de Baixo Carbono ao invés do Cenário de Referência. Dependendo do mapeamento das opções de abatimento nos setores econômicos disponíveis na tabela de insumos e produtos, as mudanças nos investimentos e produtos são alocadas para diversos setores. Por exemplo, o investimento incremental para medidas de eficiência energética que substituem aparelhos elétricos ineficientes por suas contrapartidas eficientes é tratado como aumento de produto do setor eletromecânico da tabela de insumos e produtos. Da mesma forma, uma redução no consumo energético, resultante dos programas de eficiência energética, é tratada como redução do produto do setor elétrico. Como bens importados não produzem efeitos econômicos fora dos países onde são produzidos, a equipe do estudo considerou apenas a fração doméstica da mudança de demanda total devido às opções de mitigação de GEE. Essas mudanças na demanda doméstica por bens e serviços foram então multiplicadas por coeficientes de insumos e produtos para determinar os impactos de produto bruto das opções de mitigação. Finalmente, duas razões – (i) PIB sobre produto bruto e (ii) emprego sobre produto bruto – foram utilizadas para calcular os respectivos efeitos das opções de mitigação sobre o PIB e o emprego (Figura 7.9).

Figura 7.9: Arcabouço para Avaliação de Impactos Macroeconômicos



116 Veja, por exemplo, G. R. Timilsina e R. M. Shrestha (2008), “Uma Análise de Equilíbrio Geral de Programas Administrativos no Lado da Demanda em Potencial no Setor Doméstico na Tailândia,” *International Journal of Energy Sector Management* 2(4): 570–93; G. R. Timilsina e R. M. Shrestha (2006), “Efeitos de Equilíbrio Geral de uma Opção de Mitigação de GEE do lado dos Suprimentos sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo,” *Journal of Environmental Management* 80(4): 327–41.

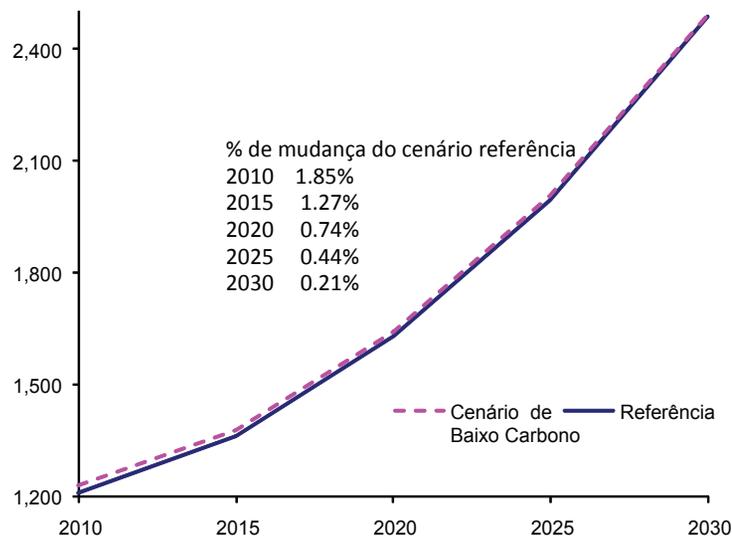
Essa abordagem é limitada por sua falta de limitações no suprimento de bens e trabalho. Além disso, é possível que os coeficientes de insumos e produtos projetados para os anos futuros não sejam corretos. Mesmo assim, a abordagem é simples e de fácil compreensão, e sua popularidade vai de países em desenvolvimento até países industrializados como os Estados Unidos e o Canadá.¹¹⁷

7.2.2 Efeitos sobre o PIB e o Emprego

Considerando-se que as opções de mitigação de GEE cogitadas pelo estudo implicam em investimentos substanciais, o investimento verde poderia gerar impactos em outros setores da economia, causando assim oportunidades adicionais de emprego, além de valor agregado. Por outro lado, os efeitos seriam relativamente pequenos, com 1,8% de valor agregado em 2010 e 0,2% em 2030 (Figura 7.10.a). O impacto relativamente maior sobre o PIB durante os primeiros anos reflete crescimento rápido do PIB nacional na situação básica em relação ao investimento verde, que permanece estagnado ou apresenta aumento lento. Na situação básica, o investimento verde geraria cerca de 2% do total do emprego nacional (Figura 7.10.b).

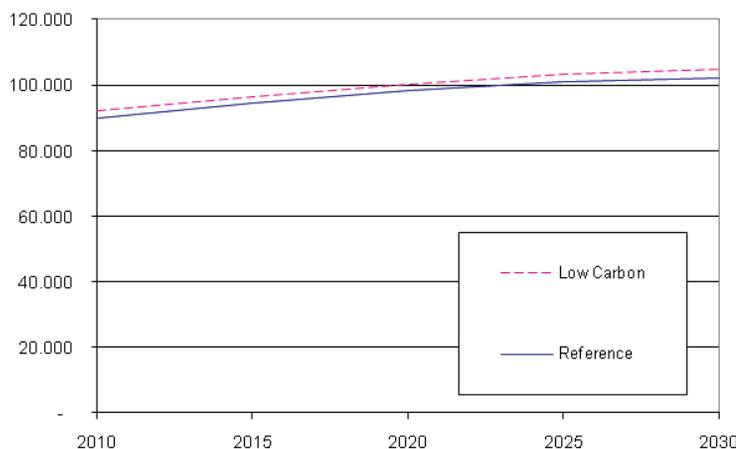
Os efeitos positivos do investimento verde sobre a economia, ainda que sejam talvez surpreendentes, não são incomuns nos estudos existentes que empregam a abordagem de I-O, que não incorpora restrições relacionadas a recursos. É preferível um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) para avaliação dos impactos macroeconômicos das políticas para mitigação de GEE. Mesmo assim, alguns estudos atuais que usam o modelo EGC demonstram também que as opções para mitigação de GEE poderiam aumentar o PIB e gerar empregos adicionais (Roland-Holst e Kahrl 2009; Van Heerden et al 2006; Timilsina e Shrestha 2006).

Figura 7.10: Efeitos cumulativos de opções de mitigação de GEE na econômica brasileira, 2010–30



117 G. R. Timilsina, N. LeBlanc, e T. Walden (2005), *Impactos Econômicos dos Bancos de Areia e Petróleo de Alberta*, Canadian Energy Research Institute, Calgary; N. Parra, C. Horin, M. Ruth, K. Ross, e D. Irani (2008), *Impactos Econômicos da Mudança Climática no Kansas*, The Center for Integrative Environmental Research, Universidade de Maryland.

a) Efeitos no PIB (bilhões US\$ a preço de 2009)



b) Efeito no nível empregos (milhares de pessoa-anos)

7.2.2.a Efeitos no Uso da Terra: Agricultura e Silvicultura

Para os setores brasileiros relacionados ao uso da terra, como agricultura e silvicultura, estima-se que as atividades de mitigação de GEE gerariam um valor agregado de US\$305 bilhões (PIB) e 44 milhões de pessoas-anos de emprego no período de 2010-30 (Tabela 7.9). Os efeitos de emprego nas atividades de uso da terra chamam maior atenção, uma vez que tendem a gerar muito trabalho.

Tabela 7.9: Impactos Macroeconômicos das Opções de Redução de GEE: Uso da Terra

Medida de Mitigação	Mitigação (2010-30) (MtCO ₂)	Investimento (2010-30) (milhões de US\$)	Impactos sobre o PIB (2010-30) (milhões de US\$)	Impactos sobre o emprego (2010-30) (milhares de pessoas-anos)	Medida de Mitigação
Plantio direto	355	152	-0,33	-106	-30
Substituição da gasolina no mercado doméstico	176	20 158	56,22	4 127	1 095
Substituição da gasolina no exterior pelo etanol*	666	19 680	2,10	4 948	2 845
Reflorestamento	1 084	54 140	39,31	29 611	7 020
Redução do desmatamento	6 364	102 419	0,18	38 403	9 067

* Combina o custo da produção de etanol para consumo doméstico e exportação (o CMA do etanol para consumo interno é de US\$56,2).

7.2.2.b Setor Energético

O impacto econômico geral das medidas de mitigação de GEE no setor energético brasileiro poderia chegar a mais US\$25,9 bilhões no PIB no período de 2010-30, ou cerca de US\$1,23 bilhões a mais por ano; além disso, seriam criados 4,4 milhões de pessoas-anos de emprego ou cerca de 203.000 pessoas-anos por ano. Ainda que as opções de eficiência energética para redução das emissões de GEE tenham impactos econômicos negativos, outras opções apresentam impactos econômicos positivos (Tabela 7.10).

Tabela 7.10: Impactos Macroeconômicos das Opções de Redução de GEE nos Setores Industriais, Comerciais e Residenciais, 2010–30

Setor	Medida de Mitigação	Mitigação (milhões de tCO ₂)	Investimento (milhões de US\$)	Custo Marginal de Abatimento @8%	Efeitos sobre o PIB (milhões de US\$)	Efeitos sobre o emprego (mil pessoas-anos)
Indústria	Otimização da combustão	105	2215	-44	-5279	-496
	Sistema de recuperação de calor	19	322	-91	-1999	-206
	Sistema de recuperação de vapor	37	818	-96	-4131	-426
	Sistema de recuperação de calor de fornalha	283	8073	-25	-7581	-839
	Novos processos industriais	135	7995	2	8116	1922
	Outras medidas de eficiência energética	18	827	-13	-258	6
	Energia térmica solar	25	1481	-54	-2149	-215
	Reciclagem	74	249	-34	-6700	-676
	Gás natural substitui outros combustíveis	43	4087	-20	2291	385
	Biomassa substitui outros combustíveis	69	12357	3	2175	442
	Reflorestamento	566	8794	2	11349	1621
	Motores elétricos	1	4600	-49	366	23
	Iluminação industrial	0	285	-65	-140	-11
Residencial	Aquecedor solar	2	4604	4	1664	81
	Ar condicionado (MEPS)	2	11197	516	1962	99
	Iluminação	3	1197	-119	-1055	-52
	Geladeira (MEPS)	9	48875	-41	1930	84
Comercial	Iluminação comercial	1	747	-52	-330	-25
GTL	Gás-para-líquido (GTL)	128	6985	-2	3634	292
Refinaria	Novas refinarias + CCS	51	120907	19	1719	116
	Refinarias existentes (integração energética)	52	4027	6	3416	170
	Refinarias existentes (controle de incrustação)	6	0	72	862	61
	Refinarias existentes (controles avançados)	6	1491	95	1019	51
Energia renovável	Cogeração de cana-de-açúcar	157	52264	-104	28	2
	Energia Eólica	19	12897	-7	4418	429
	Linha de transmissão (Brasil-Venezuela)	27	454	-30	2532	139



7.2.2.c Setor de Transportes

O setor de transportes exige um investimento de aproximadamente US\$150 bilhões no período de 2010-30 (Tabela 7.11). É interessante observar que as opções de mitigação de GEE em setores como o da indústria parecem atraentes no nível do projeto ou da atividade, pois possuem custos negativos de abatimento. Do ponto de vista da economia, porém, podem não ser as melhores opções. Por outro lado, opções do setor de transportes, que parecem menos atraentes no nível do projeto ou atividade, são mais atraentes do ponto de vista macroeconômico. Essa é uma observação importante, uma vez que a maioria dos estudos existentes se concentra apenas na análise de custo de abatimento no nível do projeto, e não captura impactos na economia mais ampla. Assim, políticas e estratégias de implementação baseadas apenas em análises tão limitadas podem ser enganosas.

Tabela 7.11: Impactos Macroeconômicos das Opções de Mitigação do Setor de Transportes

Setor	Medidas de Mitigação	Mitigação (2010-30) (MtCO ₂)	Investimento (2010-30) (milhões de US\$)	Impactos sobre o PIB (2010-30) (milhões de US\$)	Impactos sobre o emprego (2010-30) (mil pessoas-anos)
Transporte Regional	Investimento em trens e rios vs. estradas	63	41707	1770.0	232.0
	Trem-bala (São Paulo-Rio de Janeiro)	13	28759	7120.0	614.0
Transporte Urbano	Investimento em trânsito de ônibus rápido (BRT)	103	33575	3580.0	421.0
	Investimento em metrô e BRT	174	42620	0,760	1.2
	Otimização do Tráfego	45	1050	-0,580	-49
	Investimento em ciclovias	16	302	-0,070	-5

Nota: Essa tabela exclui os custos de investimento de US\$20 bilhões em etanol (incluídos nos impactos macroeconômicos das opções de redução de GEE para LULUCF).

* Inclui custos de investimentos para BRT e mitigação de GEE evitado.

7.2.2.d Manejo de Resíduos

Atividades de mitigação de GEE no setor de manejo de resíduos também devem contribuir positivamente com a economia, mas em menor escala. Estima-se que as atividades de mitigação acrescentem US\$9 bilhões ao PIB e 370.000 pessoas-anos de emprego à economia brasileira no período de 2010-30 (Tabela 7.12).

Tabela 7.12: Impactos Macroeconômicos das Opções de Mitigação do Setor de Manejo de Resíduos

<i>Medidas de Mitigação</i>	<i>Mitigação (2010-30) (MtCO₂)</i>	<i>Investimento (2010-30) (milhões de US\$)</i>	<i>Custo Marginal de Abatimento @8%</i>	<i>Impactos sobre o PIB (2010-30) (milhões de US\$)</i>	<i>Impactos sobre o emprego (2010-30) (mil pessoas-anos)</i>
Aterros com ventilação	132,61	0,400	2,87	0,220	9,18
Aterros com captura e incineração	981,37	1,720	103	0,970	39,78
Redução de 20% em RSU	122,41	12,890	10,4	7,260	298,20
Aterros com captura e cogeração	54,21	0,980		0,550	22,65

<i>Medidas de Mitigação</i>	<i>Mitigação (2010-30) (MtCO₂)</i>	<i>Investimento (2010-30) (milhões de US\$)</i>	<i>Custo Marginal de Abatimento @8%</i>	<i>Impactos sobre o PIB (2010-30) (milhões de US\$)</i>	<i>Impactos sobre o emprego (2010-30) (mil pessoas-anos)</i>
aterro c/queima de CH ₄	963	5.687	2.87	2.224	125
Tratamento de efluentes e queima de CH ₄ (ind.)	238	36.569	103	40.807	2.152
Tratamento de efluentes e queima de CH ₄ (com. e res.)	116	41.678	10.4	48.737	2.748

7.3 Comentários Finais

Com base nessa análise econômica em dois níveis (micro e macro), este estudo selecionou as opções de mitigação e remoção de carbono retidas para o Cenário de Baixo Carbono apresentadas no próximo capítulo. Os critérios adotados foram que o CMA, que representa a perspectiva social normalmente adotada no exercício de planejamento do governo, não deveria exceder US\$50, exceto nas opções que obviamente seriam motivadas em sua maior parte pelo amplo co-benefício esperado, e para as quais espera-se que um CMA alto possa ser equilibrado pelos co-benefícios e pelos impactos macroeconômicos positivos. Esse normalmente é o caso na maioria das medidas propostas para os setores de transporte e de manejo de resíduos.





The left side of the page features a large, abstract graphic composed of overlapping, curved shapes in various shades of green and yellow. The colors transition from dark green at the top to bright yellow in the middle, and back to green at the bottom. The shapes are layered, creating a sense of depth and movement.

Capítulo 8

Cenário Nacional de Baixo
Carbono para o Brasil

Os Cenários de Referência e de Baixo Carbono para os quatro principais setores emissores do Brasil – terra, modificações no uso da terra, e florestas (LULUCF); energia; transporte; e manejo de resíduos – apresentados nos capítulos anteriores, foram construídos de maneira coordenada e consistente. Como um todo coletivo, criaram a base para o estabelecimento de um Cenário nacional de Baixo Carbono. Este capítulo agrega os resultados de cada um dos quatro setores em um único Cenário de Referência e um Cenário proposto de Baixo Carbono. Deve-se perceber que esses cenários não são uma projeção de um inventário completo de emissões de GEE do Brasil, e como tal, não pretendem capturar 100% de todas as fontes de emissão de GEE.¹¹⁸ Ao invés disso, apresentam projeções para os quatro setores que oferecem as maiores oportunidades para mitigação de emissões e remoção de carbono. A organização deste capítulo, assim como a dos capítulos 3-6, começa com o Cenário de Referência, seguida pelo Cenário proposto de Baixo Carbono. A última seção, que delinea as incertezas intrínsecas a qualquer análise prospectiva de futuro, ressalta que esses resultados devem ser considerados apenas como indicadores.

8.1 O Cenário de Referência

Para estimar a contribuição potencial do Brasil à limitação da concentração aumentada de emissões globais de GEE, em primeiro lugar é necessário determinar as emissões que seriam geradas sem que qualquer esforço específico seja realizado para alcançar esse objetivo. Esse Cenário de Referência está sujeito a diversas hipóteses relativas ao desenvolvimento econômico e social futuro do país. Vale a pena notar que o Cenário de Referência construído neste estudo foi baseado em uma metodologia diferente da utilizada pelo governo brasileiro em seu inventário de GEE nacional. Além disso, concentrando-se apenas nas áreas onde as alternativas mais promissoras de baixo carbono foram identificadas, o Cenário de Referência construído por este estudo não poderia cobrir 100% de todas as fontes de emissões do país e, portanto, não deve ser considerado como uma simulação de futuros inventários nacionais de emissões. Esta seção começa com a descrição do método usado para construir o Cenário de Referência, incluindo seus princípios básicos, e segue com uma discussão dos resultados e sua interpretação.

8.1.1 Métodos e Princípios

Uma vez que o objetivo deste estudo não é simular o desenvolvimento futuro da economia brasileira ou questionar os objetivos declarados de desenvolvimento do governo, este estudo utilizou, na medida do possível, documentos de planejamento e planos de governo existentes para estabelecer o Cenário de Referência. Assim, o Plano Nacional Energético de 2030 (PNE 2030), publicado pelo MME em 2007, foi adotado como Cenário de Referência para o setor energético. O estudo também levou em consideração o Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) e o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) lançados pelo governo brasileiro em 2007, e outras políticas e diretrizes em outros setores que já haviam sido publicadas no momento da definição do Cenário de Referência. Para garantir consistência total em todos os setores, o estudo adotou as mesmas hipóteses macroeconômicas e demográficas encontradas no PNE 2030 (Anexo A).¹¹⁹ Em resumo, a construção do Cenário de Referência considerou um crescimento

118 Por exemplo, fontes industriais de óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF_6), e outros gases GEE não-Quito não são considerados aqui. Sem um inventário completo atualizado, não é possível determinar com precisão a parcela de outras fontes no equilíbrio de GEE nacional. Entretanto, com base na primeira Comunicação Nacional Brasileira (1994), espera-se que não excedam 5% das emissões totais de GEE de Quito.

119 O Anexo A traz um conjunto de hipóteses comuns.

médio anual do PIB de 4,1%,¹²⁰, um crescimento médio anual da população de 0,93%, e um conjunto de preços de combustível correspondentes a um preço de petróleo WTI de cerca de US\$45 por barril, em média.

Para as outras áreas, não havia documentos oficiais de planejamento, ou os mesmos não eram detalhados o suficiente para estimar as emissões associadas. Nesses casos, o estudo construiu seus próprios cenários de referência setoriais, utilizando modelos setoriais desenvolvidos ou ajustados para o projeto,¹²¹ sempre garantindo consistência com o mesmo conjunto de hipóteses em comum. A construção de cenários de referência específicos para cada setor envolveu uma coordenação próxima, para que todos os quatro fossem completamente consistentes entre si, podendo, portanto, ser agregados.

As principais interfaces foram definidas em conjunto, como, por exemplo, a determinação e integração de necessidades de terra para a produção de biocombustíveis sólidos e líquidos, considerados nos setores de transporte e de energia, na modelagem do uso da terra. Com essa base, a equipe do estudo pôde estabelecer um Cenário de Referência nacional para as principais fontes de emissões de GEE no Brasil pelas próximas duas décadas (2010-30).

8.1.2 Resultados e Interpretação

No Cenário de Referência, as emissões totais aumentam em aproximadamente um terço (32%) no período de 2010-30, alcançando quase 1,7 GtCO₂ e por ano em 2030¹²², o que pode então representar cerca de 2,7% das emissões globais¹²³. Em termos cumulativos, o Brasil emitiria quase 26 GtCO₂ e no período, mais de um ano de emissões nos países do Anexo I.¹²⁴

Em termos de distribuição setorial, não é surpresa que o desmatamento continue a ser a maior fonte de emissões no período. Enquanto as emissões por desmatamento chegam a cerca de 530 MtCO₂ e por ano em 2030, sua parcela relativa é reduzida de 41% das emissões nacionais em 2008 para 31% em 2030. As emissões energéticas são praticamente duplicadas no período 2008-30 (excluindo as emissões de transporte), tornando-se a segunda maior fonte de emissões de GEE depois do desmatamento. O transporte, cujas emissões aumentam em mais da metade, torna-se

120 No contexto da crise financeira recente, o governo brasileiro modificou seus prospectos de planejamento e está considerando uma taxa menor de crescimento do PIB. Dada a natureza de longo prazo do estudo, isso não diminuiu a taxa de crescimento média do PIB.

121 Pode-se encontrar mais detalhes nos relatórios técnicos correspondentes para cada setor.

122 Devido à metodologia utilizada para estabelecer este Cenário de Referência, ele difere das projeções das emissões nacionais e setoriais anunciadas oficialmente pelo governo brasileiro em 2009, conjuntamente com o compromisso voluntário da redução de emissões, refletidos na Lei 12,187. A diferença entre o Cenário de Referência definido por este estudo e cenário estabelecido pelo governo brasileiro, com base em tendências passadas, reflete o impacto positivo em termos de reduções de emissões das políticas que já haviam sido adotadas na época da definição do Cenário de Referência do estudo. Nota-se que o Cenário de Referência foi definido antes da elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e a aprovação da Lei 12,187, que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil e um conjunto de metas nacionais voluntárias de redução dos gases de efeito estufa.

123 Baseado em estimativa das emissões globais de GEE de 61,5GtCO₂ e até 2030, publicada pelo UNFCCC, 2007. O Cenário de Referência apresentado na UNFCCC consiste de (i) emissões de CO₂ relacionadas ao setor de energia fornecidas pela Agência Internacional de Energia (AIE 2006), (ii) projeções básicas extrapoladas referentes às emissões independentes de CO₂ da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA 2006), (iii) emissões atuais de CO₂ relacionadas ao uso da terra, mudanças do uso da terra e silvicultura (LULUCF) e (iv) emissões de CO₂ de processos industriais informadas pelo Conselho Empresarial Mundial para Desenvolvimento Sustentável (WBCSD 2002).

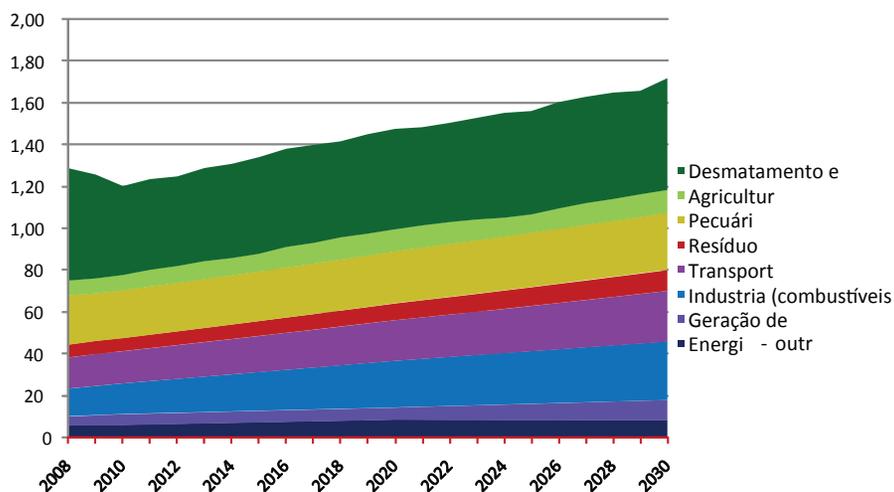
124 De acordo com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), as emissões globais cresceriam de 38,9 GtCO₂ e em 2000 para 61,5 GtCO₂ e em 2030, enquanto as emissões de países do Anexo I permaneceriam relativamente estáveis em 21–22 GtCO₂ e por ano. Veja UNFCCC (2007), *Investimentos e Fluxos Financeiros para Tratar de Mudança Climática*.

a terceira maior fonte. A pecuária, antes a segunda maior fonte emissora, permanece constante, em um nível semelhante ao do transporte em 2030. As emissões da agricultura, o quinto maior setor emissor, praticamente duplicam no período. Finalmente, emissões de manejo de resíduos aumentam em quase a metade. Em resumo, emissões relacionadas à energia dos setores energético e de transporte crescem mais rapidamente do que emissões do setor LULUCF, embora estas continuem dominantes, tanto em termos anuais quanto cumulativos (Tabela 8.1, Figura 8.1).

Tabela 8.1: Distribuição Setorial de Emissões Brutas no Cenário de Referência, 2008 e 2030

Fonte de emissões	2008		2030	
	MtCO ₂ e/ano	%	MtCO ₂ e/ano	%
Desmatamento	536	42	533	31
Energia	232	18	458	26
Transporte	149	12	245	14
Pecuária	237	18	272	16
Agricultura	72	6	111	6
Manejo de Resíduos	62	5	99	6
Total	1.288	100	1.718	100

Figura 8.1: Emissões Setoriais Brutas no Cenário de Referência, 2008–30



No Cenário de Referência, a taxa de desmatamento deve permanecer relativamente estável. O governo brasileiro recentemente implementou diversas políticas e programas de proteção florestal que, em conjunto com mudanças nos fatores econômicos (ex.: queda nos preços internacionais da carne e da soja), tiveram o efeito combinado de diminuir o ritmo do desmatamento (de aproximadamente 27.000 km² em 2004 para 11.200 km² em 2007). Esse novo nível está de acordo com os resultados de modelagem de 2010-30 desenvolvidos por esse estudo, que se baseiam nas projeções econômicas para plantios e produção de carne e tendências de produtividade. Assim, na ausência de novas mudanças de política, espera-se que as emissões por desmatamento se estabilizem em aproximadamente 400–500 MtCO₂ por ano. De acordo com os resultados da modelagem, espera-se certa diminuição na taxa de desmatamento até 2011 – devido a uma pequena contração nas atividades pecuárias observadas nos últimos anos – depois disso espera-se que ela se estabilize e então volte a subir, vagarosa, mas constantemente.

Emissões relacionadas à energia, ligadas ao transporte (separado para refletir melhor a

evolução da contribuição do setor) ou a outras necessidades energéticas representam mais de dois terços (68%) do aumento anual total entre 2008 e 2030. Atividades de transporte e consumo energético são funções do crescimento econômico. Enquanto certos subsetores já possuem baixo volume de carbono – principalmente devido ao combustível de bioetanol para veículos e hidrelétricas para geração de eletricidade – outros continuam a depender de combustíveis fósseis. Esse é o caso do transporte urbano, que continua a depender de combustível a diesel para ônibus e transporte aéreo e processos térmicos industriais. Como resultado, as emissões do transporte urbano crescem automaticamente. Veículos individuais são responsáveis por um terço do crescimento nas emissões de transporte, enquanto caminhões representam outro terço. Sem o bioetanol, as emissões do transporte cresceriam em 50% em 2030. Finalmente, emissões do manejo de resíduos devem permanecer relativamente estáveis em cerca de 5-6% das emissões brutas, embora devam crescer significativamente em termos absolutos (+59%) devido ao crescimento do volume de resíduos e o aumento correspondente na taxa de disposição em aterros, onde a fermentação anaeróbica resulta na liberação de CH₄.

8.2 Cenário Proposto de Baixo Carbono

Com base nas avaliações aprofundadas, técnicas e econômicas, das oportunidades de mitigação e remoção de carbono apresentadas nos capítulos 3-6, propomos um Cenário de Baixo Carbono para explorar mais a fundo a contribuição brasileira ao esforço global de mitigar a mudança climática nas próximas duas décadas. Como o Cenário nacional de Referência, o Cenário nacional de Baixo Carbono é um agregado dos cenários de baixo carbono para os quatro setores analisados: LULUCF, energia, transporte e manejo de resíduos. Ele também foi construído de maneira coordenada, para garantir consistência total entre as quatro principais áreas consideradas.¹²⁵

8.2.1 Métodos e Princípios

Com base nos melhores conhecimentos disponíveis que o Banco Mundial conseguiu reunir, o Cenário nacional de Baixo Carbono proposto visou os objetivos de desenvolvimento do Cenário de Referência, usando tecnologias com menor volume de carbono consideradas disponíveis para implementação em larga escala no período de 2010-30. Para cada uma das quatro áreas, foram analisadas as oportunidades mais significativas de mitigação e remoção de carbono.

O Cenário nacional de Baixo Carbono proposto combina a abordagem de baixo para cima, dirigida pela tecnologia, com base em avaliações detalhadas, técnicas e econômicas, de opções possíveis no contexto brasileiro e otimização no nível setorial. Deixaram de ser consideradas as opções menos promissoras do ponto de vista de custo-eficiência, assim como aquelas já completamente exploradas no período analisado no Cenário de Referência. Foi aplicado um limiar de US\$50 por tCO₂e para descartar opções com altos custos marginais de abatimento (CMA), que não fossem justificadas por outros importantes benefícios indiretos.

Em vez de simplesmente somar potenciais de mitigação avaliados de forma independente oriundos de tecnologias específicas, o que induziria problemas de contagem dupla, o Cenário de Baixo Carbono proposto foi construído sob uma abordagem sistêmica, enriquecida por uma coordenação interativa entre setores. Essa abordagem setorial cruzada foi especialmente útil ao identificar soluções para mitigar o desmatamento futuro, algo que não poderia ter sido alcançado

¹²⁵ Foram realizados três seminários (14–16 de Setembro, 2007, 30 de Abril, 2008, e 19 de Março, 2009) para apresentar e discutir a metodologia, resultados intermediários e resultados quase finais com representantes de dez ministérios do governo brasileiro. Equipes setoriais também interagiram em diversas ocasiões com especialistas técnicos e representantes de agências públicas.

através da análise de atividades individuais. Na verdade, uma análise detalhada do setor pecuário brasileiro, juntamente com uma modelagem geoespacialmente explícita da dinâmica de uso da terra, permitiu que esse estudo determinasse que uma mudança gradual dos sistemas de produção pecuária de baixa produtividade para sistemas de alta produtividade liberaria terra suficiente para acomodar a expansão do plantio e plantação e restauro florestal com uma demanda adicional nula por terras, em comparação com o ano-base de 2008. Isso inclui evitar vazamentos potenciais de carbono que as medidas de mitigação poderiam induzir em vários setores (ex.: biocombustíveis nos setores energético e de transporte e atividades de remoção de carbono no setor de silvicultura) pelo aumento de demanda de terra adicional, eventualmente alimentando a progressão da fronteira pioneira nas regiões da Amazônia e do Cerrado. Como resultado, foram estimados potenciais consistentes para mitigação e remoção de carbono para cada uma das quatro áreas principais, então consolidados no nível nacional para construir o Cenário de Baixo Carbono proposto.

Esse tipo de Cenário de Baixo Carbono deveria ser considerado modular, e não “pegar ou largar”, uma vez que a economia política pode variar significativamente por setor ou região, tornando certas opções de mitigação, que de início possam parecer mais caras, mais fáceis de se implementar a longo prazo do que outras; o inverso também é verdadeiro. Considerando diversas combinações possíveis nesse período e a incerteza de que seriam removidas certas barreiras, especialmente aquelas relacionadas aos custos incrementais e de financiamento, esse Cenário de Baixo Carbono não deve ser considerado o único possível. Ele deve ser considerado um cenário que visa informar os tomadores de decisão sobre a ordem de magnitude das reduções de emissões que podem ser alcançadas nas próximas duas décadas e os custos e benefícios mensuráveis associados.

8.2.2 Resultados e Interpretação

No período considerado, o Cenário de Baixo Carbono proposto projeta uma redução de emissões por desmatamento que atenderia ao compromisso voluntário de redução das emissões do país anunciado pelo governo brasileiro em Dezembro de 2009 em Copenhagen. No ano de 2030, as emissões brutas projetadas no Cenário de Baixo Carbono são 40% inferiores às do Cenário de Referência (1.023 MtCO₂e versus 1.718 MtCO₂e por ano), enquanto as emissões líquidas no Cenário de Referência são 52% inferiores (810 MtCO₂e versus 1.697 MtCO₂e por ano) (Tabela 8.2).

Tabela 8.2: Comparação da Distribuição Anual de Emissões nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, por Setor

Setor	Referência 2008		Referência 2030		Baixo Carbono 2030	
	Mt CO ₂ e	%	Mt CO ₂ e	%	Mt CO ₂ e	%
Energia	232	18	458	26	297	35
Transporte	149	12	245	14	174	17
Resíduos	62	5	99	6	18	2
Desmatamento	536	42	533	31	196	19
Pecuária	237	18	272	16	249	24
Agricultura	72	5	111	6	89	11
Total Bruto de Emissões	1.288	100	1.718	100	1.023	100
Remoção de carbono	295	2	-21	-1	-213	21
Total Líquido de Emissões	1.259	98	1.697	99	810	79

O principal fator para a redução de emissões no Cenário de Baixo Carbono é uma redução dramática no desmatamento, que é muito maior do que a redução de emissões de todos os outros setores juntos. A redução de emissões de desmatamento e a remoção de carbono através de plantações e restauro florestais são as duas áreas onde o Cenário de Baixo Carbono proposto teve o maior sucesso na redução de emissões (Figura 8.2). Emissões dos setores de transporte e energético são mais difíceis de se reduzir, uma vez que já são baixas em comparação aos padrões internacionais, principalmente devido à grande parcela de hidroeletricidade e bioetanol na matriz energética atual (Tabela 8.2, Figura 8.3).

Figura 8.2: Potenciais de Redução de Emissões no Cenário de Baixo Carbono, 2010–30, em Comparação com o Cenário de Referência (MtCO₂eq)

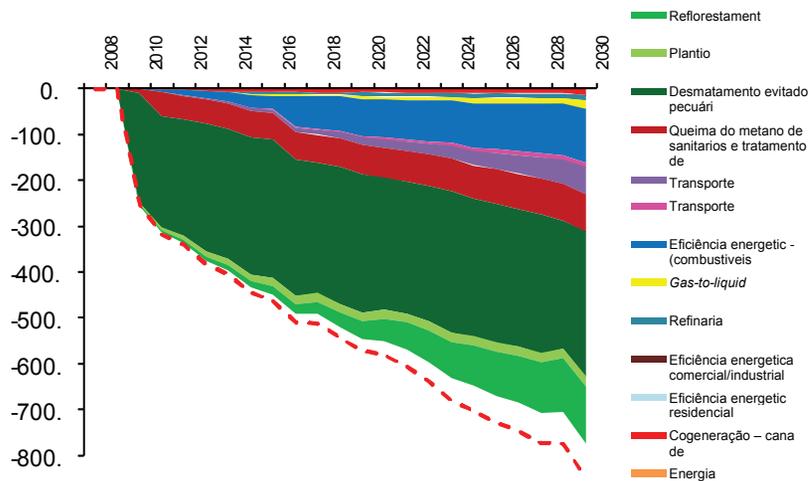
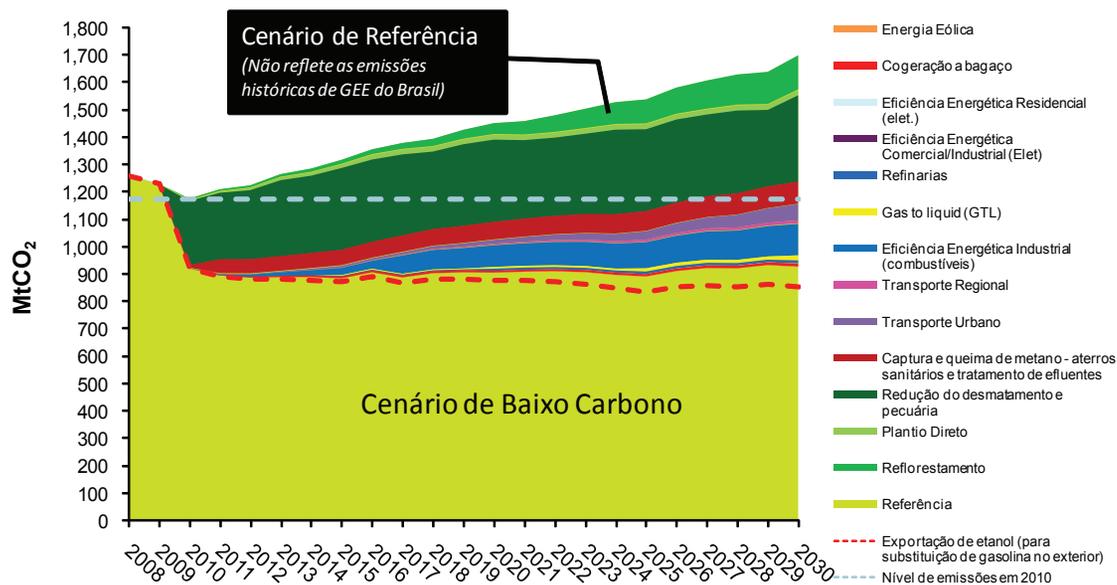
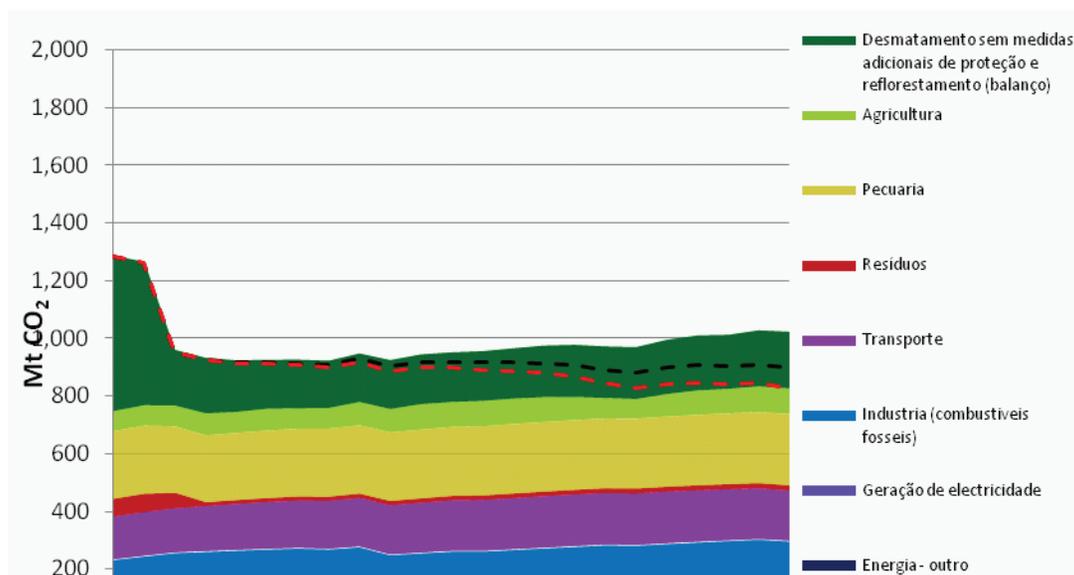


Figure 8.3: Cunhas de Mitigação de GEE no Cenário de Baixo Carbono, 2010–30



Como consequência, a distribuição de emissões de GEE entre setores no Cenário de Baixo Carbono varia significativamente da distribuição observada no Cenário de Referência, principalmente porque a parcela de emissões por desmatamento é reduzida a aproximadamente 70% em comparação com o Cenário de Referência (Figura 8.4).

Figura 8.4: Emissões brutas por setor no Cenário de Baixo Carbono, 2010–30 (MtCO₂eq/ano)



Em 2030, os dois principais setores emissores são energia (29%) e pecuária (24%). O setor de transportes aumenta também a sua participação, de 14% em 2008 para 18% em 2030 (Tabela 8.2, Figura 8.5).

Figura 8.5: Comparação da Distribuição de Emissões Brutas por Setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2008–30

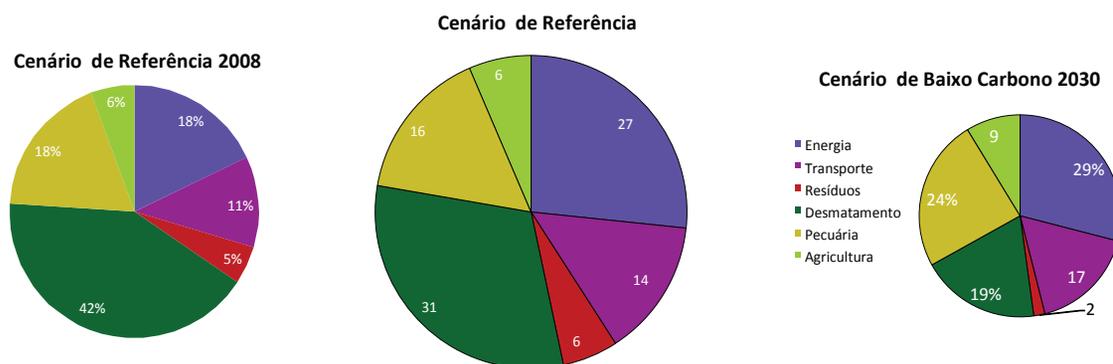
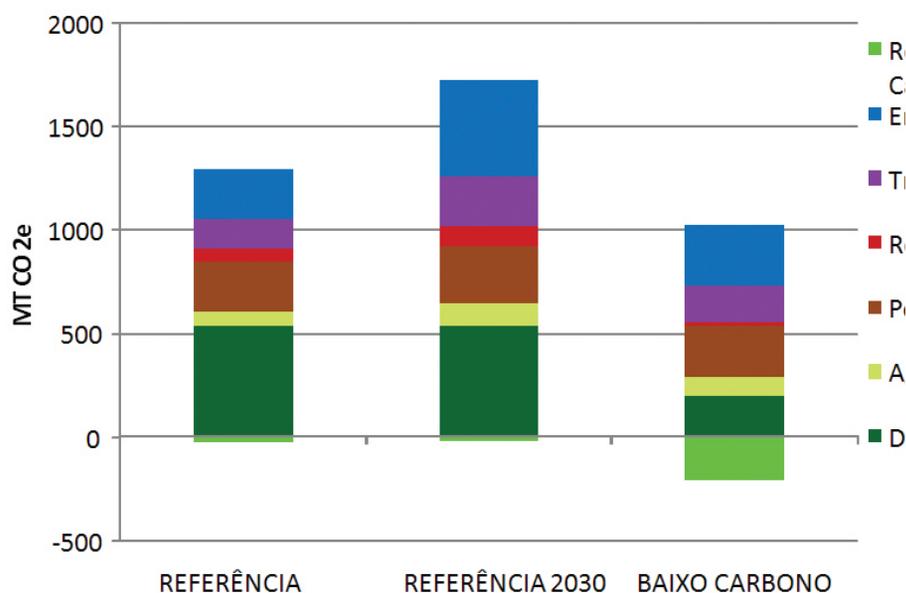


Figura 8.6: Comparação da distribuição das emissões por setores nos Cenários de Referência e Baixo Carbono, 2008–30



Mudanças semelhantes também se refletem na distribuição de emissões cumulativas entre os setores no período de 2010–30 (Tabela 8.3, Figura 8.6). A participação relativa das emissões geradas pelo setor de LULUCF é menor no Cenário de Baixo Carbono do que no Cenário de Referência, enquanto as parcelas de emissões dos setores de energia e transportes são marcadamente mais altas no Cenário de Baixo Carbono.

Tabela 8.3: Comparação da Distribuição de Emissões Cumulativas entre Setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2010–30

Setor	Cenário de Referência (2010-2030)		Cenário de Baixo Carbono (2010-2030)		Redução		
	MtCO ₂ e	% do total	MtCO ₂ e	% do total	MtCO ₂ e	% do total	% do Cenário de Referência (2010-2030)
Uso da Terra	16.709	56	9.228	49	7.481	67	44
Resíduos	1692	6	375	2	1.317	12	78
Transportes	4.101	14	3.610	19	487	4	13
Energia	7.587	25	5.765	30	1.821	16	24
Total	30.089	100	18.982	100	11.106	100	37

8.3 Principais Incertezas nas Estimativas de Emissões

Como os Cenários de Referência e de Baixo Carbono propostos estão sujeitos a incertezas, os resultados são apenas indicativos, e devem ser utilizados para informar os tomadores de decisão sobre emissões futuras se as hipóteses do estudo, que foram baseadas em um processo consultivo amplo e constante, forem verificadas. Algumas das incertezas são resultado de cálculos relacionados ao Cenário de Referência ou de Baixo Carbono independentemente, enquanto outras dizem respeito aos dois simultaneamente. Esta seção delinea em primeiro lugar as incertezas para as quatro áreas principais, e então discute as incertezas mais específicas de cada setor.

8.3.1 Projeções Macroeconômicas

Para atividades geradoras de emissões, tanto o Cenário de Referência, quanto o de Baixo Carbono dependem amplamente das projeções macroeconômicas do Plano Nacional de Energia de 2030 (PNE 2030), publicado pelo EPE em 2007. O cenário B1 do plano, adotado como caso de referência, estima que a taxa média de crescimento da economia brasileira fique em 4,1% por ano. Em consequência da crise financeira recente, o governo brasileiro espera um crescimento mais baixo do PIB, especialmente no próximo período. Se isso ocorrer, a oferta e procura menores por uma variedade de serviços e produtos diminuiriam o ritmo do desmatamento e do consumo de energia, incluindo a demanda por serviços de transporte. Entretanto, considerando o alcance de longo prazo do estudo, projeções de médio prazo para crescimento de emissões no Cenário de Referência são menos afetadas pela crise, e permaneceriam basicamente as mesmas. As mesmas tendências de curto e médio prazo seriam aplicadas ao Cenário de Baixo Carbono.

8.3.2 Questões referentes ao Uso da Terra

No que diz respeito às incertezas sobre emissões pelo uso da terra projetado, é preciso distinguir entre o volume bruto de emissões de fontes de GEE e as emissões líquidas após integrar na conta atividades de remoção de carbono envolvendo principalmente florestas de produção e restauro de floresta nativa. Incertezas por emissões brutas diferem entre o primeiro e segundo estágio dos cálculos: (i) projetando o uso da terra e as mudanças no uso da terra e (ii) convertendo os resultados em emissões.

A modelagem econômica desenvolvida para o primeiro estágio dos cálculos se beneficiou amplamente da riqueza de dados históricos locais, que permitiram calibrações robustas dos principais parâmetros e equações (Quadro 8.1). Com base nos resultados, acredita-se que as principais incertezas estejam ligadas às projeções macroeconômicas mencionadas acima, que afetam diretamente as projeções para plantio expandido e produção de carne, e, portanto, o desmatamento. Se o plantio e a produção de carne expandirem mais do que o esperado no Cenário de Referência, seria necessário um esforço maior no Cenário de Baixo Carbono para liberar pastos em quantidade suficiente; de outra forma, o desmatamento adicional resultante levaria a maiores emissões.

Quadro 8.1: Incertezas para Cenários Econômicos de Uso da Terra

Incertezas inerentes à modelagem econômica de cenários futuros de uso da terra estão relacionadas à modelagem de (i) demanda doméstica (uma função da renda, ligada a projeções macroeconômicas e preços de equilíbrio determinados pela modelagem), (ii) exportações (uma função de parâmetros macroeconômicos e preços), e (iii) produção (uma função de custos e produtividade por hectare). Elasticidades de preço foram calibradas a partir de uma série histórica (1996-2008), enquanto custos de produção e produtividade por hectare para diversos plantios foram baseados nos dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE); e Agroconsulta e Scott Consultoria, duas empresas privadas que atualizam anualmente as estimativas para o setor. As projeções para exportações brasileiras são exógenas, e tiveram como base as projeções globais do Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI), a mesma fonte utilizada pelo Departamento de Agricultura dos EUA; as projeções do FAPRI foram utilizadas para calibrar as projeções de exportação para 2009-18 e 2019-30.

Assim, assume-se que as principais incertezas estão ligadas às projeções macroeconômicas. No Cenário de Referência, as projeções para exportações de carne e pasto são relativamente conservadoras. Com a exceção da região amazônica, onde espera-se um crescimento significativo do pasto, o volume nacional permanece relativamente estável, devido à estabilidade continuada de demanda global por carne. A estabilização na exportação de carne – ou mesmo uma pequena queda, observada nos últimos anos – é difícil de se reverter para a indústria brasileira, seguindo o desenvolvimento impressionante da década anterior (1997–2006).

Fonte: ICONE

Para o segundo estágio dos cálculos, as principais incertezas têm por base os dados disponíveis para conteúdo de carbono no solo e vegetação convertida, que determinam a conversão do desmatamento em emissões de GEE. Estimativas do conteúdo de carbono da biomassa acima e abaixo do solo dependem da precisão dos dados, que só pode ser melhorada com pesquisas de campo intensivas. A incerteza dos dados utilizados para este estudo nacional é estimada em cerca de 20%, afetando principalmente o Cenário de Referência, uma vez que a conversão da vegetação nativa é reduzida a níveis bastante baixos no Cenário de Baixo Carbono.

No Cenário de Baixo Carbono, uma incerteza adicional é o ritmo de liberação de pasto para a expansão de plantios e, ao mesmo tempo, atender ao Cenário da Legalidade adotado como meta para a remoção de carbono com base no restauro florestal, sem induzir desmatamento. A rápida queda de emissões por desmatamento exige esforços consideráveis para aumentar a produtividade pecuária e liberar pasto para outras atividades. À medida que a liberação dos pastos mantiver o ritmo da necessidade anual por terras adicionais para expansão do plantio e recuperação das reservas legais, a conversão da vegetação nativa não será mais necessária; na teoria, o desmatamento e as emissões relacionadas a ele serão então zerados. Algumas questões importantes dizem respeito ao ritmo da liberação de pasto e à expansão na agricultura – se ficarão equilibrados, e se as condições necessárias serão criadas para garantir que o ritmo da expansão da agricultura não seja rápido demais. É de extrema importância que seja alcançado o ritmo correto no lado da pecuária e que sejam fornecidos os incentivos corretos – positivos e/ou negativos – para proteção florestal. Se os gastos necessários com financiamento não forem realizados a tempo, é de se esperar um efeito rebote e o desmatamento e as emissões relacionadas a ele irão recomeçar.

Outra incerteza envolve o efeito esperado dos ganhos de produtividade sobre o crescimento da pecuária. No estudo, a parcela brasileira do mercado internacional é considerada uma projeção

exógena da FAPRI (Quadro 8.1). A produtividade maior poderia aumentar a concorrência e provocar uma produção maior. Como os ganhos de produtividade convergem com uma menor necessidade para áreas de pasto, esse efeito não deveria causar mais desmatamento, desde que tais ganhos estejam limitados às áreas onde antes havia sistemas de baixa produtividade.

No Cenário de Baixo Carbono, o principal potencial de remoção de carbono está no restauro de reservas florestais legais. Na verdade, o Cenário de Baixo Carbono proposto considerou concordância total com a Lei de Reservas Florestais – incluindo um enorme esforço para restaurar florestas nativas e zonas ribeirinhas – como objetivo para a remoção de carbono. Esse “Cenário da Legalidade” romperia com o passado. Pode ser difícil implementar um Cenário da Legalidade completo; já foram discutidos mecanismos de flexibilidade, especialmente em relação a reservas legais, que podem reduzir a área líquida de reflorestamento. Por exemplo, em estados da Amazônia como Rondônia e Pará, que já desenvolveram um zoneamento econômico e ecológico, a reserva legal pode ser reduzida de 80 para 50%, especialmente para propriedades rurais localizadas ao longo das principais estradas. Em troca, os proprietários se comprometeriam a restaurar completamente a reserva legal de 50%, com os 30% abatidos sendo convertidos em “áreas de consolidação da agricultura”.

Assim, o volume de remoção de carbono indicado no estudo pode estar na parte superior do escopo. Incluir a flexibilidade nos objetivos reduziria os ganhos em termos de volume de carbono sequestrado; ao mesmo tempo, facilitaria os esforços de liberação da quantidade correspondente de pasto, mitigando, portanto, o risco de indução de um vazamento de carbono. Essa conversão de vegetação nativa ocorreria em outro lugar, como resultado do efeito dominó motivado pela redução líquida induzida de terras disponíveis em nível nacional para expansão de plantio e pecuária. Em termos de equilíbrio de carbono, é preferível evitar a liberação na atmosfera do estoque total de carbono de um hectare de floresta queimada em prol da remoção progressiva de GEEs da atmosfera através do restauro de um hectare florestal. Assim, é essencial garantir a consistência entre esforços para liberar pastos e exigir o restauro das reservas legais.

8.3.3 Energia

As incertezas quanto às emissões relacionadas à energia dependem de hipóteses sobre as opções disponíveis de fornecimento no período do Cenário de Referência, assim como de projeções macroeconômicas. No que diz respeito a isso, o PNE 2030 reflete algumas escolhas estratégicas do governo brasileiro; as de baixo volume de carbono podem envolver desafios significativos de implementação. Por exemplo, o cenário B1, adotado como Cenário de Referência para este estudo, assume que haverá um crescimento contínuo na capacidade de geração hidrelétrica e no desenvolvimento de energia de biomassa, eólica e nuclear, que excede em muito as tendências observadas no passado recente. Resultados de leilões recentes de energia mostram que as hidrelétricas enfrentaram dificuldades e não alcançaram as expectativas anteriores, com uma parcela significativa das propostas vencedoras no leilão dependentes de óleo combustível, diesel, e até mesmo geração de energia termoelétrica a carvão. Medidas corretivas já estão a caminho, incluindo a simplificação do licenciamento ambiental para usinas hidrelétricas¹²⁶ e compensação de emissões de GEE para opções com alto volume de carbono, o que deve aumentar a futura participação de energia renovável, dentro das metas estabelecidas por políticas governamentais. Mesmo assim, o volume de carbono no setor energético pode aumentar para além do projetado no Cenário de Referência, pelo menos nos primeiros anos do período em consideração.

126 Ver: “Environmental Licensing for Hydroelectric Projects in Brazil: A Contribution to the Debate,” Summary Report. World Bank Country Management Unit, March 28, 2008.

8.3.4 Transporte

Para emissões relacionadas ao transporte, algumas das principais causas de incertezas envolvem a parcela de bioetanol como combustível substituto da gasolina e o ritmo de construção da infraestrutura de transporte, assim como projeções macroeconômicas. A troca de combustíveis depende de comparações de preço entre o etanol e a gasolina no nível final do consumidor, que está fortemente ligado aos preços internacionais de petróleo. Dada a alta volatilidade de preços internacionais de petróleo, o principal elemento para reduzir a incerteza e permitir o alcance de uma meta específica seria um mecanismo de ajuste para o preço do etanol. A história de três décadas do programa PROALCOOL brasileiro mostra que tal mecanismo é possível, embora possa ser especialmente caro quando os preços da gasolina caem abaixo dos custos de produção do etanol. As perspectivas atuais de altos preços de petróleo reduzem consideravelmente essa incerteza.

Construir uma nova infraestrutura de transporte é crucial para permitir uma mudança para modos de transporte de baixo carbono e para reduzir o congestionamento, o que permitiria uma diminuição nas emissões dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono. Portanto, a confiabilidade das projeções de emissões do transporte depende da capacidade dos principais intervenientes, especialmente governos locais e federal e as principais instituições financeiras, de alavancar e implementar financiamentos adequados e no momento certo.

8.3.5 Manejo de Resíduos

As emissões do Cenário de Referência para manejo de resíduos sólidos e líquidos, tais como as emissões relacionadas ao transporte, dependem, em parte, de parâmetros macroeconômicos, incluindo a demografia, que determinam a geração de resíduos. Todavia, as emissões por manejo de resíduos estão determinados principalmente pelo progresso na coleta de resíduos sólidos e pela disposição apropriada em aterros, onde ocorrem emissões adicionais de metano (CH_4) devido à fermentação anaeróbica. Assim, a incerteza sobre as emissões por manejo de resíduos no Cenário de Referência está ligada primeiramente a questões sobre financiamento e implementação de projetos de manejo de resíduos no nível municipal. Uma fonte secundária de incerteza envolve hipóteses técnicas no cálculo de emissões, especialmente relacionadas a conteúdo orgânico, onde maiores pesquisas de campo seriam necessárias para refinar as estimativas. Assumindo que os resíduos sejam coletados com eficiência, a incerteza em relação às emissões de gás em aterros continua alta, em cerca de 40 por cento.

No Cenário de Baixo Carbono, essas emissões são destruídas através de combustão em tochas de gás (*flares*) ou pequenas usinas de geração de energia. Uma vez que o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um instrumento internacional existente, demonstrou sua eficiência ao promover a destruição de gás de aterros, espera-se que as emissões de resíduos sólidos no Cenário de Baixo Carbono continuem próximas a zero, independentemente dos níveis de emissões no Cenário de Referência, sujeitas à continuação do MDL no período em consideração.

8.4 Olhando para Frente

Em resumo, as principais incertezas que afetam o sucesso relativo do Cenário de Baixo Carbono proposto envolvem uma série de desafios de implementação. O Capítulo 10 delinea maneiras de responder a esses desafios, através de melhores políticas, coordenações institucionais e incentivos, enquanto o financiamento adicional necessário será discutido no próximo capítulo.





The left side of the page features a large, abstract graphic composed of overlapping, curved shapes in various shades of green and yellow. The colors transition from dark green at the top to bright yellow in the middle, and back to a medium green at the bottom. The shapes are layered, creating a sense of depth and movement.

Capítulo 9

Financiando o Cenário de Baixo Carbono

As opções de baixo carbono propostas para o Brasil visam, em primeiro lugar, fornecer produtos e serviços que apoiem o desenvolvimento econômico sustentável do país. Essas decisões de investimentos ajudam a evitar emissões normalmente associadas com a produção do produto ou serviço em questão, seja diretamente, fazendo a mudança para tecnologias com menor volume de carbono, ou indiretamente, aumentando os ganhos de produtividade para reduzir a demanda global por terra. Assim, decisões de financiamento e investimento são orientadas por uma mistura de interesse econômico e altruísmo.

O Brasil atualmente tem uma gama de mecanismos atuantes para financiar atividades econômicas, mas poucos visam especificamente às atividades relacionadas a mudanças climáticas. Os mecanismos que não estão especificamente relacionados a mudanças climáticas poderiam ser aplicados igualmente às alternativas dos Cenários de Baixo Carbono e de Referência. Muitas das atividades propostas (ex.: integração da lavoura-pecuária, reabilitação de pastagens degradadas para uma maior produtividade, ou aumento da cogeração de eletricidade a partir do bagaço) apoiam o desenvolvimento econômico sustentável em seus setores e podem ser financiadas através de linhas de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Mas a disponibilidade, os termos e o alcance de tal financiamento podem ser limitados, especialmente quando aplicados a alternativas não convencionais.

Este capítulo analisa o volume de financiamento necessário para implementar o Cenário de Baixo Carbono proposto para cada um dos setores considerados e avalia até que ponto um financiamento adicional seria necessário para preencher lacunas em potencial. Para esse propósito, a equipe do estudo consultou diversas instituições financeiras brasileiras e analisou os mecanismos existentes de financiamento público. Uma vez que o período de 20 anos coberto por este estudo é muito mais longo do que o horizonte de tempo utilizado pela maioria das instituições financeiras, os resultados apresentados neste capítulo devem ser considerados preliminares.

9.1 Exigências Gerais de Investimento

Os custos cumulativos de investimentos das opções de baixo carbono propostas são estimados em US\$725 bilhões em termos nominais, ao longo do período de 2010 a 2030, ou em aproximadamente US\$34 bilhões por ano, em média¹²⁷. A distribuição por setor é de US\$344 bilhões para energia, US\$156 bilhões para o uso da terra, US\$141 bilhões para transportes e US\$84 bilhões para o manejo de resíduos.

Para fins de comparação, os investimentos nacionais em 2008 chegaram a US\$250 bilhões, o que representa 19% do PIB. Em 2008, o BNDES desembolsou R\$90,8 bilhões (US\$41,2 bilhões) em empréstimos, a maior parte para o setor industrial, seguido pela infraestrutura. Quanto ao IDE (Investimento Direto Estrangeiro) em 2008, chegaram a US\$30 bilhões¹²⁸. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado em 2007, espera gastar US\$503,9 bilhões ao longo de um período de quatro anos (2007-10)¹²⁹.

127 O valor presente (2009), descontado em 8%, corresponde a US\$318 bilhões.

128 BMI.

129 De acordo com o PAC, R\$503,9 bilhões serão gastos em transportes, energia, habitação e recursos para hidroenergia; além disso, o programa inclui também estímulos de crédito e financiamento, melhoria do ambiente para investimentos e medidas fiscais de longo prazo. Os investimentos planejados para o período 2007-2010 são classificados de acordo com três tipos de infraestrutura: (i) logística (rodovias, ferrovias, portos, aeroportos e hidrovias) (R\$58,3 bilhões), (ii) energia (geração e transmissão, produção, exploração e transporte de petróleo, gás natural e combustíveis renováveis) (\$274,8 bilhões) e (iii) sociais e urbanas (habitação, metrô, trens urbanos e programas de eletrificação universal e hidroenergia) (\$170,8 bilhões [dos quais R\$106 bilhões destinam-se a projetos de habitação]). Para alcançar mais rapidamente os resultados,

A diferença total de investimentos entre os Cenários de Baixo Carbono e de Referência no período de 2010-2030 é de US\$389 bilhões, ou US\$20 bilhões por ano. O potencial correspondente de abatimento é de 11,7 GtCO₂e no mesmo período, ou uma média de 560 MtCO₂e por ano (Tabela 9.1), quando incluímos as exportações de etanol e a substituição da gasolina no exterior. Enquanto o total de investimentos se estende de maneira mais ou menos equilibrada no período, é difícil antecipar investimentos de longo prazo e níveis de implementação. No caso do transporte, mais de 50% dos investimentos ocorrem no período de 2010-2015, motivados principalmente pelos projetos de infraestrutura relacionados à Copa do Mundo de 2014 (como, por exemplo, o metrô e o trem-bala). Para o setor energético, as exigências de investimentos são equilibradas ao longo do período, excetuando-se as geladeiras, cujos modelos de maior eficiência energética entrarão no mercado depois de 2015, e novas refinarias, que seguem um calendário de construção independente. Outros investimentos estão concentrados nos primeiros anos do período. Para o carvão renovável, gastam-se mais de US\$5 bilhões nos primeiros seis anos para o preparo do solo e plantio de eucaliptos. Algumas atividades propostas, envolvendo tecnologias ainda não comercializadas, têm custos decrescentes no horizonte de 20 anos.

Embora os custos totais para a implementação de um Cenário de Baixo Carbono não pareçam exorbitantes ou prejudiciais ao desenvolvimento econômico, a identificação de recursos e mecanismos de financiamento para atividades específicas de mitigação pode não ser fácil; portanto, seriam necessários programas ou ações adequadamente definidos para promover sua implementação. Além disso, conforme detalhado no Capítulo 7¹³⁰, para a mobilização de investimentos adicionais necessários, principalmente do setor privado, seria necessário oferecer incentivos para tornar as opções de baixo carbono atraentes do ponto de vista econômico, quando comparadas às opções mais convencionais. O incentivo econômico correspondente não seria somente receitas através da venda de créditos de carbono; outros incentivos, tais como diferentes condições de financiamento ou créditos fiscais, poderiam ser utilizados. As opções de mitigação para o setor de transporte exigiriam a maior quantidade média anual de incentivos, aproximadamente de US\$ 9 bilhões, seguido pelo setor de energia, com US\$ 7 bilhões, resíduos, com US\$ 3 bilhões e LULUCF em torno de US\$ 2,2 bilhões. No entanto, a maioria das medidas de eficiência energética não exigiriam incentivos.

o governo brasileiro optou por projetos de recuperação de infraestrutura, pela finalização de projetos já em desenvolvimento e pela iniciação de outros, com forte potencial de geração de desenvolvimento social e econômico. Os planos de investimento incluem a construção e recuperação de 45.000 km de estradas e de 2.518 km de ferrovias, a expansão e a melhoria de 12 portos e de 20 aeroportos, mais de 12 GW em geração de energia, construção de 13.826 km de linhas de transmissão e a instalação de quatro refinarias de biodiesel e 77 usinas de etanol.

130 Ver Seção 7.1.2 A “Abordagem Privada”: Determinando o Preço de Equilíbrio do Carbono

Tabela 9.1: Comparação das Exigências de Investimentos Setoriais para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono por Opção de Mitigação, 2010–30*

<i>Setor</i>					Baixo Carbono	<i>Diferencial Anual</i>
<i>Medida de Abatimento</i>	<i>Potencial de Abatimento</i>	<i>Potencial anual de Abatimento</i>	<i>Investimento no Cenário de Referência (bilhões de US\$)</i>	<i>Investimento no Cenário de Baixo Carbono (bilhões de US\$)</i>	<i>Diferencial de investimento</i>	
	<i>(Mt CO₂e)</i>	<i>(Mt CO₂e)</i>			<i>(bilhões de US\$)</i>	<i>(bilhões de US\$)</i>
Uso da Terra e Mudanças do Uso da Terra						
Reflorestamento	1.085	52	-	54,140	54,140	2,578
Expansão do plantio direto	355	17	0,215	0,153	(0,062)	(0,003)
Redução do Desmatamento mais pecuária	6.041	288	41,845	102,420	60,575	2,885
Total de uso da terra e mudanças do uso da terra	7.481	356	42,060	156,713	114,653	5,460
Energia						
<i>Geração de eletricidade</i>						
Linha de transmissão (Brasil-Venezuela)	28	1	1,676	0,455	(1,221)	(0,058)
Cogeração de cana de açúcar	158	8	16,756	52,264	35,508	1,691
Energia Eólica	19	1	4,287	12,898	8,611	0,410
<i>Conservação de Eletricidade</i>						
Aquecimento solar residencial	3	0	3,439	4,605	1,166	0,056
Iluminação residencial	3	0	0,903	1,197	0,294	0,014
Refrigeradores (MEPS)	10	0	42,734	48,785	6,051	0,288
Iluminação comercial	1	0	0,265	0,748	0,483	0,023
Motores elétricos	2	0	3,399	4,601	1,202	0,057
Iluminação Industrial	1	0	0,108	0,286	0,178	0,008
Reciclagem	75	4	-	0,249	0,249	0,012
<i>Produção de combustíveis fósseis</i>						
Gas-to-liquid (GTL)	128	6	2,310	6,986	4,676	0,223
Novas Refinarias	52	2	116,753	120,908	4,155	0,198
Refinarias existentes (integração energética)	52	2	-	4,028	4,028	0,192
Refinarias existentes (controle de incrustação)	7	0	-	-	-	
Refinarias existentes (controles avançados)	7	0	-	1,492	1,492	0,071
<i>Conservação de combustíveis fósseis</i>						
Otimização da combustão	105	5	-	2,215	2,215	0,105
Sistema de recuperação de calor	19	1	-	0,323	0,323	0,015
Sistema de recuperação de vapor	37	2	-	0,819	0,819	0,039
Sistema de recuperação do calor de fornalhas	283	13	-	8,074	8,074	0,384
Novos processos industriais	135	6	-	37,995	37,995	1,809
Outras medidas de eficiência energética	18	1	-	0,827	0,827	0,039
<i>Substituição de combustíveis fósseis</i>						

Energia térmica solar	26	1	-	1,482	1,482	0,071
Substituição do carvão não renovável por carvão renovável	567	27	-	8,794	8,794	0,419
Gás natural em substituição de outros combustíveis	44	2	-	4,088	4,088	0,195
Exportações de etanol substituindo gasolina no exterior	667	32	3,817	19,680	15,863	0,755
Total de Energia	2.447	117	196,447	343,799	147,352	7,017
Transportes						
<i>Regional</i>						
Substituição doméstica de gasolina por etanol	176	8	9,992	20,158	10,166	0,484
Investimento em ferrovias e hidrovias vs. rodovias	63	4	32,074	41,707	9,633	0,459
Trem-bala (São Paulo-Rio de Janeiro)	12	1	-	28,759	28,759	1,369
<i>Urbano</i>						
Metrô e BRT	174	9	6,562	49,182	42,620	2,030
Otimização do tráfego	45	2	-	1,050	1,050	0,050
Investimento em ciclovias	17	1	-	0,303	0,303	0,014
Total de Transportes	487	23	48,628	141,159	92,531	4,406
Manejo de resíduos						
Destruição de metano de aterros sanitários	963	46	1,984	5,687	3,703	0,176
Tratamento de águas servidas mais destruição de metano	116	6	40,075	41,678	1,603	0,076
Tratamento de águas servidas mais destruição de metano (ind.)	238	11	7,314	36,569	29,255	1,393
Total de manejo de resíduos	1.317	63	49,373	83,934	34,561	1,646
Total	11.732	560	336,508	725,605	389,097	18,528
Exclui ar condicionado (MEPS) e BRT						

Exigências financeiras setoriais dos Cenários de Baixo Carbono e de Referência variam significativamente em quantidade; disponibilidade de recursos federais, estaduais e municipais; envolvimento do setor privado; incentivos financeiros e fiscais; e disponibilidade de crédito. Portanto, a equipe do estudo analisou a lacuna potencial de financiamento para o Cenário de Baixo Carbono por setor. Os resultados, apresentados nas Seções 9.2-9.5, não são de forma alguma completos; seria necessária uma análise mais ampla para avaliar se os mecanismos são apropriados para as opções de mitigação propostas.

9.2 Necessidades de Financiamento para Uso da Terra e Modificações no Uso da Terra

No Cenário de Baixo Carbono, os custos cumulativos associados com LULUCF chegam a US\$156 bilhões, quase US\$114 bilhões a mais do que no Cenário de Referência (Tabela 9.1). Esses custos incluem aproximadamente US\$24 bilhões para a área de proteção florestal no período de 20 anos do estudo. Os mecanismos de financiamento existentes no setor LULUCF incluem linhas de crédito financiadas pelo governo para produção sustentável e silvicultura, fundos constitucionais regionais, financiamento do setor privado, e mecanismos iniciados recentemente, como o Fundo Amazônia. Planos governamentais anuais e bianuais incluem

financiamentos específicos para agricultura e pecuária.. As principais instituições financeiras ligadas ao governo que apoiam esses setores são o Banco do Brasil (com 60% de todo o crédito rural), a Caixa Econômica Federal (CAIXA) e o BNDES. Bancos regionais, como o Banco da Amazônia e o Banco do Nordeste do Brasil (BNB) dedicam-se a investir no desenvolvimento nas regiões Nordeste e da Amazônia.

Os custos de investimento associados com o plantio direto no Cenário de Baixo Carbono chegam a US\$1,12 bilhão (US\$153 milhões mais US\$967 milhões para custos de operações e manutenção) ou US\$151 milhões a menos do que no Cenário de Referência. A produtividade é considerada igual para ambos os cenários; a redução de custos no sistema de plantio direto no Cenário de Baixo Carbono é resultado de menos mão-de-obra necessária e menos horas de uso de máquinas. Obstáculos para a transição para a produção através do plantio direto incluem uma percepção de alto risco na mudança para esse sistema e pouco conhecimento sobre a implementação apropriada.

Os custos cumulativos para o aumento da produtividade na pecuária no Cenário de Baixo Carbono chegam a R\$946 bilhões (US\$430 bilhões) no período de 2010–30, ou aproximadamente US\$20,4 bilhões por ano (incluindo custos de operações e manutenção). Cerca de três quartos deste total representam gastos em operações e manutenção, que devem ser financiados. No Cenário de Referência, esses custos podem ser considerados adicionais, já que sistemas de alta produtividade são responsáveis por apenas 10% da produção total naquele cenário.¹³¹ Entretanto, no Cenário de Baixo Carbono, eles são responsáveis por 60% da produção total em 2030.

O BNDES tem um programa de estímulo financeiro para práticas sustentáveis relacionadas à produção de agricultura e pecuária, incluindo o programa PRODUSA, que apoia a recuperação de áreas de pastagem degradadas para maior produtividade e o FINAME-Agrícola, que apoia o financiamento de custos de máquinas de agricultura e instalações. Historicamente, o setor de pecuária no Brasil tem acesso limitado ao crédito. Tipicamente, os produtores dependem bastante de seu capital próprio para investimento. Os sistemas de produção mais tradicionais têm TIRs baixas; 0,5%, na parte superior dessa gama, que não são suficientes para cobrir custos de financiamento bancário, mesmo com taxas de juros subsidiados de 5-8,5% (Banco da Amazônia) e 5,75–6,75% (BNDES). A transição de um sistema de produtividade baixa para um de produtividade mais alta pode aumentar a TIR da atividade, mas exige um grande investimento de capital, que, por sua vez, exige financiamento bancário. Isso pode ser um obstáculo, uma vez que o retorno desses investimentos teria que ser no mínimo igual aos custos de financiamento, mais o retorno esperado para o investidor.

O acesso limitado ao crédito é evidenciado pela pesquisa conduzida em 2003 pela Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária (CNA); 54% dos produtores entrevistados disseram que não tinham acesso a crédito com juros mais baixos do que 8,75% por ano, devido a exigências de endividamento impostas por bancos e credores. O mesmo número de produtores não conseguiu obter financiamento através do Programa Nacional para Recuperação de Pastos Degradados (PROPASTO), pois os bancos afirmaram não possuir recursos para financiamento (Martha e Vilela, 2007). Um dos maiores desafios para garantir que o Cenário de Baixo Carbono proposto possa realmente alcançar a maior parte das reduções de emissões esperada está nesses obstáculos de financiamento para o setor pecuário.

¹³¹ No Cenário de Referência, o investimento anual total estimado para a pecuária para carne (menos produtiva e menos lucrativa), com base em uma área total de 204 milhões de hectares e sistemas de produção atuais, era de aproximadamente US\$32 bilhões (EMBRAPA). Em 2007, financiamentos através de instituições financeiras ligadas ao governo representavam aproximadamente 10% dos custos necessários.

Além do financiamento de sistemas de produção de maior produtividade na pecuária para liberar terra para a expansão de outras atividades, evitando assim o desmatamento, outras medidas de proteção florestal podem ser necessárias. A principal razão é a lacuna significativa entre o tempo em que a demanda por terra que seria reduzida através do ganho de produtividade na pecuária e o tempo para que as mudanças no comportamento dos agentes do desmatamento na fronteira possam ser observados de maneira eficiente; ou seja, a especulação sobre a demanda por terra poderia continuar, apesar de já haver sido reduzida. Um segundo motivo é que a atividade de derrubar árvores e usar a terra onde estas se encontravam costuma ter um maior valor econômico do que manter as árvores (Capítulo 3).

Já é difícil o bastante evitar o desmatamento, quanto mais restaurar áreas onde lucros econômicos serão perdidos. Apesar de tais desafios, os programas financiados pelo governo brasileiro historicamente tentam controlar o desmatamento, restaurar florestas nativas e recuperar áreas degradadas. Já foi mencionado que o uso de linhas de crédito para projetos ambientais, especialmente aqueles direcionados ao reflorestamento de reservas legais, têm sido pouco utilizados; na prática, é improvável que pequenos empresários peçam empréstimos para financiar o restauro de reservas legais quando isso envolve simultaneamente a perda de lucros econômicos da terra a ser restaurada mais os custos financeiros para restaurá-la.¹³²

Os custos de restauro florestal associados ao cumprimento da Lei das Reservas Legais são estimados em US\$54 bilhões (44,2 milhões de hectares) no período de 2010–30. Esses custos estão limitados ao restauro florestal, e não cobrem o custo de oportunidade da renda perdida gerada pela terra. Alguns projetos de restauro florestal obtiveram financiamento através do Fundo Global Ambiental (GEF) e iniciativas do setor privado, como o projeto do MDL de reflorestamento da AES Tietê. Outros projetos são resultado da aplicação de obrigações legais. Outras iniciativas visam o restauro de florestas, embora poucas sejam do tamanho e escala necessários para gerar um impacto nacional. Embora a implementação de projetos de restauro florestal possa ser limitada por barreiras ecológicas, o principal obstáculo é a falta de incentivos para empresários rurais financiarem o custo do restauro florestal ao mesmo tempo que sacrificam a renda gerada pela terra em uso.

Considerando o grande volume de financiamento e o nível de envolvimento do setor público necessários, projetos que se concentram na redução de emissões do desmatamento e aumento da remoção de carbono através do restauro florestal provavelmente precisarão de financiamento internacional. Uma fonte em potencial é o Fundo Amazônia, que foi criado para financiar atividades que evitam e monitoram o desmatamento, assim como promover o uso sustentável da floresta e a conservação na Amazônia e outros biomas tropicais (Seção 9.6).¹³³

Em resumo, a participação do setor público provavelmente será predominante no financiamento de projetos do setor LULUCF. Considerando suas políticas, capacidade de execução, e fontes dedicadas de financiamento, o setor público será vital para o sucesso das opções de mitigação propostas através da alocação de recursos nacionais e internacionais do Fundo Amazônia. Esforços relacionados à agricultura e pecuária devem continuar a receber incentivos e financiamentos governamentais significativos através de programas dedicados. Considerando o nível significativo de emissões evitadas através do aumento da produtividade na

132 Decreto Nº 6.514, alterado pelo Decreto Nº 6.686, irá impor punições e multas diárias para proprietários que não cumprirem a exigência de manter porcentagens estipuladas de vegetação nativa dentro de seus territórios a partir de 12 de Novembro de 2009; a maior parte dessas exigências afeta a região Amazônica, seguida pelo Cerrado e outros biomas.

133 Instrumentos financeiros como o MDL podem ser utilizados em casos onde o setor privado esteja mais disposto a participar.

pecuária, atenção adequada é requerida para a melhoria dos incentivos para o setor da pecuária e a disponibilidade de crédito.

9.3 Necessidades de Financiamento Energético

As opções de mitigação no setor energético são algumas das mais caras, pois envolvem investimentos significativos em capital comparados com outras opções menos intensivas em capital. No Cenário de Baixo Carbono, os custos cumulativos de investimento associados ao setor energético chegam a US\$344 bilhões, US\$147 bilhões a mais do que o Cenário de Referência (Tabela 9.1).

Comparado com os outros setores considerados neste estudo, o setor energético tem uma longa história de financiamento centralizado através de grandes empresas estatais como a Petrobras e a Eletrobrás, assim como programas específicos, subsídios e cobranças através das empresas de distribuição de eletricidade. Além disso, existem regulamentos específicos para a produção e consumo de biodiesel, a eficiência energética e planos energéticos nacionais de longo prazo, o que facilita o planejamento e orçamento setorial.

Este estudo divide as exigências adicionais de financiamento para as opções de mitigação do setor energético no Cenário de Baixo Carbono em três áreas: (i) geração e conservação de eletricidade, (ii) produção de combustíveis fósseis, e (iii) conservação e substituição de combustíveis fósseis. As opções de mitigação relacionadas à geração e conservação de eletricidade exigiriam US\$126 bilhões em investimentos; a produção de combustíveis fósseis exigiria US\$133 bilhões, enquanto a conservação e substituição de combustíveis fósseis precisariam de US\$84 bilhões. A maioria das opções de mitigação de baixo carbono propostas envolveria a intensificação do uso de tecnologias existentes, exceto pelo GTL, que é uma tecnologia nova. É importante ressaltar que mecanismos de financiamento já existentes poderiam ser utilizados para implementar a maioria dessas opções.

Uma opção de financiamento em potencial que é especialmente adequada ao setor energético é o Fundo Nacional para Mudanças Climáticas, que financiaria o Plano de Políticas e Mudanças Climáticas brasileiro. Esse fundo utilizaria parte dos recursos gerados através da exploração e produção de petróleo para evitar ou minimizar os danos ambientais causados por essas atividades. Com base na produção projetada da Petrobras em 2010 e 0,05% da renda líquida (resultados de 2007), o fundo poderia disponibilizar US\$50 milhões por ano em atividades de mitigação de mudanças climáticas (Seção 9.6).

9.3.1 Geração e Conservação de Eletricidade

Investimentos em geração e conservação de eletricidade no Cenário de Baixo Carbono chegam a US\$126 bilhões, com US\$66 bilhões para geração e US\$60 bilhões para conservação. Os investimentos em geração de eletricidade, com um total de US\$43 bilhões a mais do que no Cenário de Referência, incluem a linha de transmissão Brasil-Venezuela de energia hidrelétrica, Cogeração a partir do bagaço de cana-de-açúcar e energia eólica. Investimentos em conservação de eletricidade, cujo total é de cerca de US\$10 bilhões a mais do que no Cenário de Referência, tem um custo adicional de aproximadamente US\$458 milhões por ano. As opções de mitigação de eficiência energética variam de aquecedores solares e refrigeração residenciais até iluminação industrial, residencial e comercial, motores elétricos e reciclagem. Os principais investimentos de geração e conservação são descritos nas subseções a seguir.

9.3.1.a Hidrelétrica: Linha de Transmissão Brasil-Venezuela

Embora a geração hidrelétrica represente uma grande parcela dos investimentos futuros necessários, isso não afeta diretamente as necessidades de financiamento adicionais avaliadas para o Cenário de Baixo Carbono. O principal motivo para isso é que o Cenário de Referência já levou em conta o correspondente potencial energético com menor volume de carbono (PNE 2030), e este estudo avaliou que não seria possível um maior desenvolvimento hidrelétrico além daquele previsto no Cenário de Referência em um horizonte de 20 anos. Assim, os custos de geração hidrelétrica são os mesmos, tanto no Cenário de Referência quanto no de Baixo Carbono. A construção das 25 usinas hidrelétricas consideradas no PNE 2030 e as correspondentes linhas de transmissão exigiriam R\$2.900 por kW ou cerca de R\$32 bilhões (US\$14,5 bilhões) por ano.

Apesar do envolvimento do setor privado, o governo brasileiro oferece financiamento em consórcio através do BNDES, que investe tradicionalmente no setor energético (R\$52,2 bilhões desembolsados em 2006) e no Fundo de Garantia a Empreendimentos de Energia Elétrica (FGEE), criado em 2008 (Medida Provisória Nº 450) para garantir a participação (direta ou indireta) de empresas estatais nos projetos de construção de energia elétrica do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC).

9.3.1.b Cogeração de Cana-de-Açúcar

O custo cumulativo para cogeração à base de cana-de-açúcar no Cenário de Baixo Carbono é de US\$52 bilhões, ou US\$35 bilhões a mais do que no Cenário de Referência. Essa quantia leva em consideração os altos custos de interconexão, que podem ser proibitivos em relação aos investimentos totais de geração, e equipamento de instalação para aproximadamente 300 novas destilarias. O custo estimado por nova usina é de US\$150 milhões em média, e a distância média da rede é de 35-40 km, para um total de 10.000-12.000 km de linhas adicionais. São necessários US\$13,7 milhões para reformar usinas em moinhos existentes, enquanto novas unidades de cogeração exigem um investimento de quase US\$45,2 milhões. A capacidade instalada cresce continuamente no período de 2010-30 (de cerca de 1.000 MW por ano nos primeiros cinco anos para quase 5.000 MW por ano nos últimos cinco anos) devido ao crescimento da capacidade das destilarias (de 2 Mt por ano em 2010 para 4,5 Mt por ano em 2030).

Praticamente todas as usinas de etanol são auto-suficientes no que diz respeito à cogeração de eletricidade. Entretanto, em muitos casos, não há incentivos financeiros suficientes para que os empresários implementem medidas para aumentar a geração de eletricidade para vendas na rede. Além disso, a remuneração é maior para investimentos de produção primária (ex.: plantar cana-de-açúcar para etanol). São necessários no mínimo de 6-10 anos para gerar um retorno no capital investido em projetos de cogeração.¹³⁴ Como resultado, grandes empresários com alta capacidade de alavancagem têm acesso mais fácil às linhas de crédito do que pequenos empresários. Mas a maior parte do potencial não está nos pequenos moinhos. Existe investimento do setor privado e linhas de crédito de instituições financeiras como o BNDES e FINAME-Agrícola/FINEM. As barreiras mais importantes para o aumento da cogeração de cana-de-açúcar são as restrições físicas e econômicas no que diz respeito à interconexão com a rede (distância da rede pode tornar o investimento inviável). Além disso, existem questões regulatórias relacionadas à determinação de tarifas para o uso do sistema de distribuição. Ao mesmo tempo, aperfeiçoamentos tecnológicos têm ocorrido no que diz respeito à disponibilidade da biomassa, hidrólise para produção de etanol, e tecnologia de gaseificação (que se beneficiaria de esforços mais significativos de P&D).

134 A eliminação de subsídios governamentais para produção de etanol começou em meados da década de 1990.



Co-geradores que tentam se conectar à rede encontram dificuldades com as empresas de distribuição, que não recebem incentivos adequados para a recuperação de investimentos em custos de transmissão. Esse problema é causado principalmente pela falta de informação no que diz respeito ao investimento necessário, pois as empresas de distribuição podem impor soluções técnicas que os investidores não têm como antecipar. Esse tipo de questão já foi resolvido para pequenas hidrelétricas (através de descontos nos preços de transmissão, o que reduz os custos totais). Se as linhas de transmissão forem construídas pelo empreendedor do projeto de cogeração sem qualquer assistência financeira, muitos projetos não serão viáveis. Deve-se ressaltar que mesmo as unidades maiores de cogeração têm menor capacidade do que usinas térmicas de tamanho médio, e são mais dispersas, resultando em maiores custos de interconexão.

9.3.1.c Energia Eólica

O custo cumulativo para a geração de energia eólica no Cenário de Baixo Carbono chega a US\$12,9 bilhões, ou US\$8,6 bilhões a mais do que no Cenário de Referência. No período de 20 anos, os custos de investimento no Cenário de Baixo Carbono chegariam a US\$430 milhões por ano.

O principal programa de incentivo do governo brasileiro para a energia eólica é o programa de energia renovável conhecido como PROINFA. Criado em 2002 e administrado pela Eletrobrás, o PROINFA completou sua primeira fase em 2005, com 3.300 MW de fontes de energia renovável (1.379 MW de energia eólica, 1.266 MW de energia solar e 655 MW de biomassa). O CDE supriu os fundos para a primeira fase, e o BNDES criou um programa em 2004 para investir R\$5,5 bilhões (US\$2,5 bilhões) no PROINFA. De acordo com a Eletrobrás, os investimentos visados pelo PROINFA chegam a aproximadamente R\$10,14 bilhões (US\$4,6 bilhões), com financiamento de R\$7 bilhões (US\$3,18 bilhões). Investimentos do PAC em projetos eólicos são estimados em R\$59 bilhões (R\$48 bilhões em projetos do PROINFA e R\$11 bilhões em investimentos do setor privado). A Conta de Consumo de Combustíveis (CCC) financia o PROINFA e outros projetos de energia renovável através de um mecanismo de subrogação, onde parte dos subsídios para cobrir os déficits de sistemas diesel isolados pode ser passada para uma fonte de energia alternativa, reduzindo portanto o consumo de diesel.

No geral, a intensificação da implementação de projetos de energia eólica no Brasil se beneficiaria não apenas de financiamento adicional. Outros programas como o PROINFA, que poderiam garantir Acordos de Compra de Energia ou outros fluxos de renda, são necessários.

9.3.1.d Medidas de Eficiência Energética

Custos cumulativos de investimento para opções de conservação de eletricidade no Cenário de Baixo Carbono chegam a US\$60 bilhões, contra US\$50 bilhões no Cenário de Referência, com custos anuais adicionais de US\$458 milhões no período de 2010-30. Embora os custos marginais por tCO₂ e para muitas dessas opções de mitigação possam ser negativos, implicando em economias significativas, equipamento e maquinário ainda exigem custos de investimento.

Embora os esforços para promover a eficiência energética tenham ajudado a estabelecer um arcabouço legal e a mobilizar recursos, o mercado sustentável de conservação de energia ainda precisa amadurecer. Uma lei de eficiência energética aprovada em 2001 (Lei 10.295) estipula padrões mínimos de eficiência energética para equipamentos e edifícios. O setor já possui fontes dedicadas de financiamento e programas governamentais (ex.: PROCEL, PROESCO, CTenerg, e o Programa de Eficiência Energética da ANEEL). O PROCEL, criado em 1985, é um programa nacional

criado para combater o desperdício de eletricidade; 70% de seus fundos vêm da Reserva Global de Reversão (RGR), que, desde 1957, avaliou uma taxa de 0,75-1% nos lucros líquidos das utilidades elétricas.¹³⁵ O PROESCO, uma linha de crédito através do BNDES, financia projetos de economia energética para diversas áreas e usos finais. O CTEnerg é um fundo setorial criado no ano 2000 para investir em programas de P&D de eficiência energética; fontes de financiamento vêm das receitas líquidas anuais das distribuidoras de energia elétrica; em 2007, a arrecadação total chegou a R\$200 milhões (US\$90,9 milhões), dos quais apenas US\$30 milhões foram investidos.

Os custos de mitigação de eficiência energética por MtCO₂e estão entre os mais baixos. Considerando o nível de investimento necessário e a experiência do Brasil no financiamento de projetos de eficiência energética, parece provável que haja muita participação do setor público no financiamento de tais atividades, através de programas específicos como o PROCEL, redirecionando taxas arrecadadas por empresas, e linhas de crédito dedicadas adicionais tais como o PROESCO.

9.3.2 Produção de Combustíveis Fósseis

Os custos cumulativos de investimento para a produção de combustíveis fósseis no Cenário de Baixo Carbono chegam a US\$133 bilhões, somente US\$14 bilhões a mais do que no Cenário de Referência. Opções de mitigação de baixo carbono estão relacionadas à produção e refino, conservação e troca de combustíveis.

Quanto a conversão de gás natural em combustíveis líquidos (GTL), as principais barreiras ao investimento são os custos altos e o estágio inicial de desenvolvimento. Necessidades de financiamento poderiam ser parcialmente atendidas através de financiamento do BNDES, multas por queima de gás, financiamento de carbono através do MDL, e possivelmente a eliminação dos *royalties* para gás destinado ao GTL.

Outra barreira aos investimentos é a falta de incentivos para as empresas petrolíferas reduzirem suas próprias emissões. Normalmente, essas empresas são responsáveis por suas emissões de CO₂e, e têm capacidade técnica e financeira para agir; mas sem a imposição de exigências, provavelmente preferirão investir em exploração e produção. Assim, é importante criar incentivos para se igualar aos retornos esperados de seu negócio principal ou obrigá-las, através de regulamentos ou normas, a eliminar parte de suas emissões.

Também seria benéfico obter financiamento para pesquisas tecnológicas adicionais. Um exemplo é o fundo de pesquisas CT-Petro. Criado em 1999, o CT-Petro estimula a inovação na cadeia de produção de petróleo e gás e desenvolve a capacidade humana e projetos em parceria com outras empresas, universidades e centros de pesquisa no Brasil; suas fontes de financiamento vêm de 25% do valor dos *royalties* que excedem a produção de petróleo e gás natural a 5% (Finep 2008). Em 2004, o total de fundos era de R\$1,6 bilhões, mas os fundos executados foram de apenas R\$595 milhões, ou 37,5% do total.

Multas por queima de gás são outra fonte potencial de financiamento. Os limites de permissão para queima de gás são diminuídos gradativamente, e as empresas que não cumprem esses limites recebem multas. O Brasil já adotou tais medidas no passado (ex.: o Plano Queima Zero), que não incluíram multas para queima de gás (ANP 2001). O Plano Queima Zero levou a um plano em 2001 para a otimização e uso de gás (Petrobras 2007).

Eliminar *royalties* também poderia gerar fundos. Atualmente, pagam-se *royalties* sobre o valor

¹³⁵ Espera-se que a coleta termine ao fim do ano civil de 2010. Entretanto, no fim do ano fiscal de 2008, o fundo havia recolhido mais de R\$7 bilhões (US\$3,2 bilhões).

do gás natural queimado, mesmo que este não resulte em benefício econômico algum. Eliminar esses *royalties* significaria uma alteração na lei existente, o que envolveria outros custos e medidas além do alcance deste estudo. Considerando que os *royalties* representam 10% do valor bruto da produção, com um preço de gás natural de R\$0,70 por m³ e um volume de 96,23 milhões m³ por ano, haveria um benefício de R\$6,7 milhões (US\$0,3 milhões) por ano, que poderia ser investido em GTL.

Quanto às opções de mitigação envolvendo refino, poderia ser possível cobrir parte dos custos adicionais de financiamento através de programas de incentivo para refinarias com eficiência energética. Programas existentes incluem o Programa Nacional para Racionalização do Uso de Derivativos de Petróleo e Gás Natural; conhecido como CONPET, esse programa é coordenado por entidades do Governo Federal e iniciativas privadas. A Petrobras é responsável pelo fornecimento de recursos técnicos, administrativos e financeiros; mas seu orçamento anual é de apenas R\$5 milhões (US\$2,3 milhões).¹³⁶ O CT-Petro poderia ser direcionado à condução de pesquisas sobre alternativas promissoras como a captura e armazenamento de carbono (CAC).

9.3.3 Conservação de Combustíveis Fósseis

Os custos totais de investimentos estimados para implementar as opções de mitigação de conservação de combustíveis fósseis para o setor industrial chegam a cerca de US\$50 bilhões no período de 2010–30; todos são considerados incrementais em relação ao Cenário de Referência. Os investimentos estimados são previstos apenas para o Cenário de Baixo Carbono, com o entendimento de que os custos para a adaptação ou substituição de novos equipamentos são adicionais ou complementares (investimentos de eficiência energética são de natureza incremental).

Existem poucas fontes de fundos e programas para eficiência energética no setor industrial, com exceção do PROCEL para motores elétricos. Em relação aos combustíveis, que deveriam ser cobertos pelo CONPET, poucas ações de substância foram tomadas. A Petrobras deve promover a redução do consumo de combustíveis, ao mesmo tempo tendo que maximizar suas vendas e lucros. A mesma questão ocorre com o aumento do suprimento de gás natural – e como o objetivo da empresa é aumentar o mercado, isso não é consistente com o objetivo de alcançar a redução da demanda e consumo.

A indústria tem acesso a linhas de crédito menores através da FINEP para projetos relacionados a desenvolvimento e inovação. Nesse caso, os recursos vêm de fundos setoriais administrados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), tais como o CT-Petro e CTEner, já mencionados acima. As empresas têm acesso indireto a esses fundos através de projetos de parceria com universidades ou centros de pesquisa, ou acesso direto através de programas de subvenção.

Opções de mitigação de combustíveis fósseis e conservação energética, especialmente na indústria, poderiam beneficiar-se de fontes adicionais de recursos ou programas com ações dirigidas, tais como incentivos para energia térmica solar ou substituição de combustíveis fósseis.

9.3.4 Substituição de Combustíveis Fósseis: Carvão Renovável

Embora o carvão renovável a ser usado nas indústrias de ferro e aço também afete o uso da terra, para os propósitos desta seção do estudo, esta opção de mitigação entra na categoria de substituição de energia gerada por combustível fóssil. No período de 20 anos considerado

¹³⁶ Como investimentos relacionados a refinarias continuam sob o domínio da Petrobras, não serão discutidas exigências adicionais de financiamento para essas opções de mitigação relacionadas ao envolvimento do setor privado.

pelo estudo, o custo cumulativo total de investimentos para essa atividade de mitigação é de US\$8,8 bilhões ou US\$42 milhões por ano. O investimento necessário é estimado em US\$5 bilhões nos primeiros 7 anos, para a redução de 567 MtCO₂e ou aproximadamente US\$2.000–2.500 por hectare. Embora o BNDES ofereça financiamento e linhas de crédito específicas direcionadas ao restauro e manutenção de reservas legais, assim como o plantio comercial, não existe diferenciação entre florestas plantadas para a indústria siderúrgica e outras indústrias (ex.: celulose). O acesso ao financiamento só se tornou mais viável recentemente, através da habilidade de se usar florestas plantadas como garantia (semelhante ao financiamento oferecido para outros plantios). Além disso, projetos do MDL envolvendo florestas plantadas de eucalipto para a indústria siderúrgica atualmente fornecem uma fonte adicional de financiamento. Empresas da indústria siderúrgica também podem se envolver no financiamento desses projetos, significando uma participação crescente do setor privado nessa atividade de mitigação; entretanto, não houve debates com essas empresas para avaliar seu nível potencial de envolvimento ou interesse. Caso esta atividade de mitigação venha a ser implementada, é provável que os setores público e privado tenham maior participação no financiamento.

9.3.5 Conclusão

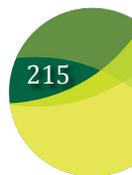
Apesar dos mecanismos de financiamento disponíveis, o setor energético como um todo ainda tem necessidades significativas de financiamento. Essas talvez poderiam ser supridas por uma alocação mais dedicada de recursos (ex.: programas de energia renovável do PROINFA, ou incentivos adicionais como permissão de financiamento do MDL, eliminação de *royalties* sobre o gás destinado ao GTL, ou linhas de crédito diferenciadas para opções específicas por indústria). Em relação às opções de mitigação de eficiência energética específicas dos combustíveis fósseis na indústria, o financiamento existente disponível através de programas específicos pode não ser suficiente para a implementação das opções de mitigação de baixo carbono. Incentivos financeiros adicionais, incluindo opções específicas por indústria (ex.: carvão renovável para indústria siderúrgica) podem ser necessários.

9.4 Necessidades de Financiamento para o Transporte

Os investimentos cumulativos necessários para o setor de transporte no Cenário de Baixo Carbono chegam a US\$141 bilhões, US\$92 bilhões a mais do que o Cenário de Referência, ou aproximadamente US\$5,1 bilhões a mais por ano. A construção da infraestrutura necessária exigirá uma intervenção significativa do governo. Ao mesmo tempo, a participação do setor privado deverá crescer através de concessões e PPPs. Além disso, será necessário um planejamento estratégico macroeconômico para avaliar o impacto das propostas de mitigação.

O investimento adicional para o transporte regional é de US\$48 bilhões (incluindo US\$10 bilhões para o aumento do consumo doméstico de etanol), enquanto mais US\$44 bilhões são necessários para o transporte urbano. Para ilustrar o tamanho do investimento necessário, o BNDES sozinho desembolsou US\$17,8 bilhões para estradas, trilhos e outras atividades relacionadas a transportes durante o período de um ano, terminando em Fevereiro de 2009. O nível de investimento necessário varia significativamente de acordo com o tipo de mitigação. Por exemplo, a construção de linhas de metrô e sistemas BRT custam US\$49 bilhões, enquanto o investimento em ciclovias exige apenas US\$303 milhões.

Financiamento para o setor de transporte é possível através de linhas de crédito específicas do BNDES, assim como do PAC (participação em infraestrutura) e fundos dedicados existentes.



Outros programas de transporte do governo incluem fundos que usam recursos do FGTS (Fundo de Garantia). O setor também conta com a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE), um imposto dedicado destinado a programas governamentais de financiamento em infraestrutura e transporte.¹³⁷ Em 2007, foram arrecadados R\$7,9 bilhões (US\$4,7 bilhões) através deste imposto.

O setor de transporte é caracterizado por um alto nível de complexidade institucional. Questões de transporte regional estão ligadas ao Ministério dos Transportes (MT), Ministério da Defesa (Transporte Aéreo) e a Secretaria Especial de Portos; enquanto o transporte urbano está ligado principalmente ao Ministério das Cidades. Além disso, cada um dos mais de 5.000 municípios do país administra de forma independente seus próprios sistemas de trânsito e transporte. Essa complexidade aumenta o desafio para a harmonização de planos e políticas coerentes, e dificulta o processo de canalização e mobilização de recursos onde estes são mais necessários, da maneira mais apropriada.

De acordo com as tendências atuais de investimento no setor, será necessário um nível significativo de investimento proveniente do setor privado, com intervenção de financiamento do BNDES. Agências estrangeiras mostraram interesse em investir em alguns dos projetos de infraestrutura do país (ex.: trem-bala).

O BNDES também possui uma linha de crédito através de seu programa FINAME dedicada à compra de caminhões. Entretanto, o acesso a essa linha de crédito é difícil, devido ao grande número de operadores independentes. Empresas transportadoras de cargas grandes normalmente têm uma estrutura de gestão adequada para substituir frotas antigas. Ao mesmo tempo, muitas vezes usam os serviços de operadores independentes. Termos diferenciados de crédito, talvez com períodos mais longos para pagamento e taxas de juros mais baixas, poderiam estimular a renovação da frota. Assumindo que 30% da frota nacional de caminhões tenha mais de 20 anos (400 mil caminhões), uma linha de crédito subsidiada para substituir 25% dessa frota exigiria US\$5 bilhões (US\$50.000 por caminhão).

9.5 Necessidades de Financiamento para Resíduos

Os investimentos cumulativos necessários para o setor de resíduos no Cenário de Baixo Carbono chegam a US\$84 bilhões nos próximos 20 anos (US\$4 bilhões por ano), ou cerca de US\$34 bilhões a mais do que no Cenário de Referência.

O setor de resíduos no Brasil tem um histórico de baixos níveis de investimentos, e até mesmo abandono, com pouco envolvimento do setor privado. Essa situação se deve, em parte, a uma cultura setorial caracterizada pela falta de planejamento de longo prazo, o que prejudica o acesso ao crédito, e possivelmente a insuficiência de recursos dedicados, combinados com falta de incentivos. O manejo de resíduos, que fica na categoria de saneamento, tem um alto nível de complexidade institucional. As principais agências governamentais responsáveis pelo planejamento, implementação e estratégia são o Ministério das Cidades, Ministério do Meio-Ambiente, Ministério da Saúde, assim como o Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. Existem políticas para o estabelecimento das diretrizes de saneamento básico, e pelo menos 23 programas e planos dirigidos, tais como o PLANSAB, cuja meta é alcançar serviços

¹³⁷ Criada em 2001, a CIDE é um imposto sobre importações e comercialização de petróleo e derivados, gás natural e derivados, e etanol (combustível). Os recursos se destinam aos programas governamentais para financiamento de infraestrutura e transporte. O CIDE foi criado para gerar um fluxo constante de recursos para financiar os diversos investimentos setoriais necessários.

básicos universais. Atualmente, o setor de resíduos aguarda leis que podem ditar como efetuar o manejo de resíduos (ex.: construção de aterros sanitários, descarte e tratamento de resíduos sólidos, e reciclagem). Números recentes, divulgados pelo Ministério das Cidades (novembro de 2009) indicam que, para chegar à universalização dos serviços básicos de saneamento nas áreas urbanas, seriam necessários cerca de R\$250 bilhões ao longo de um período de vinte anos, e o que falta são regulamentos claros para o setor, e não financiamento.

Estima-se que R\$40 bilhões (US\$18,2 bilhões) durante o período de quatro anos (2007-2010), ou R\$10 bilhões (US\$4,5 bilhões) por ano serão gastos no PAC com saneamento. Somente parte dessa quantia se destina ao manejo de resíduos, e a distribuição de gastos deverá ser feita de acordo com as necessidades de cada região, com uma estimativa de 52% a serem aplicados em grandes centros urbanos ou cidades com mais de um milhão de habitantes.¹³⁸ Deve-se ressaltar que se espera que o financiamento de metade dessa quantia, ou seja, R\$20 bilhões (US\$9 bilhões) venha do setor privado, assim como dos estados e municípios.

O orçamento nacional de 2007 alocou US\$84,1 milhões (incluindo US\$31,4 milhões como crédito de instituições financeiras) pelos diversos programas de saneamento. Essa quantia equivale a 12% e 2% das respectivas exigências anuais para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono. Mas somente parte dos fundos dedicados a programas de saneamento podem ser usados para manejo de resíduos. O imposto de limpeza urbana cobrado de residentes, amplamente ligado ao imposto de propriedades, não é apropriadamente relacionado à quantia de resíduos gerados e coletados, representando apenas 20% da coleta urbana de resíduos sólidos. Essa é uma questão significativa, que merece maiores debates e discussões.

Projetos de MDL oferecem uma fonte de recursos adicionais para projetos de manejo de resíduos e construção de aterros sanitários, seja para acelerar a recuperação de financiamento ou para abatimento de dívida. A CAIXA apresentou uma proposta de sucesso que permite a aplicação de recursos do FGTS em projetos de MDL.

No que diz respeito ao financiamento de projetos pelo setor público, o acesso dos municípios ao crédito muitas vezes é comprometido pelas restrições impostas pelo Conselho Monetário Nacional (CMN). Os municípios têm uma janela de tempo no qual podem se endividar até um certo ponto estipulado pelo CMN.¹³⁹ Infelizmente, muitos municípios que historicamente não tiveram acesso a crédito simplesmente não conhecem as regras e seus projetos não são bem desenvolvidos, ou, quando finalmente estão prontos, a janela de tempo para obter crédito já se fechou. Linhas específicas, como as linhas de apoio do BNDES a projetos ambientais,¹⁴⁰ visam municípios de baixa renda com até 100% de participação.

Quanto ao financiamento pelo setor privado de projetos através de concessões e PPPs, ainda falta conhecimento em diversas áreas. Isso inclui regulamentos aplicáveis, sistema de financiamento, habilidade de usar o MDL e o custo elevado de capital.

Resumindo, o manejo de resíduos depende de uma grande variedade de mecanismos de financiamento, possivelmente incluindo impostos dedicados, programas e financiamentos governamentais, e projetos de MDL. As fontes históricas de financiamento e fundos para projetos de resíduos são provenientes em grande parte do setor público, e indicam uma insuficiência de recursos. Seguindo em frente, parece que o setor privado terá que assumir

138 Atualmente, a principal prioridade em gastos públicos está em municípios integrados à região, com mais de 100.000 habitantes, embora existam programas que visem municípios de pequeno e médio porte.

139 Através de Resolução 2827.

140 Essas linhas incluem projetos de manejo de resíduos sólidos, ecoeficiência, reciclagem, e recuperação de áreas degradadas.

uma parcela crescente do financiamento desse setor. Para aumentar a execução de recursos financeiros, será necessário um planejamento setorial de longo prazo mais coeso e estável. Os recursos precisam ser executados consistentemente. Além disso, tanto o setor público quanto o privado precisam de maiores conhecimentos sobre processos regulatórios, incluindo acesso a financiamento, assim como os mecanismos estruturais diferenciados para integrar o financiamento de projetos menores.

9.6 Mecanismos de Incentivo Financeiro

A venda de Reduções Certificadas de Emissões (RCE) emitidas nos termos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é vista como um importante instrumento de financiamento para alcançar objetivos determinados pelo governo brasileiro no Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Esse plano inclui metas de redução das taxas de desmatamento na Amazônia e aumento da eficiência energética, da participação de energia renovável na rede nacional, concentração de etanol na mistura de combustíveis para carros, e atividades de reflorestamento. A maioria das principais metas pode se beneficiar de receitas de carbono; elas incluem cogeração e outras soluções de energia renovável como hidrelétricas, reflorestamento e plantio de florestas, eficiência energética e programas de troca de combustíveis.¹⁴¹

A maior parte dos 163 projetos de MDL no Brasil são projetos de energia renovável, a maioria dos quais concentrados em cogeração através do bagaço da cana-de-açúcar. A cogeração a bagaço representa 48% do total de projetos, seguida pelo biogás (17% de todos os projetos) e manejo de resíduos sólidos (30%). Projetos de cogeração de MDL são responsáveis por um total de 1.126 MW de capacidade instalada, enquanto pequenas hidrelétricas são responsáveis por 985 MW e, a energia eólica, por 676 MW.¹⁴² Poucos projetos de reflorestamento estão sendo desenvolvidos, pois as metodologias foram desenvolvidas vagarosamente e a demanda de mercado está reduzida à natureza temporária desse ativo. A maioria dos projetos foram desenvolvidos nos estados de São Paulo (22%), Minas Gerais (14%) e Rio Grande do Sul (10%).

O Brasil tem fontes existentes de financiamento para eficiência energética e energia renovável através de impostos comandados pelo governo; estes são dirigidos para fundos como a Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), e a Reserva Geral Reversão (RGR). De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a arrecadação para a CDE em 2009 é estimada em R\$2,8 bilhões. A arrecadação para o fundo RGR, prevista para terminar no fim do exercício civil de 2010, chegou a R\$7,2 bilhões (US\$3,26 bilhões) no final do ano fiscal de 2008. Administrada pela Eletrobrás, a RGR é a principal fonte de financiamento para programas de eficiência energética sob o PROCEL. Em relação à CCC, os impostos arrecadados chegaram a R\$1,4 bilhão em 2008. Nem todos os fundos arrecadados são utilizados para projetos de energia renovável ou de eficiência energética, mas são quantias significativas.

Tais fundos, ou parte deles, poderiam ser usados para criar o Fundo MDL Energia Renovável proposto (Fundo MDL ER), que, por sua vez, poderia investir em projetos de energia renovável e eficiência energética que gerem reduções certificadas de emissões (RCEs), uma vez aprovados pelo Conselho Executivo do MDL. De maneira a ser combinada, todas ou parte das RCEs geradas permaneceriam com o patrocinador do projeto ou seriam compradas pelo Fundo MDL ER por preços combinados, que permitiriam um nível mínimo garantido de lucratividade do projeto.

141 Werner Kornexl, "Estratégia de mitigação no Brasil", Banco Mundial, 2008.

142 Ibid.

Os RCEs obtidos pelo Fundo MDL ER poderiam então ser vendidos no mercado internacional, aumentando os recursos do Fundo, que por sua vez poderiam ser usados para investir no setor. Se obtiver sucesso, esse mecanismo poderia ser aplicado a outros projetos industriais ou setores que também possuam impostos mandatórios; ou, se os fundos permitirem, a renda gerada poderia ser dirigida para outros tipos de projetos. Se bem-sucedido, esse mecanismo permitiria que impostos governamentais fossem reduzidos ou redirecionados para outros setores da economia. Se 1% da CDE fosse dedicado à criação do fundo, cerca de US\$12 milhões – ou 850.000 RCEs, com um preço médio de US\$15 – seriam disponibilizados.

Outros fundos que recebem recursos através de semelhantes impostos mandatórios mas não estão limitados a atividades relacionadas à energia incluem os Fundos de Financiamento Constitucional das Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (FNO, FNE e FCO, respectivamente). Esses fundos recebem 3% da arrecadação geral de impostos, que são então usados para financiar atividades nas respectivas regiões; são administrados por bancos como o Banco da Amazônia, Banco do Nordeste, e Banco do Brasil. Em 2009, seus orçamentos eram de R\$2,7 bilhões (FNO), R\$7,5 bilhões (FNE), e R\$2,9 bilhões (FCO). Programas de financiamento incluem apoio para atividades como a redução do desmatamento e aumento da produtividade na pecuária.

Atualmente, circula uma proposta no governo para criar o Fundo Nacional para Mudança Climática. Esse fundo forneceria os recursos financeiros para a implementação das políticas de mudanças climáticas do país e o Plano sobre a Mudança do Clima. O fundo usaria parte dos recursos gerados através da exploração e produção do petróleo para evitar ou minimizar o dano ambiental causado por essas atividades. De acordo com o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), esse fundo poderia ser usado em empréstimos ou subvenções para projetos ou estudos. Com base nas estimativas gerais usando a produção futura projetada da Petrobras para 2010 e 0,05% da receita líquida (resultados de 2007), o fundo poderia ter potencialmente US\$50 milhões por ano para gastar em atividades de mitigação de mudanças climáticas, excluindo outras fontes de financiamento em potencial, tais como subvenções e/ou empréstimos de instituições financeiras nacionais e internacionais.

Outro mecanismo de incentivo é o Fundo Amazônia. Criado em 2008 com uma subvenção de US\$1 bilhão do governo da Noruega, o Fundo Amazônia distribuirá essa quantia em subvenções por um período de oito anos; a primeira parcela, no valor de US\$110 milhões, foi recebida no primeiro trimestre de 2009, com o restante a ser recebido até 2015. Fontes de financiamento virão exclusivamente através de doações (nacionais e internacionais), e espera-se que o Fundo cresça para mais de US\$21 bilhões até 2021. A Alemanha se comprometeu a doar EUR 18 milhões, e outros países estão considerando subvenções adicionais. O BNDES, que administra e coordena o fundo, fornece diplomas não-transferíveis para doadores e não gerará créditos de carbono como compensação. A distribuição de subvenções continuará, na medida em que o Brasil reduz suas emissões associadas ao desmatamento. De acordo com o BNDES, os fundos financiarão ações não-reembolsáveis que ajudam a prevenir, monitorar e combater o desmatamento e a promover o uso sustentável e conservação da floresta no bioma da Amazônia. Até 20% dos fundos podem ser direcionados para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento e controle de desmatamento em outros biomas localizados no Brasil assim como em outros países tropicais. A comissão técnica do fundo é composta por membros do Governo Federal do Brasil, incluindo o Ministério do Meio-Ambiente (MMA) e a Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE); governos dos estados amazônicos e representantes da sociedade civil (organizações não-governamentais, empresas, universidades e sindicatos).

9.7 Intensidade de Capital

Outro indicador, a intensidade de capital, pode ser usado para avaliar os custos das opções de mitigação propostas. A intensidade de capital de uma opção de mitigação é definida aqui como os custos de investimento incremental sobre a tecnologia do Cenário de Referência, divididos pelas emissões cumulativas evitadas durante o tempo do estudo. Neste estudo, as opções de mitigação com os menores custos marginais de abatimento são primeiramente medidas de conservação energética; porém, elas não representam necessariamente as opções com menor intensidade de capital. Por exemplo, a cogeração de cana-de-açúcar tem um custo marginal de abatimento (CMA) negativo de US\$105 por tCO₂e, mas tem uma intensidade de capital alta de US\$161.5 por tCO₂e. Por outro lado, refinarias existentes (controle de incrustação) tem um CMA de US\$73 por tCO₂e (resultado dos custos de operação e manutenção) mas intensidade de capital zero (Tabela 9.2).

Assim, uma opção de mitigação que pareça ter menor intensidade de capital pode não ter necessariamente o menor CMA, e vice-versa. Uma implicação possível de se escolher uma opção de mitigação com base na menor intensidade de capital ao invés do menor CMA é o maior custo de mitigação no longo prazo. Seria ideal que uma opção de mitigação tivesse tanto um baixo CMA quanto baixa intensidade de capital. A intensificação do sistema de plantio direto é um exemplo de CMA negativo e intensidade de capital negativa (devido à menor quantidade de trabalhadores e de horas de uso de máquinas). Obviamente essa combinação não é possível para todas as opções de mitigação.

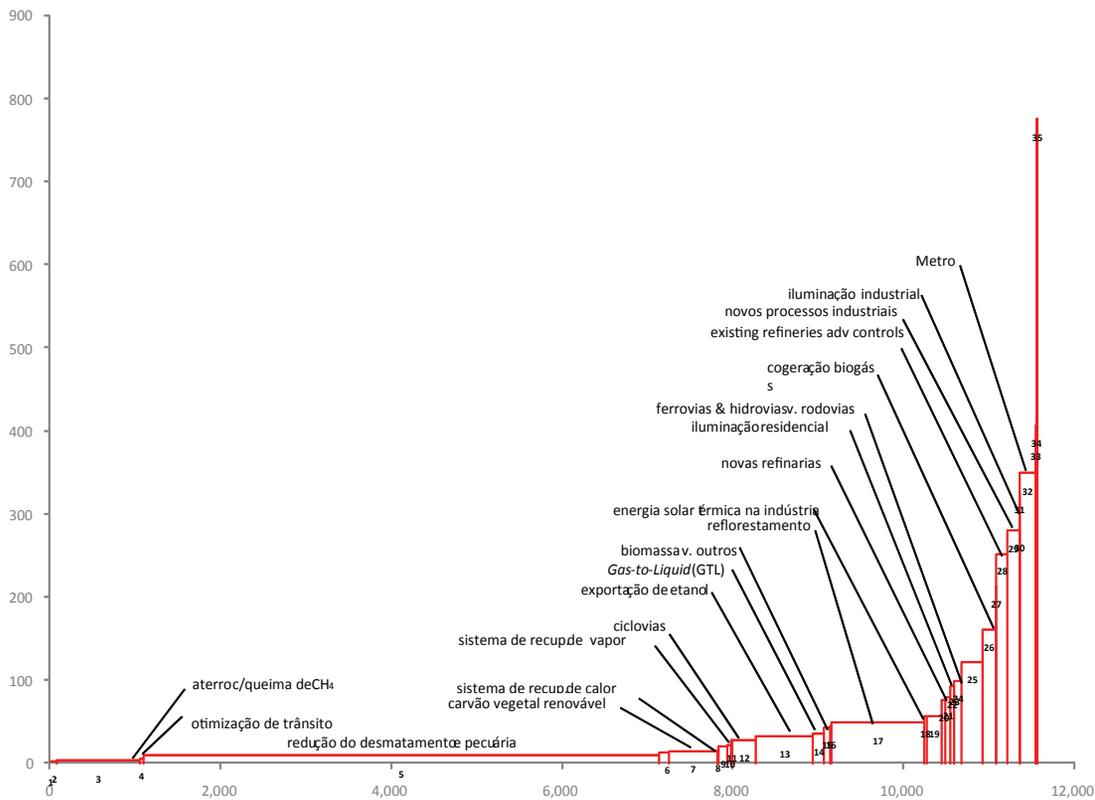
Tabela 9.2: Intensidade de Capital e Custos Marginais de Abatimento das Opções de Mitigação no Cenário de Baixo Carbono

	Abatement cost (US\$/tCO ₂)		Capital intensity (US\$/ton CO ₂)
Mitigation Option		Mitigation Option	
Iluminação residencial	(119.7)	Linha de transmissão Brasil-Venezuela	(43.8)
Cogeração de cana de açúcar	(104.7)	Plantio direto aumentado	(0.2)
Sistemas de recuperação de vapor	(97.0)	Refrigeradores (MEPS)	(0.0)
Sistema de recuperação de calor	(91.7)	Refinarias existentes (controle de incrustação)	0.0
Iluminação industrial	(65.0)	Reciclagem	3.3
Energia térmica solar	(54.7)	Destruição de metano em aterro	3.8
Iluminação comercial	(52.3)	Redução do desmatamento + pecuária	10.0
Motores elétricos	(49.8)	Etanol substituindo gasolina no mercado doméstico	11.5
Otimização da combustão	(44.1)	Tratamento de águas servidas + destruição de metano (res. e com.)	13.8
Refrigeradores (MEPS)	(41.3)	Otimização do trânsito	14.4
Reciclagem	(34.5)	Carvão renovável substituindo carvão não renovável	15.5

Linha de transmissão Brasil-Venezuela	(30.5)	Sistema de recuperação de calor	17.0
Sistema de recuperação de calor de fornalha	(25.6)	Otimização da combustão	21.1
Gás natural substituindo outros combustíveis	(20.2)	Sistemas de recuperação de vapor	21.9
Outras medidas de eficiência energética	(13.5)	Sistema de recuperação de calor de fornalha	28.5
Etanol substituindo gasolina no mercado doméstico	(7.9)	Investimento em ciclovias	31.2
Energia eólica	(7.6)	Exportação de etanol substitui a gasolina no exterior	33.9
Otimização do trânsito	(1.9)	Conversão de gás natural em combustíveis líquidos (GTL)	36.5
Conversão de gás natural em combustíveis líquidos (GTL)	(1.5)	Outras medidas de eficiência energética	45.1
Redução do desmatamento + pecuária	(0.5)	Reflorestamento	49.9
Plantio direto aumentado	(0.3)	Energia térmica solar	57.5
Investimento em ciclovias	1.2	Refinarias existentes (integração energética)	77.1
Exportação de etanol substitui a gasolina no exterior	2.1	Novas refinarias	80.2
Novos processos industriais	2.1	Gás natural substituindo outros combustíveis	93.4
Destruição de metano em aterro	2.9	Iluminação residencial	95.9
Aquecimento solar (residencial)	4.4	Tratamento de águas servidas + destruição de metano (ind.)	122.7
Refinarias existentes (integração energética)	6.6	Cogeração de cana de açúcar	161.5
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (res. e com.)	10.4	Investimento em ferrovias e hidrovias versus rodovias	175.0
Novas refinarias	19.1	Refinarias existentes (controles avançados)	214.1
Carvão renovável substituindo carvão não renovável	20.5	Novos processos industriais	280.6
Investimento em ferrovias e hidrovias versus rodovias	29.0	Iluminação industrial	281.7
Reflorestamento	39.3	Iluminação comercial	326.9
Refinarias existentes (controle de incrustação)	72.9	Investimento em metro	391.2
Refinarias existentes (controles avançados)	95.1	Aquecimento solar (residencial)	391.4
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (ind.)	103.3	Energia eólica	407.5
Investimento em metro	106.5	Motores elétricos	775.9
Trem-bala (SP e RJ)	400.3	Trem-bala (SP e RJ)	4,468.4

Ao plotar a intensidade de capital de cada opção de mitigação, pode-se ilustrar a intensidade de capital de uma medida de mitigação de GEE contra seu potencial de redução de emissões (Figura 9.1).

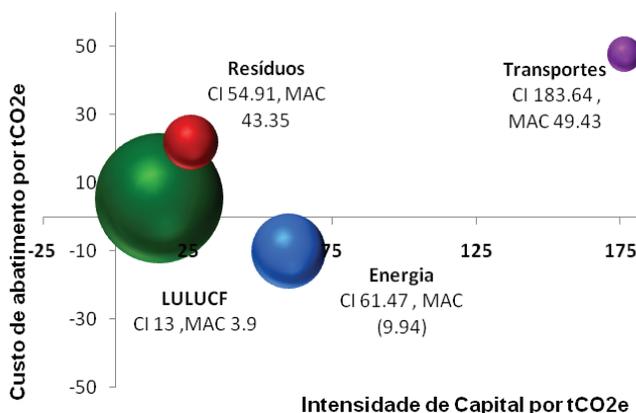
Figura 9.1: Curva de intensidade em capital das medidas de mitigação e remoção de carbono



Pode-se comparar a intensidade de capital e custos de abatemento do ponto de vista social das opções de mitigação por setor. Como esperado, o setor LULUCF brasileiro tem o maior potencial para redução de emissões com o menor CMA e menor intensidade de capital, seguido pelo setor energético. O setor de transporte é o mais intensivo em capital e o mais dispendioso, enquanto o setor de resíduos é dispendioso (considerando a universalização dos serviços de saneamento até 2030), mas não necessariamente tão intensivo em capital (Figura 9.2).

Figura 9.2: Avaliando Custos Marginais de Abatemento, Intensidade de Capital e Potencial de Redução de Emissões, por Setor

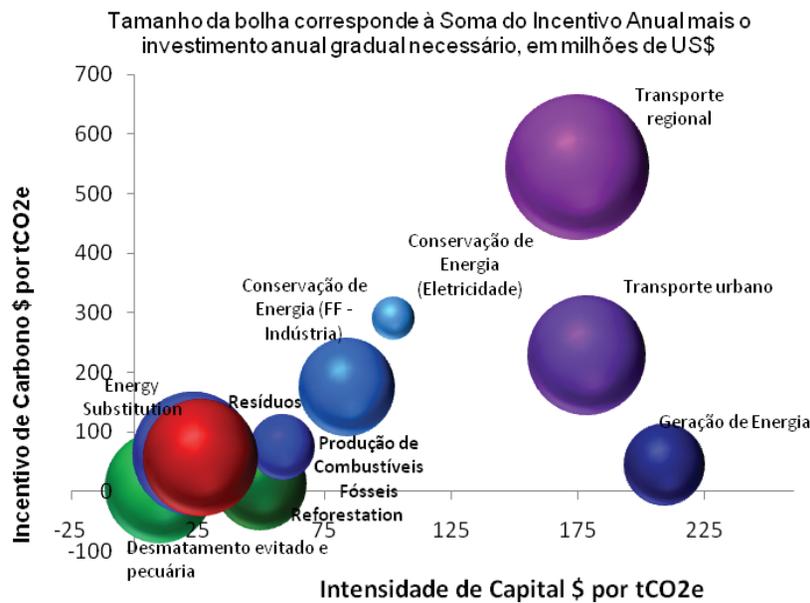
O tamanho da bolha corresponde à quantidade de emissões evitadas



As opções de mitigação que conservam combustíveis fósseis, tais como sistemas de recuperação de vapor e de calor, não apenas possuem baixa intensidade de capital; elas também têm alguns dos menores custos de abatimento, semelhantes a opções de substituição de combustíveis fósseis como energia térmica solar, carvão renovável e etanol como substituto da gasolina. Opções de mitigação relacionadas à produção de combustíveis fósseis têm maior intensidade de capital, e a redução de emissões não é tão significativa quanto aquelas de opções que substituem combustíveis fósseis. Opções de mitigação de transporte urbano têm menor intensidade de capital com custos de abatimento menores do que as opções de transporte regional. Entretanto, opções de conservação energética aparecem com maior intensidade de capital, e uma quantidade menos significativa de emissões evitadas.

Ainda é possível comparar os custos de abatimento do ponto de vista do setor privado (por exemplo, preço de equilíbrio do carbono, detalhado na Tabela 7.2), intensidade de capital e volume total de financiamento necessário, seja para financiamento dos custos de investimento, ou o incentivo necessário para tornar as opções de mitigação e remoção de carbono atraentes para tomadores de decisões. Alguns setores menos intensivos em capital podem precisar de volumes semelhantes de incentivos financeiros aos dos mais intensivos em capital (resíduos, substituição de energia e LULUCF, em comparação com transporte urbano e regional) (Figura 9.3).

Figura 9.3: Avaliação dos Incentivos Necessários e da Intensidade de Capital, por Setor





The left side of the page features a large, abstract graphic composed of overlapping, curved shapes in various shades of green and yellow. The colors transition from dark green at the top to bright yellow in the middle, and back to green at the bottom. The shapes are layered, creating a sense of depth and movement.

Capítulo 10

Respondendo ao Desafio do
Cenário de Baixo Carbono

Este estudo demonstrou que o Brasil pode contribuir de maneira significativa para mitigar futuras emissões de GEE, principalmente através da redução de emissões nacionais vindas do desmatamento, mas também reduzindo emissões além de suas fronteiras, através de remoção de carbono e exportação de etanol como substituto da gasolina. Este capítulo sintetiza as estratégias propostas para seguir em direção a um Cenário de Baixo Carbono para cada um dos quatro setores considerados neste estudo, e identifica os principais desafios que os legisladores encontrarão para colher amplamente essas oportunidades.

10.1 Redução Drástica do Desmatamento

Ao seguir na direção de um Cenário nacional de Baixo Carbono, o principal desafio do Brasil sem dúvida é a redução do desmatamento. Apesar do sucesso recente do governo brasileiro em implementar políticas agressivas de proteção florestal, espera-se que o desmatamento continue a ser a principal fonte de emissões de GEE do Brasil por um longo tempo. Além do mais, diversos estudos recentes, incluindo uma avaliação do Banco Mundial sobre o colapso da floresta amazônica (conhecido como “Amazon Dieback” em inglês),¹⁴³ mostraram que o desmatamento significa muito mais do que apenas a liberação de GEEs: existe uma troca clara entre o desmatamento e o dano esperado na floresta devido à mudança climática global, cuja progressão mais severa segue o mesmo padrão espacial que o desmatamento. Pela redução de emissões de GEE, assim como para mitigar o risco do *dieback* da floresta amazônica, deve-se eliminar as queimadas e incêndios da região amazônica.

O Brasil ganhou uma experiência considerável em políticas e projetos de proteção florestal, e em encontrar maneiras de gerar atividades econômicas compatíveis com a sustentabilidade de florestas nativas. Projetos e políticas de proteção florestal são usados como diques para conter a progressão das frentes pioneiras. Entretanto, uma redução mais drástica na destruição da floresta exigiria mais do que proteção. A mudança para um Cenário de Baixo Carbono exigiria ação sobre causa primária de desmatamento, a demanda por mais terras para agricultura e pecuária. Portanto, este estudo propõe uma estratégia que aja em duas frentes complementares: (i) eliminar as causas estruturais do desmatamento e (ii) proteger a floresta contra as tentativas de derrubá-la. A implementação da primeira parte envolveria trabalho com atores que usam terra já desmatada, enquanto a segunda incluiria aqueles que têm interesses velados em novos desmatamentos.

Em relação à primeira frente, eliminar a demanda por mais terra exigiria a acomodação da expansão da agricultura e da indústria da carne – ambas importantes para a economia brasileira – em terras já desmatadas. Isso significaria um aumento drástico em produtividade por hectare. Tecnicamente, uma opção disponível é aumentar a produtividade da pecuária, liberando grandes quantidades de pasto. Essa opção é tecnicamente possível, uma vez que a produtividade pecuária média atual é baixa, e significaria disseminar os sistemas produtivos já existentes no Brasil (ex.: sistemas de confinamento na engorda e integração lavoura-pecuária).

O potencial para liberar e recuperar pastos degradados é considerável, e é suficiente para acomodar o cenário de crescimento mais ambicioso. Além disso, a passagem de sistemas de produção de baixa produtividade para alta produtividade pode disparar um ganho líquido para a economia do setor, já que processos mais intensivos convergem com retornos econômicos maiores (Capítulo 7). Mas essa opção também pressupõe quatro questões desafiadoras.

Em primeiro lugar, sistemas pecuários produtivos têm maior intensidade de capital, tanto no estágio de investimento quanto no capital de trabalho. Fazer com que fazendeiros mudem para

¹⁴³ Veja “Avaliando o Risco de Colapso da Floresta Amazônica: Uma Avaliação do Banco Mundial”, por José A. Marengo, Carlos A. Nobre, Walter Vergara, Sebastien Scholtz, Alejandro Deeb, Peter Cox, Wolfgang Lucht, Hiroki Kondo, Lincoln Alves, e Jose Pesquero.

esses sistemas exigiria ofertas de grandes volumes de financiamento atraente, muito além dos níveis atuais de empréstimos. Taxas de juros comerciais normalmente são altas demais para tornar atraentes esses investimentos. Além disso, os bancos muitas vezes não querem emprestar aos fazendeiros, a quem consideram devedores de alto risco. Assim, um grande volume de incentivos financeiros, junto com critérios de empréstimo mais flexíveis, seria necessário para tornar esse financiamento viável tanto para fazendeiros quanto para o sistema bancário. Nos últimos cinco anos, o governo brasileiro desenvolveu programas para estimular a adoção de sistemas mais produtivos (ex.: PROLAPEC e PRODUSA) para reduzir os riscos de negócios, aumentar a renda no campo e renovar áreas de pasto degradadas. Uma primeira tentativa de se estimar o volume de incentivos necessário indica uma ordem de magnitude de US\$21,5 bilhões por ano.

Em segundo lugar, esses sistemas exigem qualificações mais altas do que o cultivo extensivo tradicional, que costuma seguir para novas áreas assim que a produtividade do pasto fica degradada, eventualmente convertendo mais vegetação nativa em pasto. Assim, o esforço de financiamento deve ser acompanhado por um desenvolvimento intensivo de serviços de extensão. Políticas públicas que promovem a extensão rural e treinamento de criadores de gado seriam importantes para superar esse obstáculo.

Em terceiro lugar, deve-se evitar um efeito rebote. Ou seja, a rentabilidade maior com menor necessidade de terra para produzir o mesmo volume de carne pode disparar um incentivo para converter mais floresta nativa em pasto. Esse risco é especialmente alto em áreas onde foram abertas ou pavimentadas novas estradas. Assim, o incentivo fornecido deve ser geograficamente seletivo: ele deve ser dado apenas onde está claramente estabelecido, com base em títulos de propriedades válidos e georreferenciados, que o projeto não incluirá conversão de vegetação nativa nem áreas convertidas em anos recentes (ex.: menos de 5 anos), legalmente ou não. Este estudo apontou que essa estipulação seria tecnicamente possível, pois verificou que podem ser liberados pastos suficientes nacionalmente até sem o aumento da produtividade pecuária na região amazônica. Assim, qualquer financiamento subsidiado para produção pecuária na região amazônica deve ser feito de maneira extremamente seletiva e exigente, e a área em questão deve ser muito bem monitorada.

Em quarto lugar, diversas opções atraentes consideradas no Cenário de Baixo Carbono para mitigar emissões ou aumentar a remoção de carbono ampliam a exigência de se liberar pastos de modo considerável. Por exemplo, obediência estrita à Lei de Reservas Legais resultaria no replantio de mais de 44 milhões de hectares atualmente alocados para outras atividades. Enquanto o replantio da floresta removeria uma grande quantidade de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, essa área – mais do que o dobro da expansão esperada de terras de agricultura e pasto no Cenário de Referência – não estaria mais disponível para tais atividades. Evitar um “vazamento de desmatamento”, portanto, exigiria que fosse liberada uma quantidade adicional equivalente de pasto; de outra forma, parte da produção teria que ser reduzida para evitar a conversão de mais vegetação nativa em outro lugar. O mesmo raciocínio se aplica à expansão de qualquer outra atividade que exija terra (ex.: atividades bioenergéticas envolvendo etanol ou carvão renovável), embora em escala bem menor. No Cenário de Baixo Carbono, uma maior expansão dessas atividades, todas juntas, exigiria menos do que um quarto da terra adicional necessária para reservas florestais legais. Portanto, existe uma troca difícil entre (i) mais esforços para aumentar a produtividade pecuária para liberar mais terra e (ii) obediência total à recuperação de reservas legais e expansão de novos cultivos no Cenário de Baixo Carbono. Uma obediência menor às obrigações legais atuais em relação às reservas florestais tornaria mais fácil a meta de acomodar todas as atividades sem desmatamento, mas significaria menos remoção de carbono; o oposto também é verdadeiro.

Para proteger a floresta contra as causas remanescentes de desmatamento, propõe-se que as áreas florestais onde o desmatamento é ilegal sejam protegidas contra interesses fraudulentos de derrubá-las. Deve-se ressaltar que pode haver uma lacuna significativa entre o tempo em que



a demanda por terra é reduzida e o tempo em que a mudança comportamental dos agentes de desmatamento na fronteira, legais ou ilegais, possa ser efetivamente observada.

A proteção de áreas florestais onde o desmatamento é ilegal pode ser alcançada através de uma variedade de atividades, desde ação policial repressora até projetos de uso sustentável. Nos últimos anos, o governo brasileiro se esforçou consideravelmente nessa área, especialmente com o PPCDAM - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. Medidas de proteção podem incluir atividades semelhantes àquelas já postas em prática sob o PPCDAM, como (i) expansão e consolidação de áreas protegidas, (ii) desenvolvimento de projetos integrados, e (iii) promoção do uso sustentável de recursos florestais. Tais esforços devem ser mantidos e provavelmente aumentados.

Se a estratégia proposta for totalmente implementada – ou seja, a demanda por terra adicional for eliminada e a floresta protegida contra as causas remanescentes de desmatamento – então a contribuição das atividades do setor LULUCF brasileiro poderiam ser invertidas de altas emissões líquidas de GEE para uma remoção de carbono líquido de GEE de aproximadamente 192 MtCO₂ por ano em 2030.

10.2 Melhores Políticas para o setor de Transportes e Coordenação Institucional

O principal potencial de redução das emissões do setor de transportes brasileiro está na melhoria dos serviços oferecidos. O impacto de projetos de infraestrutura de transportes em termos de emissões é um efeito colateral, que no geral é positivo, mas não é significativo o suficiente para dirigir o processo de tomada de decisões. Ao mesmo tempo, existem duas exceções importantes. Em primeiro lugar, o Brasil pode reduzir ainda mais as emissões ao substituir a gasolina pelo etanol; a substituição de combustíveis também se aplica ao petrodiesel, que pode ser substituído pelo biodiesel, embora a experiência seja mais limitada. Em segundo lugar, o desenvolvimento de infraestrutura de transportes, tal como a abertura de novas estradas na floresta Amazônica, pode levar a um desmatamento maior, e assim, a mais emissões. Esse impacto, embora complexo, foi estabelecido por uma análise geoestatística e levado em consideração na evolução do desmatamento no Cenário de Referência (Capítulo 2).

10.2.1 Transporte Urbano

Cerca de 42% das emissões setoriais diretas são resultado do subsector de transporte urbano, especialmente do congestionamento em grandes áreas urbanas (Capítulo 5). Veículos em engarrafamentos de trânsito – ônibus, caminhões e carros – todos emitem GEE, enquanto o serviço que deveriam oferecer é atrasado, resultando em altos custos de oportunidade para os usuários. Diferente do setor energético, onde as emissões normalmente aumentam ou diminuem de acordo com a oferta, o oposto é verdadeiro para o transporte urbano; ou seja, uma oferta insuficiente de serviços de transporte resulta em emissões aumentadas na forma de congestionamento de tráfego.

As principais questões do setor de transporte urbano não são tecnológicas, embora ainda seja possível obter alguns ganhos em eficiência advindos de inovações tecnológicas. Tecnologias de transporte em massa, opções de transporte não-motorizado, e medidas de gestão de demanda estão todas disponíveis e já foram testadas. Na verdade, o principal desafio está no financiamento e na coordenação institucional, que retarda a implementação de projetos de transporte. Por exemplo, os mais de 5.000 municípios do Brasil administram de forma independente seus sistemas de trânsito e transporte, o que dificulta a harmonização nacional de planos e políticas.

Essa complexidade dificulta a mobilização dos recursos mais apropriados para o local necessário. Além disso, sistemas de transporte em massa em áreas urbanas têm intensidade de capital, o que impede que muitos municípios os implementem. Uma maneira de se superar a capacidade limitada de investimentos do setor público é promover parcerias público-privadas (PPPs).

10.2.2 Transporte Regional

Para o transporte regional, o principal desafio para reduzir as emissões envolve o projeto e implementação de políticas apropriadas de deslocamento modal e investimentos. Qualquer intervenção visando uma modificação na rede de transportes deve ser orientada pelas necessidades e demandas dos mercados nacionais, regionais e internacionais. Senão, o resultado pode ser o pouco uso de investimentos de alto custo. Por exemplo, o potencial para estabelecer novos percursos hídricos e estradas de ferro, sustentáveis do ponto de vista econômico, nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil é mais limitado do que se pensava (Capítulo 5). Para alcançar as metas de transporte de carga no Cenário de Baixo Carbono, é importante promover melhor integração e parcerias entre concessionárias de trens e entre as concessionárias e as várias esferas de governo, incluindo as autoridades regulatórias. Assim, devido às instalações inadequadas para uma transferência intermodal eficiente, o transporte por estradas é preferido à remessa costeira. Os vários modos de transporte geralmente são operados de maneira privada; assim, uma integração eficiente requer nova infraestrutura e terminais, exigindo melhor coordenação e suporte por parte das autoridades públicas. Para que políticas envolvendo projetos de transferência intermodal tenham sucesso, é preciso uma alocação apropriada de recursos, além de medidas para facilitar o financiamento dos altos investimentos necessários para construir e adaptar a infraestrutura necessária. O Ministério dos Transportes poderia coordenar esses esforços.

10.2.3 Maior Substituição de Gasolina pelo Etanol

O bioetanol como combustível substituto da gasolina já contribui para o baixo volume de carbono no setor de transportes. Sem o etanol, as emissões de GEE seriam 50% mais altas em 2030 do que as projetadas atualmente no Cenário de Referência. Ao mesmo tempo, ainda existe uma oportunidade significativa de reduzir as emissões de transportes através da participação maior do bioetanol como substituto para a gasolina. Isso representaria um terço da meta de redução de emissões para o setor de transportes no Cenário de Baixo Carbono.

O principal desafio, com o qual o governo brasileiro já lida há décadas, é como garantir que os sinais do preço de mercado estejam alinhados a esse objetivo. Do lado da demanda, a maior parte dos novos carros produzidos no Brasil são *flex*, ou seja, por definição podem trocar continuamente de gasolina para etanol e vice-versa. Por um lado, esses veículos apresentam uma oportunidade para altos níveis de substituição. Entretanto, os benefícios de GEE poderiam se perder rapidamente se a gasolina for mais barata para o consumidor. Sinais de preço de mercado são os determinantes principais da alta fatia de mercado do etanol. Devido à alta volatilidade dos preços do petróleo, seria necessário que um mecanismo financeiro fosse criado e implementado para absorver os choques de preço e manter a atratividade do etanol para os donos de veículos. Do lado da oferta, é preciso oferecer incentivos em quantidade suficiente para que os produtores de cana-de-açúcar e etanol invistam em maior capacidade para o etanol, considerando as flutuações dos preços internacionais do petróleo e do açúcar. O cancelamento de barreiras comerciais às importações de etanol de outros países ajudaria a promover a produção brasileira do produto, de baixo custo.



10.3 Exploração do Potencial Existente no Setor Energético

Os principais desafios para a mitigação de emissões no setor energético não estão relacionados apenas ao potencial para conservação energética e troca de combustíveis no setor industrial. Certas hipóteses que marcam o próprio Cenário de Referência também exigem esforços significativos.

10.3.1 Garantir as Opções de Baixo Carbono no Cenário de Referência

Diferentemente dos outros setores considerados neste estudo, o setor energético não poderia manter as emissões no mesmo nível ou abaixo do nível de 2010 no Cenário proposto de Baixo Carbono. Mesmo uma redução de emissões de 20%, comparada com o Cenário de Referência ao longo do período, ainda resultaria em um aumento de 40% nas emissões entre 2020 e 2030 em relação ao nível atual.

De acordo com o PNE 2030, no qual o Cenário de Referência se baseia, a maior parte do grande potencial hidrelétrico remanescente do Brasil já terá sido completamente explorado em 2030. Por esse motivo, o setor energético tem poucas oportunidades para reduzir ainda mais as emissões. Mesmo assim, as emissões *per capita* do setor energético – mesmo no Cenário de Referência – continuarão no mesmo nível médio *per capita* global de hoje ou abaixo dele, e menos da metade da média atual da OCDE (Capítulo 4).

Tais comparações favoráveis se devem, em parte, aos esforços passados do Brasil em desenvolver energia renovável local. Também refletem hipóteses no Cenário de Referência para um crescimento continuado de capacidade hidrelétrica e um desenvolvimento significativo de energia de biomassa, eólica e nuclear. Essas hipóteses refletem as metas estratégicas do governo brasileiro para o desenvolvimento do setor energético, incluindo independência e diversificação energética, nas próximas décadas.

O PNE 2030 projeta que a hidroeletricidade representará mais de 70% da geração de energia, o que implica em aumentar a capacidade de geração hidrelétrica em um ritmo que ainda não foi observado. Na verdade, a participação da energia hidrelétrica nos novos leilões de energia tem sido limitada pelo processo de licenciamento ambiental. Como resultado, aumentou a participação de petróleo combustível, diesel e até mesmo usinas de carvão, pois normalmente enfrentam menos dificuldades na obtenção de licenças ambientais.

Mais recentemente, foram licitadas duas grandes usinas no Rio Madeira, e o governo adotou uma nova regulamentação exigindo que usinas térmicas de combustíveis fósseis devam redimir suas emissões através do plantio de árvores, energia renovável, ou conservação energética,¹⁴⁴ sugerindo que os ajustes já estão em andamento. Medidas para melhorar a eficiência do processo de licenciamento ambiental para geração hidrelétrica poderiam incluir (i) garantia de que os planos, programas e políticas do setor elétrico levem em consideração fatores sociais e ambientais, além de fatores econômicos, financeiros e técnicos; (ii) promoção e estabelecimento de mecanismos para resolver disputas entre participantes no processo de licenciamento; (iii) preparação de um guia operacional que defina as abordagens usadas durante o processo; e (iv) construção de capacidade técnica para aperfeiçoar e diversificar as habilidades profissionais das agências ambientais (Banco Mundial 2008).¹⁴⁵

Para a energia nuclear, o PNE 2030 determinou a meta ambiciosa de construir 5,3 GW de capacidade adicional de geração nuclear até 2030, ou seja, o triplo da capacidade atual. Geração

144 IBAMA, Instrução normativa, nº 7.

145 “Licenciamento Ambiental para Projetos Hidrelétricos no Brasil: Uma Contribuição ao Debate”, Relatório Sumário. Unidade Nacional de Gestão do Banco Mundial, 28 de Março, 2008.

eólica e cogeração baseada em bagaço aumentariam mais de dez vezes cada um. Assim, o volume já baixo de carbono no Cenário de Referência deixa pouco espaço para maiores abatimentos de GEE com essas tecnologias no Cenário de Baixo Carbono.

10.3.2 Explorar Plenamente o Arcabouço Existente de Conservação Energética

Aproveitar o potencial de mitigação da eficiência energética no Cenário de Baixo Carbono exige exploração total das opções oferecidas pelo arcabouço legal existente. Existe progresso, embora vagaroso, na implementação da lei de eficiência energética, e diversos mecanismos disponíveis promovendo eficiência energética tratam das necessidades de todos os grupos de consumidores (ex.: PROCEL, CONPET e leilões planejados da EPE). Essas iniciativas oferecem a possibilidade de se criar um mercado sustentável de eficiência energética. Obstáculos a isso incluem uma atenção exagerada em procedimentos e pouca coordenação entre programas de energia e petróleo e gás. Os principais problemas a se enfrentar são: (i) distorções de preço que introduzem desincentivos para conservação energética e (ii) separação dos esforços de eficiência energética de instituições de energia e petróleo e gás. Pode-se obter melhor coordenação institucional através de uma comissão responsável pelo desenvolvimento de ambos os programas.

10.3.3 Resolvendo a Questão do Financiamento da Rede Inteligente

A principal barreira para a cogeração de bagaço e energia eólica é o custo da interconexão com a rede de subtransmissão, muitas vezes distante ou de capacidade limitada, o que reduz a viabilidade de cogeração em comparação com alternativas cuja localização possa ser otimizada em relação à rede. Se o custo continuar a ser totalmente pago pelas respectivas usinas de açúcar e desenvolvedores de parques eólicos, a contribuição de cogeração e energia eólica provavelmente continuará baixa, resultando na entrada de mais alternativas com base em combustíveis fósseis. A principal questão é como financiar a rede necessária. Um programa ambicioso de desenvolvimento de rede inteligente ajudaria a otimizar a exploração desse potencial de geração de baixo carbono promissor, porém distribuído.

10.3.4 Aumento da Mitigação do Setor Energético através de Exportações de Etanol

A experiência considerável do Brasil com o bioetanol apresenta uma oportunidade para que o país reduza emissões globais de GEE ao aumentar as exportações de etanol para substituição da gasolina. A redução adicional em emissões chegaria a 786 MtCO₂ no período de 2010–30, igual a cerca de um terço da redução alcançada de emissões do setor energético. Implementar essa opção exigiria uma demonstração de que a área incremental plantada com cana-de-açúcar não contribuiria para vazamento de carbono (ou seja, desmatamento induzido pela expansão de terras para agricultura e para cultivo de cana-de-açúcar). No Cenário de Baixo Carbono, a área alocada para cana-de-açúcar em 2030 seria 6,3 milhões de hectares maior do que a área no Cenário de Referência (19,1 versus 12,7 milhões de hectares), representando três vezes a área atual, o que ainda é menos do que a área plantada com soja em 2006 (22,7 milhões de hectares) e um décimo da área de pasto atual (estimada em 210 milhões de hectares). Este estudo demonstra que essa opção se tornaria tecnicamente possível se forem implementadas as medidas para reduzir drasticamente o desmatamento. Entretanto, seria necessário coordenar o ritmo de implementação para estabelecer efetivamente o benefício global das exportações de etanol.



10.4 Arcabouço Institucional e Incentivos para o Setor de Resíduos

O setor de resíduos brasileiro tem um histórico de baixos investimentos, com pouca participação do setor privado. Essa situação se deve, em parte, a uma cultura setorial caracterizada pela falta de planejamento de longo prazo, o que prejudica o acesso ao crédito, e possivelmente a recursos alocados insuficientes, combinado com uma falta de incentivos. O manejo de resíduos, tanto sólidos quanto líquidos, enfrenta um alto nível de complexidade institucional e descentralização, dificultando o levantamento da grande quantidade necessária de recursos financeiros. No entanto, já existe a Lei nº 11.445/2007, conhecida como Lei do Saneamento, que contempla o manejo de resíduos urbanos em seu arcabouço trazendo a possibilidade de gestão associada, através de associações voluntárias de entes federados, por convênio de cooperação ou consórcio público. Enquanto isso, a Lei nº 11.079/2004 (Lei das PPPs) traz todo o arcabouço legal para o estabelecimento de parcerias público-privadas, promovendo a participação necessária do setor privado. No entanto, cabe ressaltar que como o serviço de manejo de resíduos sólidos é de competência municipal, deve-se expandir a capacitação em planejamento a longo prazo e desenvolvimento de projetos nas municipalidades. Torna-se assim imperativo que tanto as municipalidades responsáveis pela promoção de parcerias quanto as entidades do setor privado tenham o conhecimento adequado para o uso apropriado da estrutura jurídica e institucional, assim como os procedimentos necessários para o acesso a fontes de financiamento disponíveis (ex.: dentro de prazos estipulados etc.).

Em aterros modernos, diferentemente de aterros a céu aberto, a fermentação é anaeróbica, e, portanto, gera metano (CH_4). As emissões aumentam com a expansão da coleta e descarte de resíduos. Comparadas com as emissões de outros setores, as emissões do manejo de resíduos são as que mais aumentam e diminuem nos respectivos Cenários de Referência e de Baixo Carbono. No Cenário de Referência, as emissões de metano (CH_4) rapidamente aumentam à medida que números cada vez maiores de pessoas começam a se beneficiar dos serviços de coleta de resíduos sólidos e líquidos. Como o CH_4 pode ser facilmente destruído, incentivos criados pelo mercado de carbono no Cenário de Baixo Carbono poderiam encorajar a participação em projetos criados para destruir gases de aterros. Para cumprir os desafios setoriais, este estudo propôs (i) estabelecer um arcabouço legal e institucional para facilitar o estabelecimento de consórcios intermunicipais e regionais para lidar com o tratamento de resíduos e (ii) oferecer incentivos para envolvimento institucional em gestão compartilhada de sistemas envolvendo concessões ou parcerias público-privadas (PPPs) em contratos de longo prazo.

10.5 Comentários Finais

O Brasil dispõe de enormes oportunidades de mitigação e remoção de emissões de GEE, e a custos relativamente baixos. Isso posiciona o país como um dos principais atores para enfrentar o desafio representado pela mudança climática global. Este estudo demonstrou que existe uma série de medidas de mitigação e remoção de carbono que são tecnicamente viáveis, e que já existem esforços promissores em andamento. Entretanto, a implementação dessas medidas propostas exigiria grandes volumes de investimento e incentivos, que podem exceder uma resposta estritamente nacional e requerer apoio financeiro internacional. Além disso, para que o Brasil possa aproveitar plenamente todo o leque de oportunidades para mitigar as emissões de GEE, não serão suficientes os mecanismos de mercado. Políticas públicas e planejamento teriam importância crucial, abrigoando em seu cerne as questões da concorrência pela terra e da proteção das florestas.

The left side of the page features a large, abstract graphic composed of overlapping, curved shapes in various shades of green and yellow. The colors transition from dark green at the top to bright yellow in the middle, and back to green at the bottom. The shapes are layered, creating a sense of depth and movement.

Anexo A

Conjunto de
Premissas
em Comum

Tabela A.1: Parâmetros e Fontes do Modelo Macroeconômico de Setor

Variável	Fonte
Parâmetros Macroeconômicos	
Taxas de desconto	Cenários do PNE 2030 (8%)
Projeções de crescimento econômico (crescimento projetado do PIB)	Cenários do PNE 2030 (Tabela A.2); O Cenário B1 é o BAU
Taxas de juros, taxas de câmbio	Bancos nacionais
Tabelas de <i>Input-Output</i> (I-O) e matriz de contabilidade social	IBGE
Crescimento da população	IBGE 1980-2050 (O PNE é desagregado por região (Tabela A.3, Tabela A.4))
Oferta de mão-de-obra e taxas de salários	PME (Pesquisa Mensal de Emprego), IBGE
Preços de <i>commodities</i> , índice de preços, alíquotas tributárias e impostos de importação	Escritório Nacional de Estatística
Outras variáveis a serem incluídas	
Modelo de Uso da Terra e Agricultura	
Uso da terra por cultivos anuais	Pesquisa municipal de agricultura, IBGE
Pastagem	Censo agrícola de 2006 (IBGE)
Área urbana	EMBRAPA (Mapeamento e Estimativa da Área Urbanizada do Brasil) (www.urbanizacao.cnpemembrapa.br/)
Área de florestas plantadas (exploração econômica)	Equipe do ICONE
Cenário natural	PRODES/INPE (www.obt.inpe.br/prodes/) PROBIO, SOS Mata Atlântica e outros
Unidades de conservação	IBAMA e órgãos ambientais regionais
Coefficientes de GEE por tipo de uso da terra	IPCC ou fontes nacionais
Hidrografia e área de preservação permanente	Equipe da UFMG, com base em estimativas do GIS
Reserva indígena	FUNAI
Restrições climatológicas	CONAB (www.agritempo.gov.br) (www.agritempo.gov.br)
Custos agrícolas	Equipe do ICONE
Retorno e riscos agrícolas	Equipe do ICONE
Localização de usinas de cana-de-açúcar (reais e projetadas)	Equipe do ICONE
Rendimentos agrícolas projetados e tecnologia	ICONE e grupos de trabalho C, D e F
Tecnologia industrial de cana-de-açúcar (projetada)	ICONE e grupos de trabalho F e K

Modelo do Setor de Energia	
Preços de <i>commodities</i> de energia	PNE 2030 (Figura A.1, Figura A.2)
Preços do petróleo (internacionais)	PNE 2030 (Figura A.1)
Dados do ano base sobre produção de energia, comércio e consumo (por setor, combustível)	Balanço de Energia Nacional (BEN) 2006, ano base 2005
Preços locais de <i>commodities</i> (reais e projetados)	Equipe do ICONE
Custo de tecnologias de produção e utilização de energia	PNE 2030, relatórios temáticos
Eficiências de tecnologias de produção de energia e dispositivos e processos de consumidores	
Coefficientes de emissões de GEE por tipos de combustível e tecnologia	Inventário nacional de emissões/IPCC
Outras variáveis a serem incluídas	
Coefficientes de emissões de GEE	Inventário nacional de emissões/IPCC
Custos das tecnologias (lados da demanda e da oferta, tanto no setor de energia quanto em silvicultura/agrícola)	IEA/EIA

Tabela A.2: Cenários Macroeconômicos do PNE 2030

Cenário	Crescimento anual percentual do valor agregado, 2005-2030				
	Agricultura	Indústria	Serviços	Brasil	Mundo
A1	5,3	4,2	5,4	5,0	3,8
B1	4,2	3,7	4,2	4,1	3,0
B2	3,5	3,0	3,2	3,2	3,0
C	2,6	2,2	2,2	2,2	2,2

Tabela A.3: População (milhões de habitantes), 2005-2030

Região	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Norte	14,86	16,43	17,87	19,18	20,40	21,49
Nordeste	51,31	54,18	56,81	59,21	61,43	63,43
Sudeste	79,02	84,31	89,16	93,59	97,68	101,36
Sul	27,14	28,77	30,26	31,63	32,89	34,02
Centro-Oeste	13,14	14,35	15,46	16,47	17,41	18,25
Brasil	185,47	198,04	209,56	220,09	229,80	238,56



Tabela A.4: Taxa de População Urbana em 2030

Região	%
Norte	76,4
Nordeste	78,6
Sudeste	95,0
Sul	89,7
Centro-Oeste	93,3
Brasil	88,0

Fonte: PNE 2030

Figura A.1: Evolução dos Preços Internacionais do Petróleo (tipo Brent)

Figura 1.13: Evolução dos Preços Internacionais do Petróleo (tipo Brent)

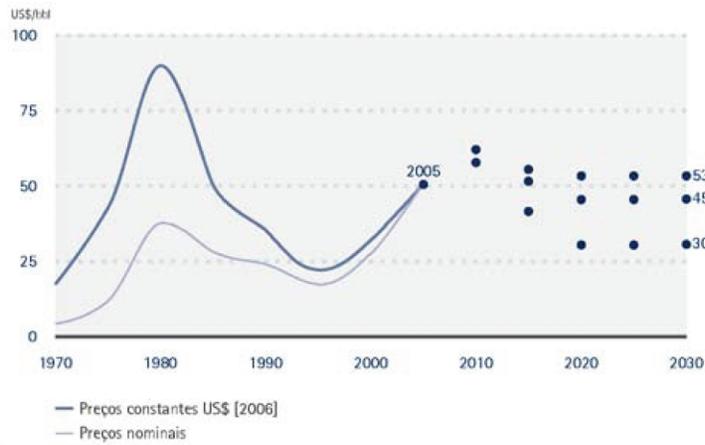
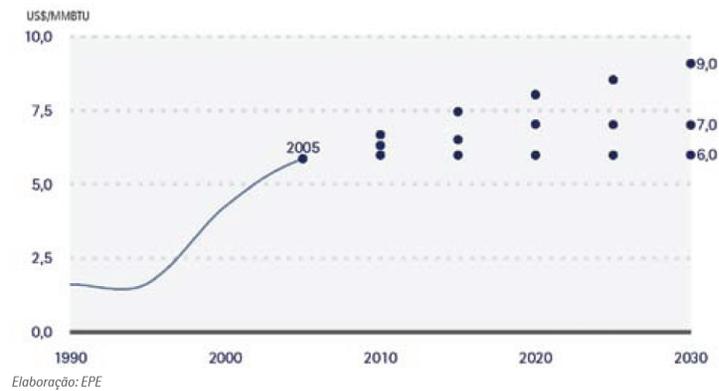


Figura A.2: Preços Internacionais do Gás Natural

Figura 1.14: Preços Internacionais do Gás Natural (US\$ de 2006)



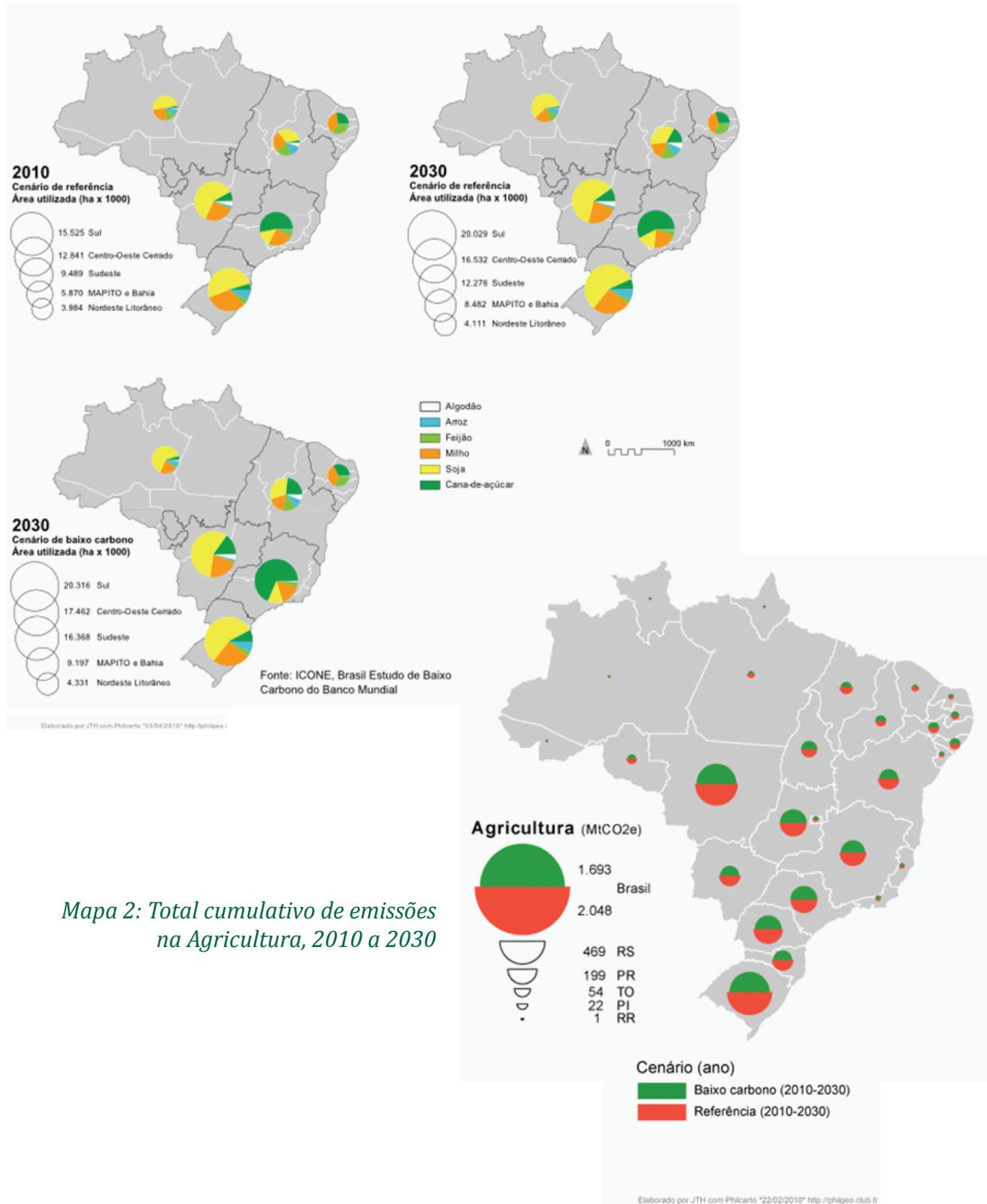


Anexo B

Mapas de Resultados
por Estados

AGRICULTURA

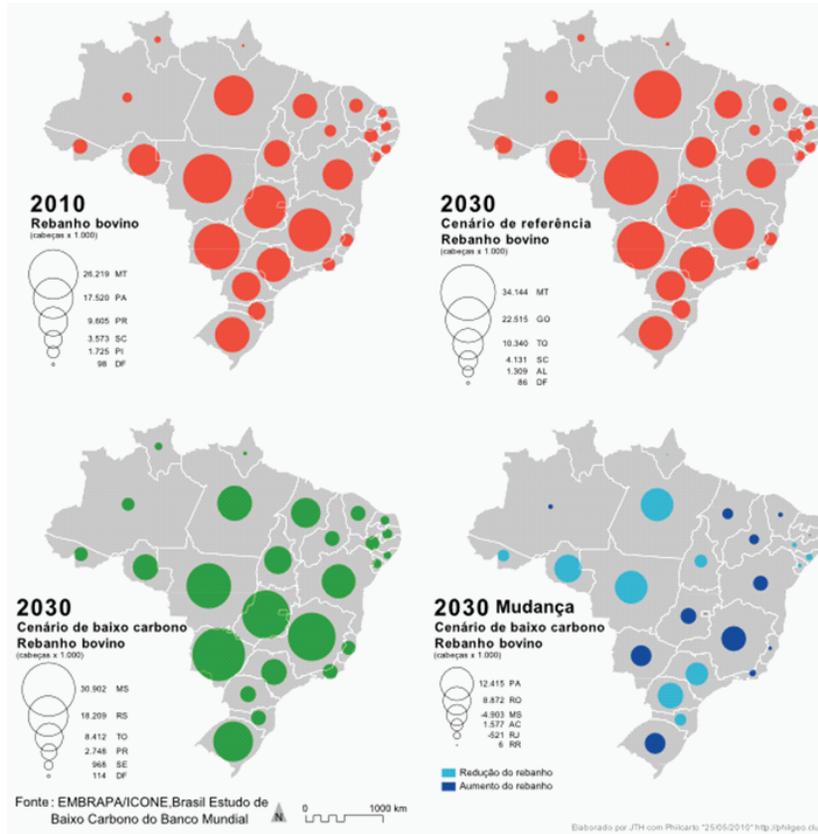
Mapa 1: Mudança na Área ocupada pela Agricultura por Região



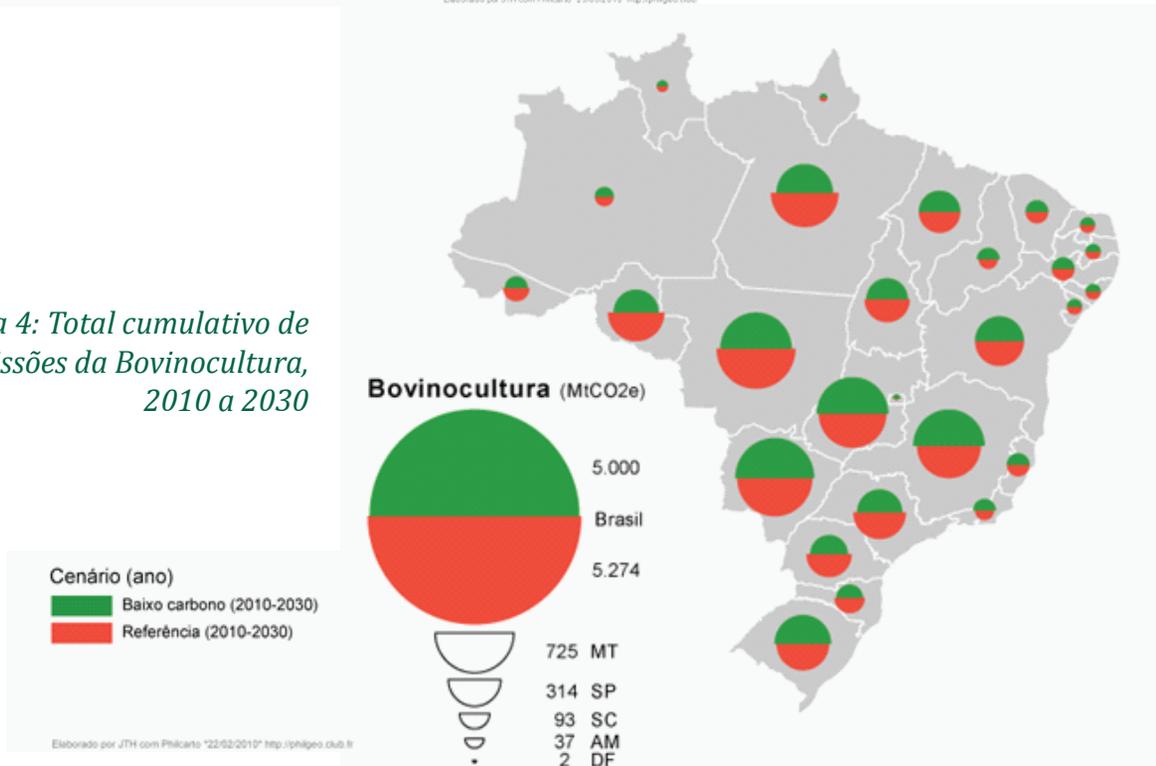
Mapa 2: Total cumulativo de emissões na Agricultura, 2010 a 2030

BOVINOCULTURA

Mapa 3: Número de Cabeças no Rebanho

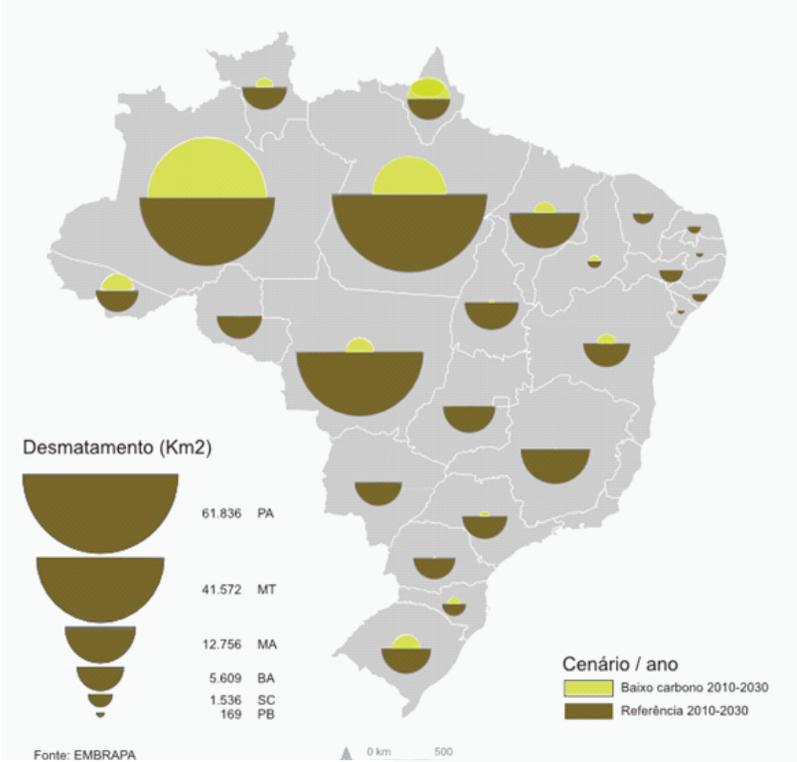


Mapa 4: Total cumulativo de emissões da Bovinocultura, 2010 a 2030

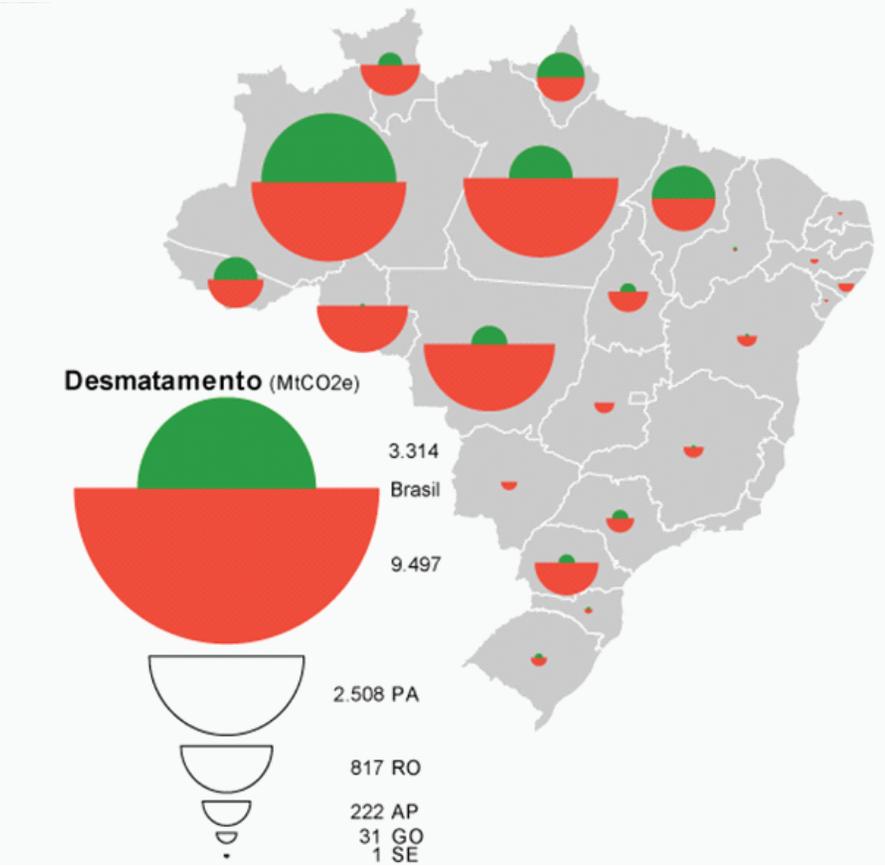


DESMATAMENTO

Mapa 5: Total de Área desmatada, 2010 a 2030

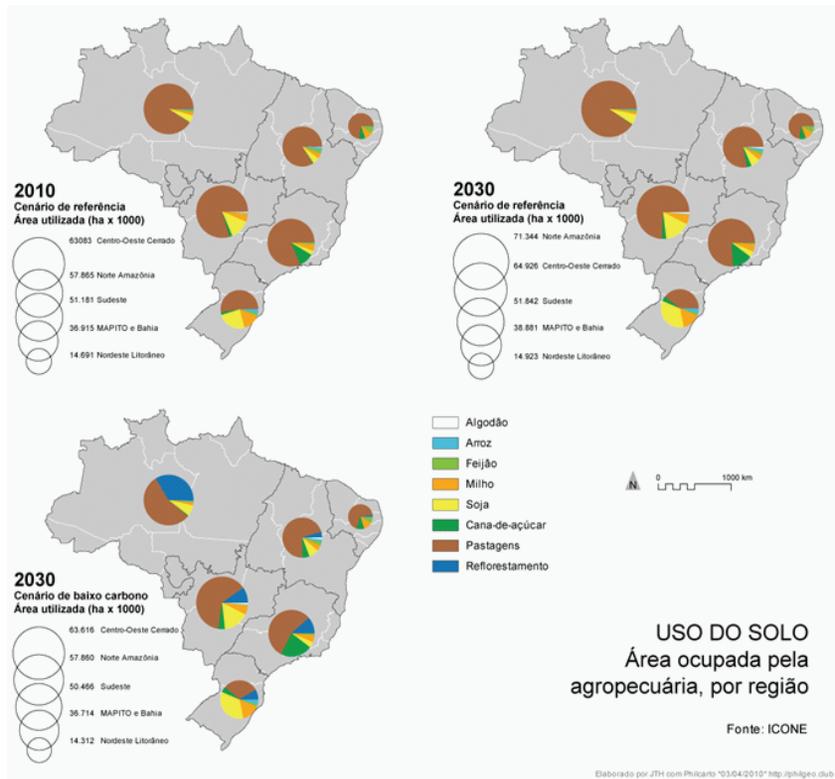


Mapa 6: Total cumulativo de emissões do Desmatamento, 2010 a 2030



USO DA TERRA - TOTAL

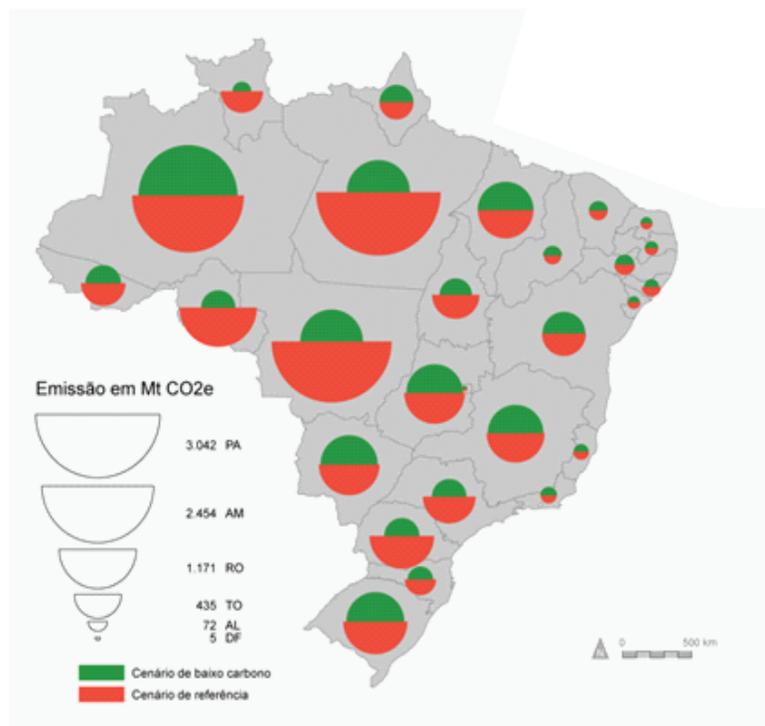
Mapa 7: Área ocupada pela Agropecuária por Região



Fonte: EMBRAPA/ICONE, Brasil Estudo de Baixo Carbono do Banco Mundial



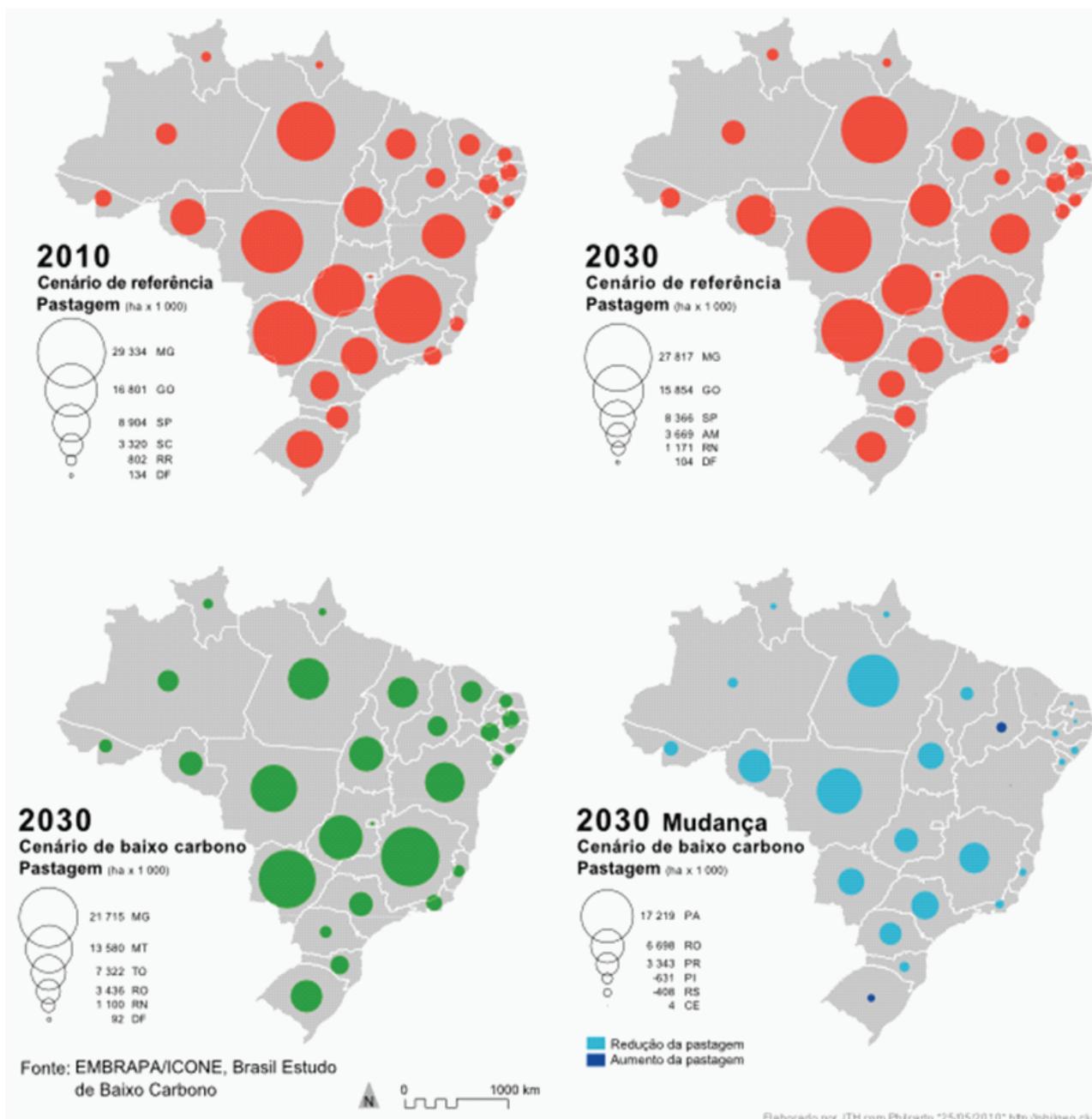
Mapa 8: Total cumulativo de emissões do Uso da Terra (Agricultura, Bovinocultura, Desmatamento, Reflorestamento), 2010 a 2030



Fonte: EMBRAPA/ICONE, Brasil Estudo de Baixo Carbono do Banco Mundial

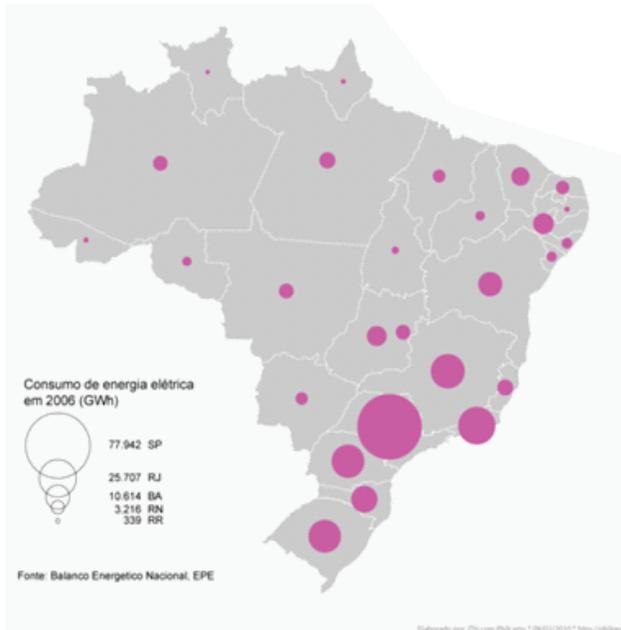
USO DA TERRA - TOTAL

Mapa 9: Área utilizada pela Pastagem

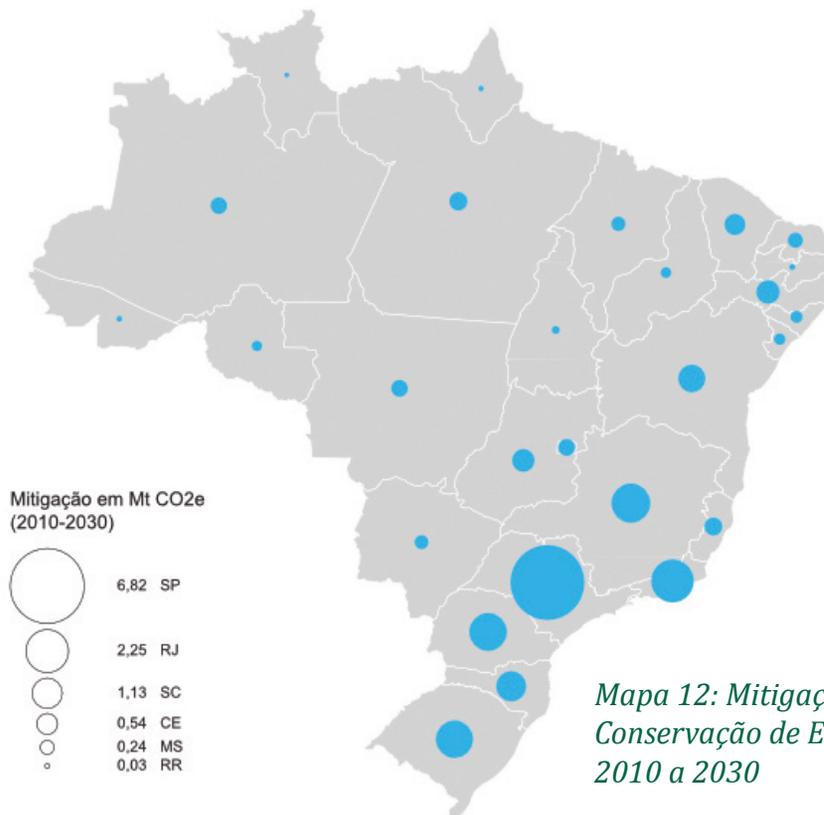
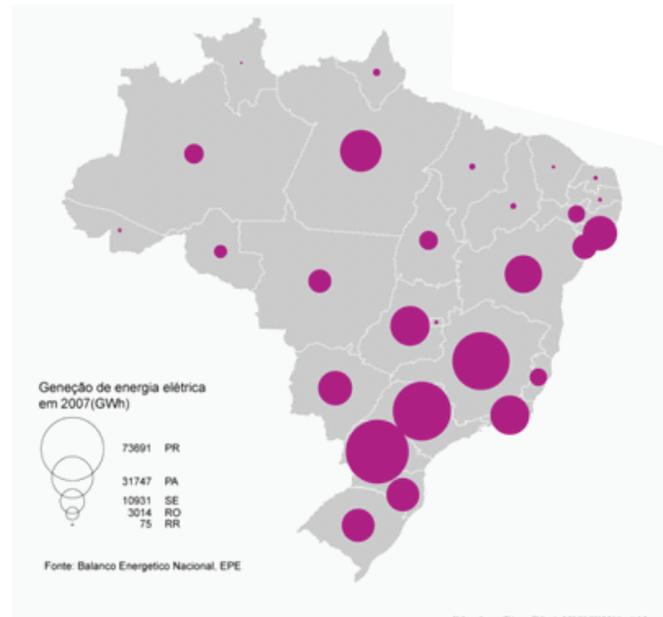


ENERGIA ELÉTRICA

Mapa 10: Consumo de Energia Elétrica por Estado



Mapa 11: Geração de Energia Elétrica por Estado

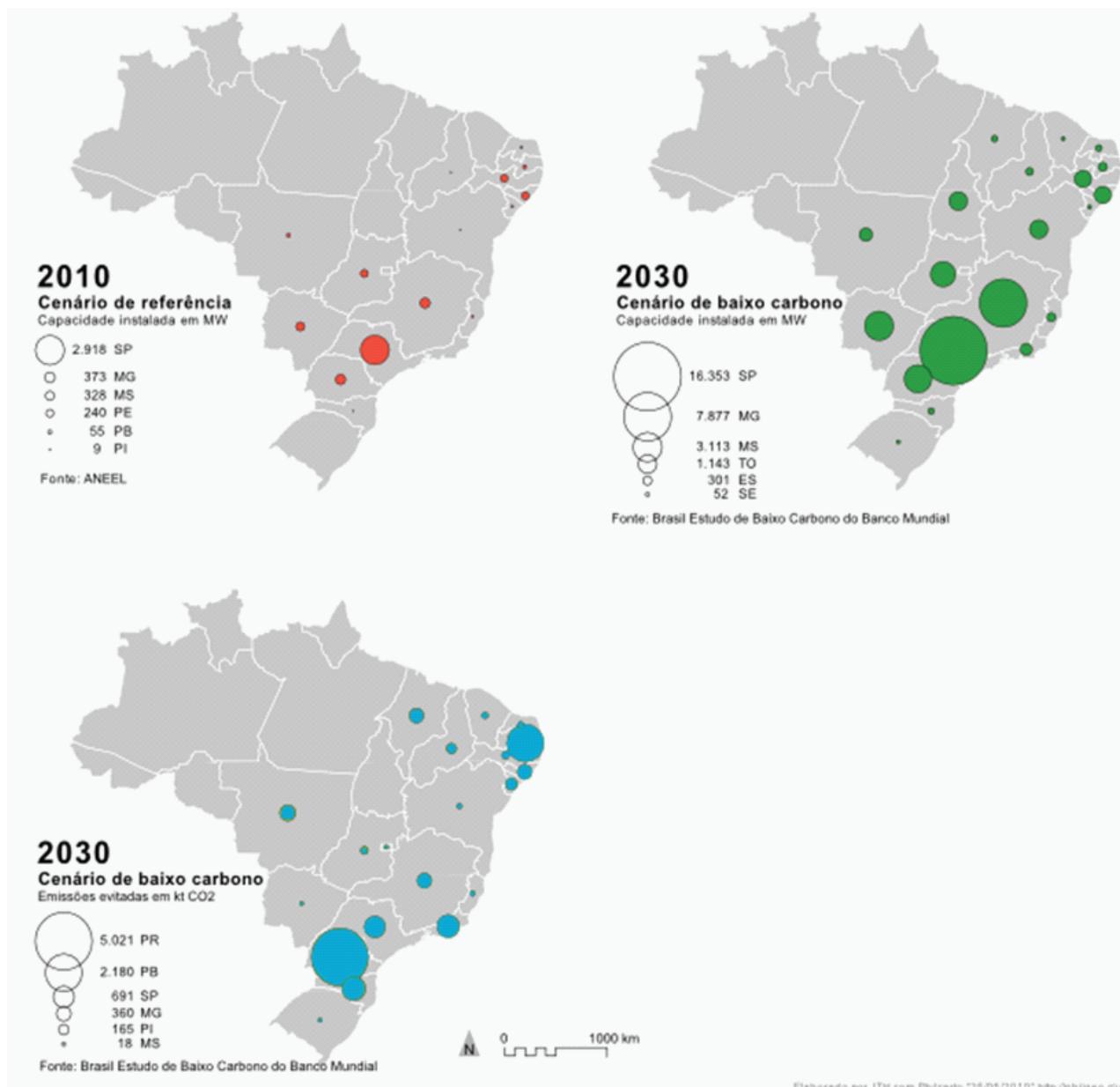


Mapa 12: Mitigação por Conservação de Energia Elétrica, 2010 a 2030

Fonte: Brasil Estudo de Baixo Carbono do Banco Mundial

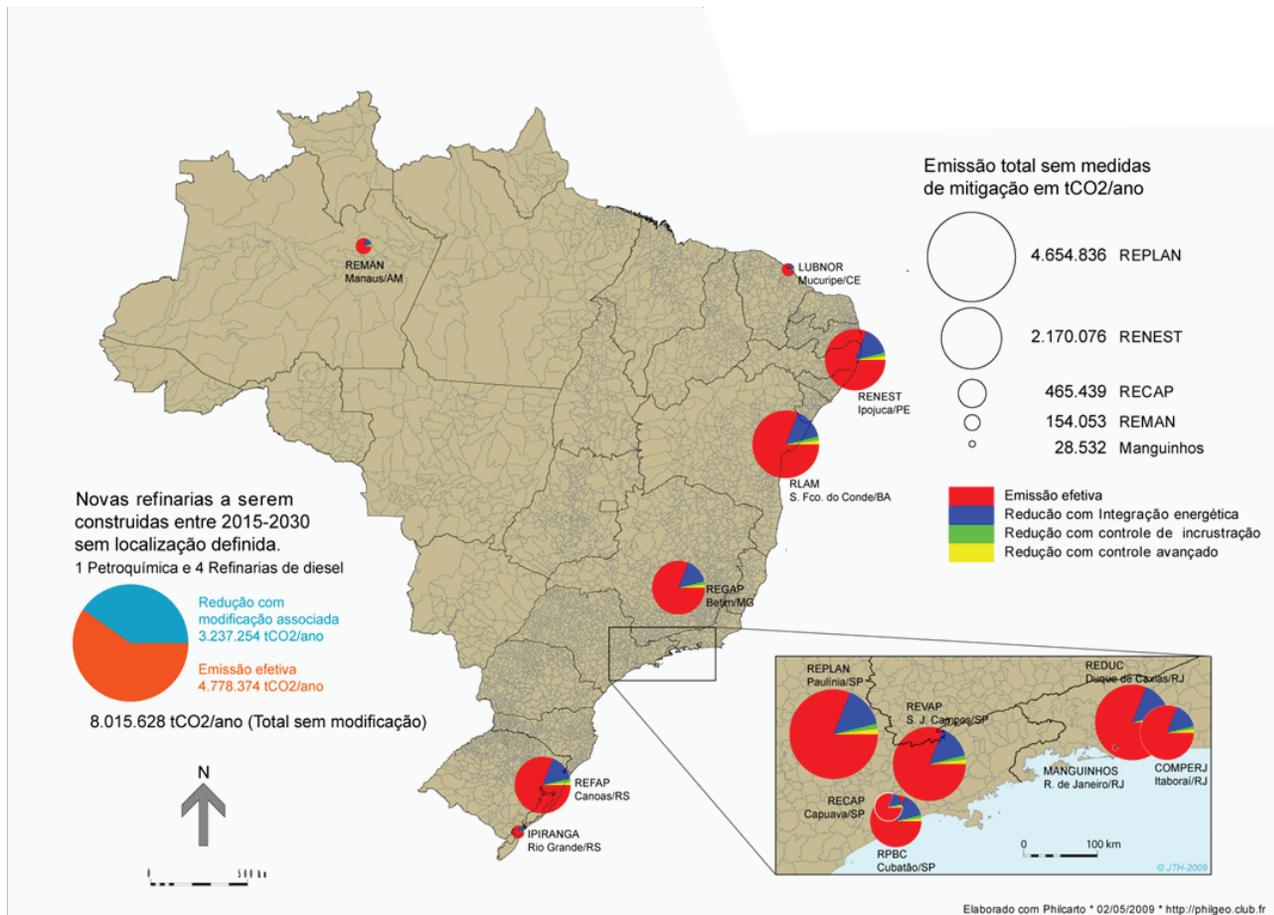
Elaborado por JTH com Philcarto * 11/02/2010 * <http://philgeo.club.fr>

Mapa 13: Cogeração - Capacidade Instalada, 2010 e 2030, e Resultante Mitigação, 2030



REFINARIAS EXISTENTES

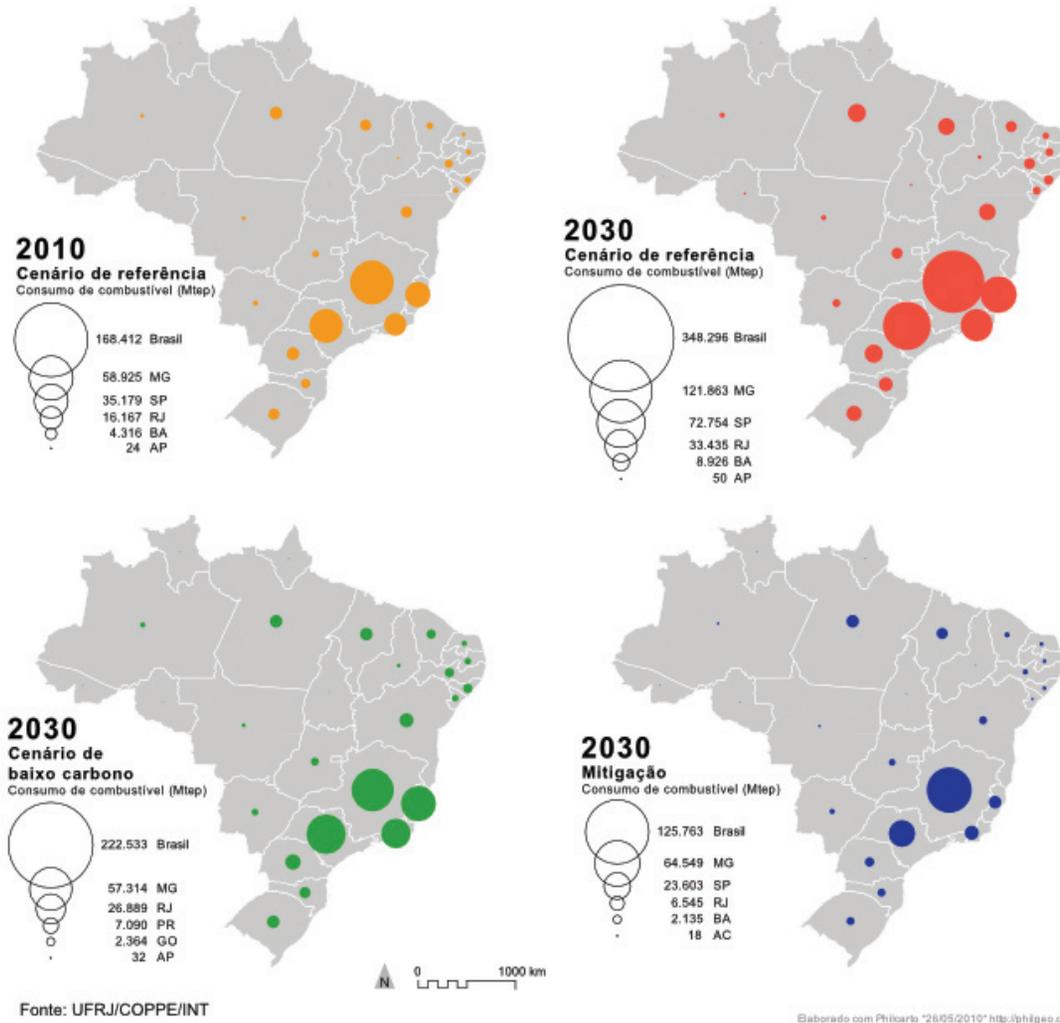
Mapa 14: Emissão e Mitigação Anual das Refinarias Existentes entre 2015 e 2030



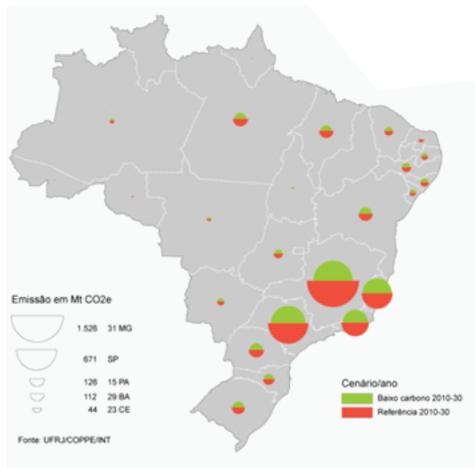
Fonte: PEE/COPPE/UFRJ, Brasil Estudo de Baixo Carbono do Banco Mundial

INDÚSTRIA – USO DE COMBUSTÍVEIS

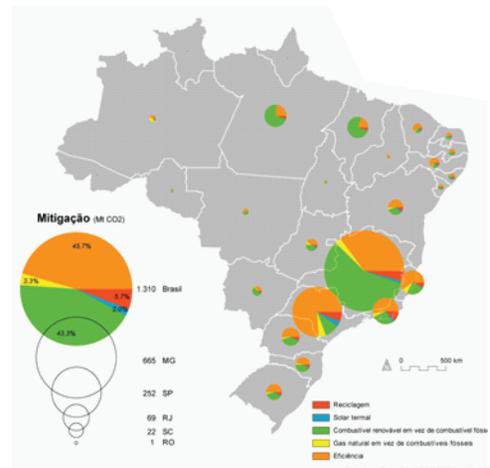
Mapa 15: Consumo de combustíveis fósseis na indústria, 2010 a 2030



Mapa 16: Total cumulativo de emissões na Indústria, 2010 a 2030

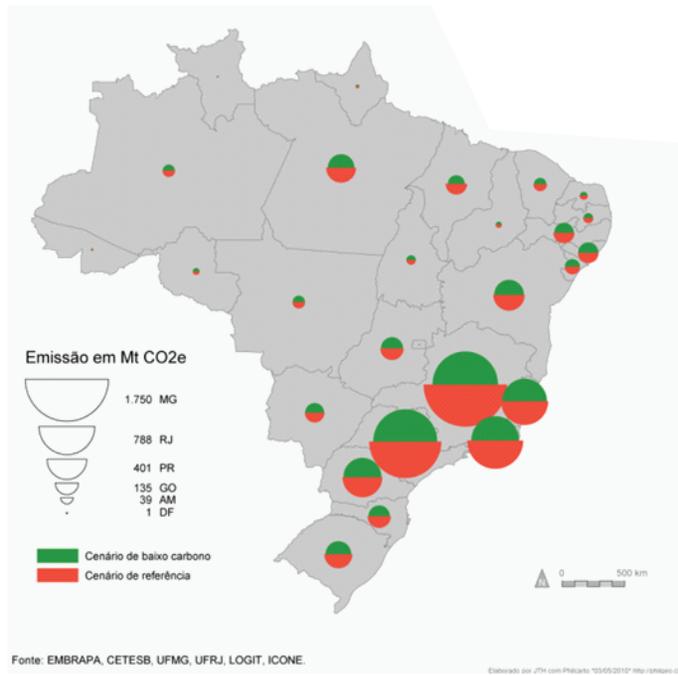


Mapa 17: Mitigação cumulativa por atividade 2010 a 2030

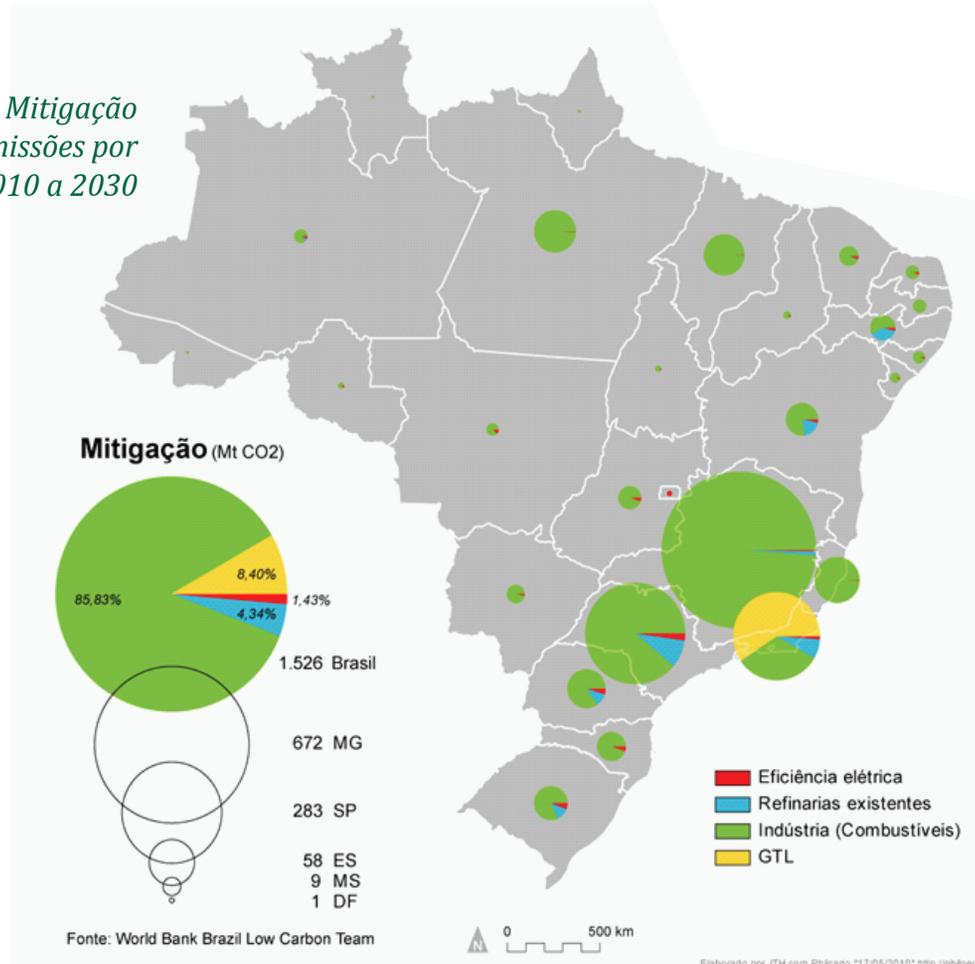


ENERGIA - TOTAL

Mapa 18: Total cumulativo de Energia, 2010 a 2030

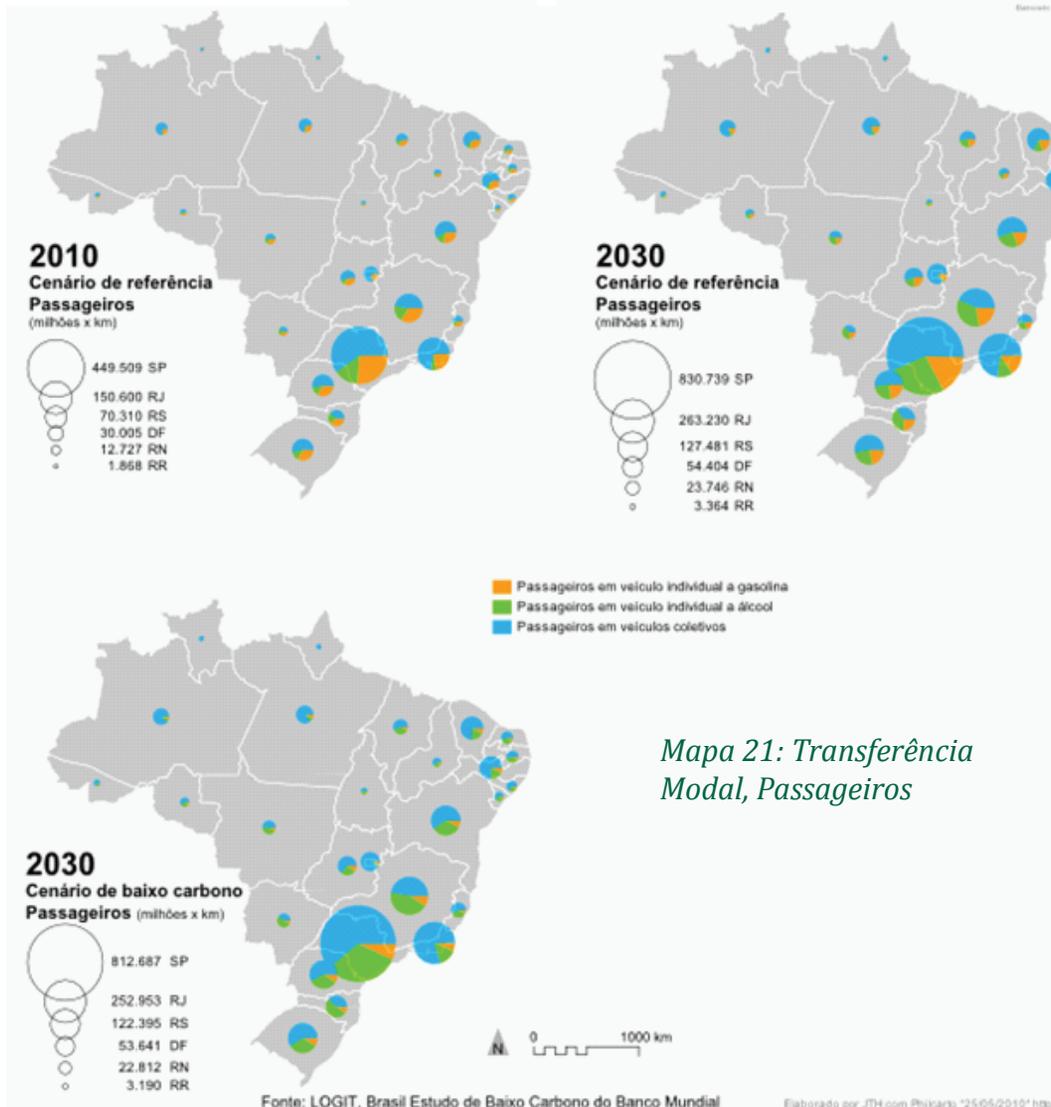
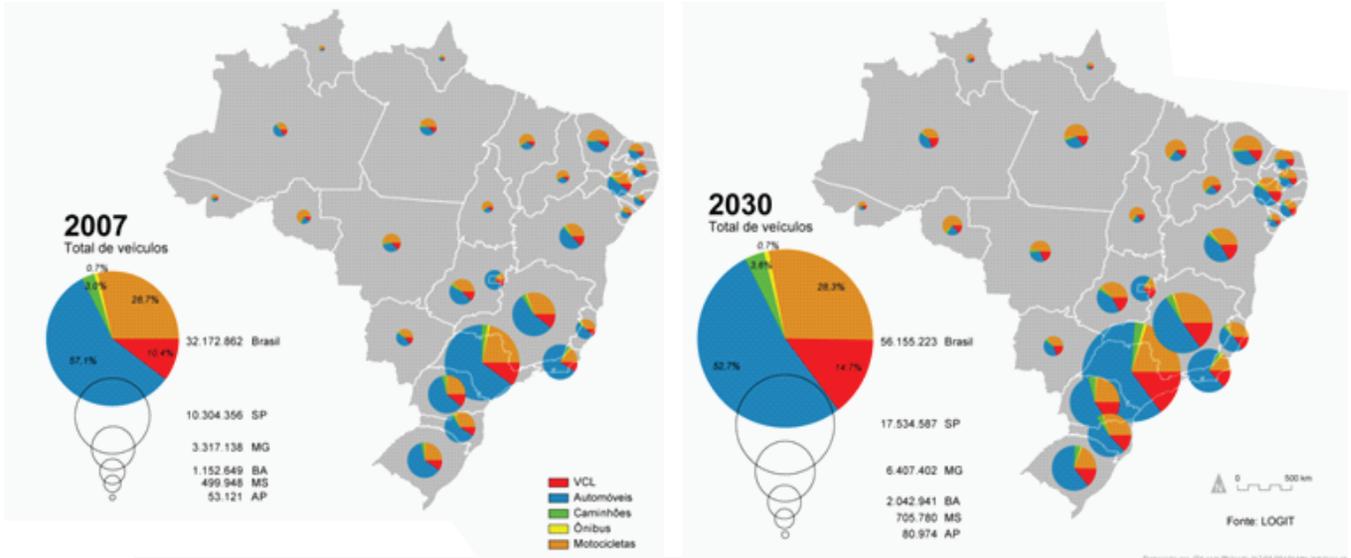


Mapa 19: Mitigação cumulativa de Emissões por Atividade, 2010 a 2030



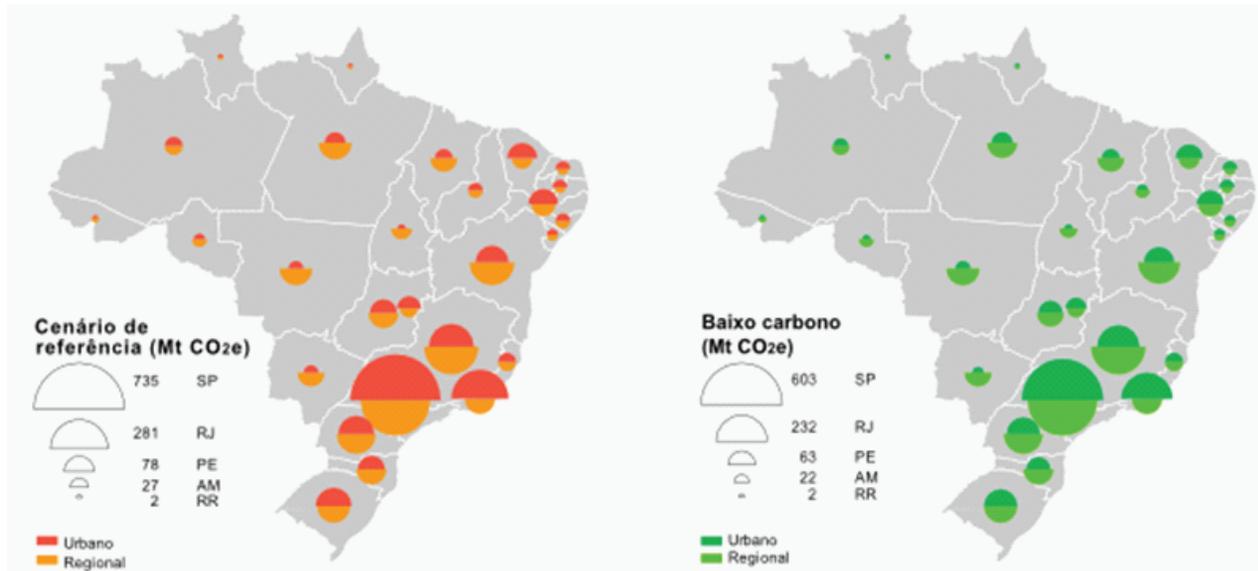
TRANSPORTE

Mapa 20: Frota Circulante, 2007 e 2030

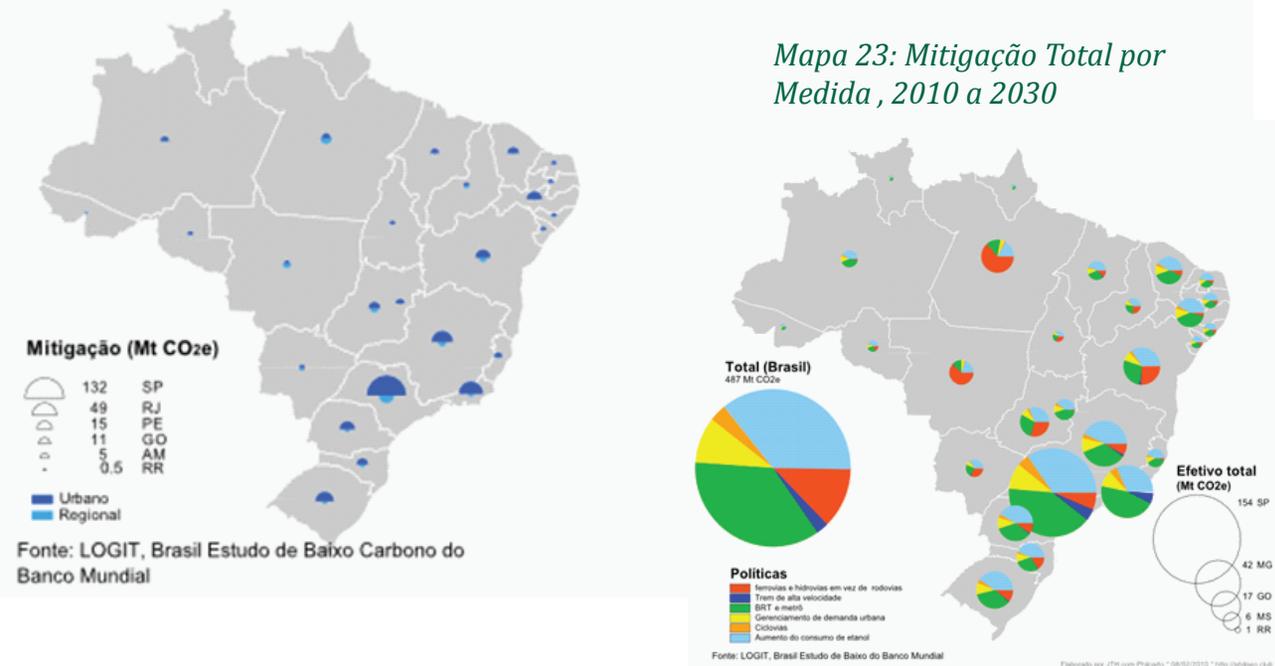


Mapa 21: Transferência Modal, Passageiros

Mapa 22: Emissão e Mitigação de Transporte Urbano e Regional, 2010 a 2030

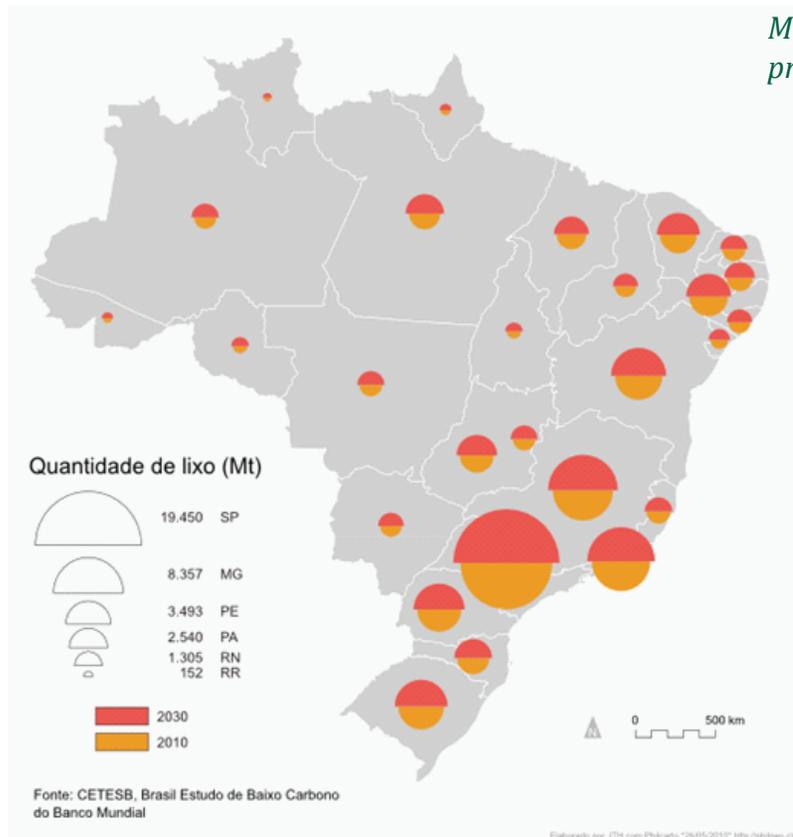


Mapa 23: Mitigação Total por Medida, 2010 a 2030

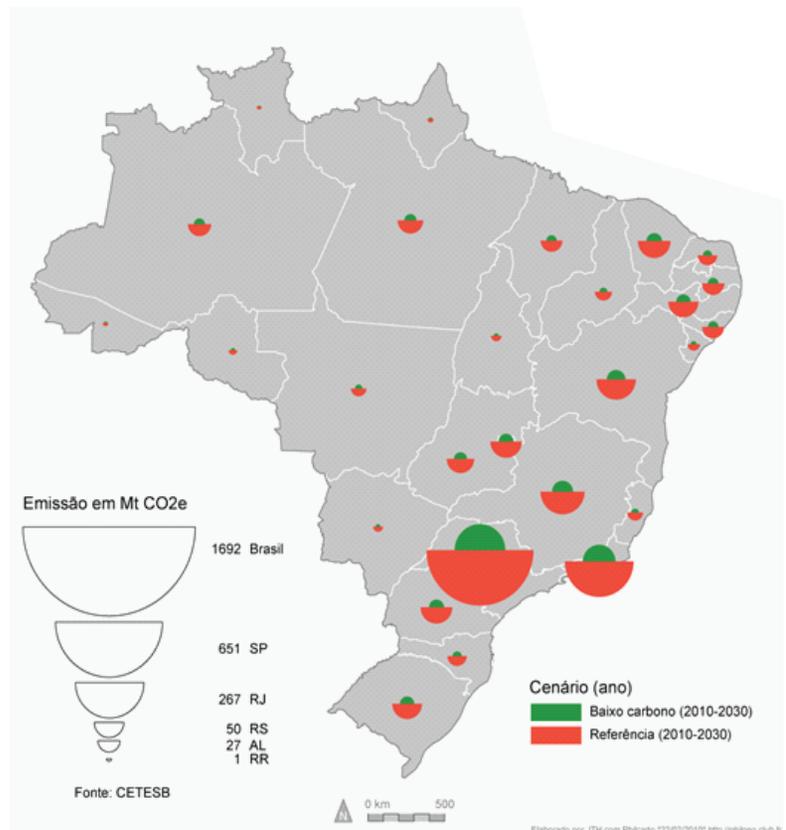


RESÍDUOS

Mapa 24: Quantidade de lixo produzida, 2010 e 2030

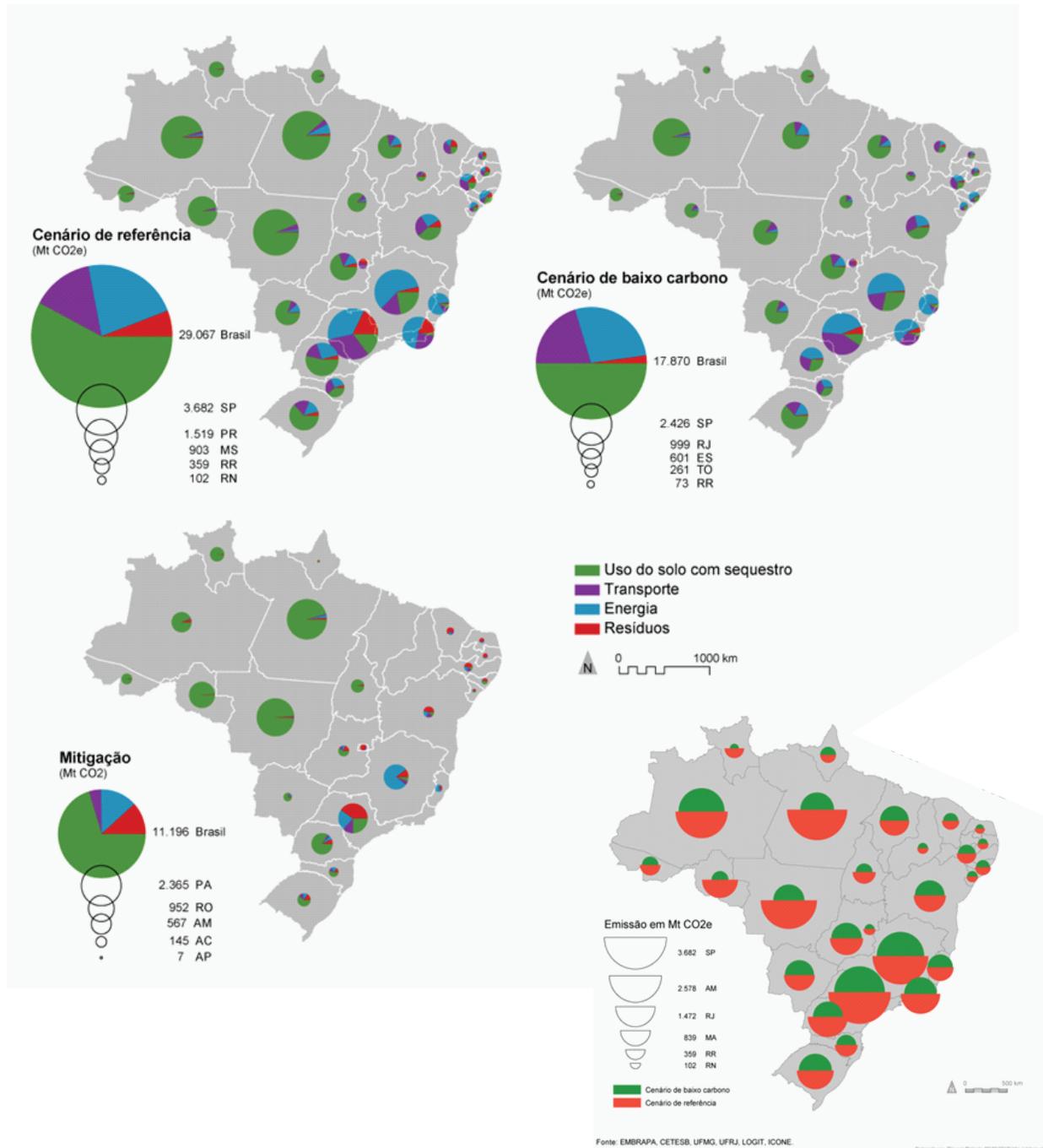


Mapa 25: Total cumulativo de emissões por estado, Resíduos, Efluentes Domésticos e Industriais, 2010 a 2030



TODOS OS SETORES

Mapa 26: Total cumulativo de Emissões e mitigação por setor, 2010 a 2030



Mapa 27: Total cumulativo de emissões, 2010 a 2030



The background of the page is a complex, abstract graphic composed of several overlapping, curved shapes in various shades of green and yellow. The colors range from a deep forest green to a bright, almost white yellow. The shapes are layered, creating a sense of depth and movement. The overall effect is a modern, organic, and vibrant design.

Referências

- Aasberg-Petersen, K., T. S. Christensen, C. S. Nielsen e I. Dybkjaer. 2003. "Recent Developments in Autothermal Reforming and Pre-reforming for Synthesis Gas Production in GTL Applications." (Desenvolvimentos Recentes da reforma e Pré-reforma Autotérmicas para a Produção de Gás de Síntese em Aplicações de GTL.) *Fuel Processing Technology* 83(1-3): 253-61.
- AB (Agência Brasil). 2008. Relatório de 14 de agosto (cogeração de biomassa). Disponível em agenciabrasil.gov.br.
- ABAL (Associação Brasileira de Alumínio). 2008. *Boletim técnico*. Disponível em www.abal.org.br.
- ABILUX (Associação Brasileira da Indústria de Iluminação). 2009. Comunicação pessoal com Isac Rozenblat, Diretor Técnico, 26 de janeiro.
- ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química). 2007a. Demanda de matérias-primas petroquímicas e provável origem até 2020. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria Química.
- . 2007b. Anuário da Associação Brasileira da Indústria Química. Edição de 2007. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria Química.
- ABM (Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração). 2008. 29º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades. São Paulo; Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). 1984. "NBR 8419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos." Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas). 2009. Anuário Estatístico da ABRAF: Ano Base 2008. Brasília: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas.
- Aden, A., M. Ruth, K. Ibsen, J. Jechura, K. Neeves, J. Sheeran, B. Wallace, L. Montague, A. Slayton e J. Lukas. 2002. "Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover." ("Biomassa Lignocelulósica para o Desenho e a Economia do Processo do Etanol com o Emprego da Prehidrólise de Ácido Diluído Co-corrente da Palha de Milho") Relatório do NREL Nº TP-510-32438. Washington, DC: National Renewable Energy Laboratory. Disponível em <http://nrelpubs.nrel.gov>.
- ADVFN. 2008. Câmbio. Disponível em: <http://br.advfn.com>.
- AIE (Agência Internacional de Energia) 2006. *Energy Technology Perspectives: Scenarios and Strategies to 2050. (Perspectivas de Tecnologia Energética: Cenários e Estratégias até 2050.)* Paris: Agência Internacional de Energia.
- . 2007a. *World Energy Outlook 2006. (Panorama Mundial de Energia 2006)* Paris: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Agência Internacional de Energia.
- . 2007b. *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions. (Rastreamento a Eficiência Energética Industrial e as Emissões de CO₂)* Paris: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Agência Internacional de Energia.
- . 2008. *Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios and Strategies to 2050. (Perspectivas de Tecnologia Energética 2008: Cenários e Estratégias até 2050.)* Paris: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Agência Internacional de Energia.
- . 2009. "IEA Implementing Agreement for Hydropower Technologies and Programmes." ("Acordo de Implementação da AIE para Tecnologias e Programas de Hidroenergia.") Disponível em www.ieahydro.org/faq.htm#a5.
- AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica). 2006. *Brazil: A Country Profile on Sustainable Energy Development. (Brasil: Um Perfil de País sobre Desenvolvimento de Energia Sustentável.)* Viena: Agência Internacional de Energia Atômica.
- Alcides, Felipe Rodrigues e Luana Priscila de Carvalho Pereira. 2007. Considerações ecológicas sobre plantios de Eucalipto. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu, Minas Gerais, 23-28 de setembro.
- Alencar, A. 2004. Desmatamento na Amazônia: Indo além da emergência crônica. Manaus: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM).
- Alexander, B. D., G. A. Huff, V. R. Pradhan, W. J. Reagan e R. H. Cayton. 2000. "Sulfur Removal Process." (Processo de Remoção de Enxofre) Disponível em www.patentstorm.us/patents/6024865/fulltext.html.
- Ali, M. F., B. El-Alia, G. Martinie e M. N. Siddiqui. 2006. "Deep Desulphurization of Gasoline and Diesel Fuels Using Nonhydrogen Consuming Techniques." ("Dessulfurização Profunda de Combustíveis de Gasolina e Diesel com o Emprego de Técnicas sem Consumo de Hidrogênio") *Fuel* 85(10-11): 1354-63.
- Aliceweb. "Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet." Disponível em <http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br>.
- Almeida, E. L., J. V. Bomtempo e R. G. Bicalho. 2004. "Viabilidade das plantas GTL: uma análise de sensibilidade das variáveis determinantes." 4º Congresso Latino-Americano e do Caribe de Gás e Eletricidade. Rio de Janeiro, 26-28 de abril.
- Almeida, J., C. Feijó e P. Carvalho. 2007. Mudança estrutural e produtividade industrial. São Paulo: Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI).

- Alsema, E. 2001. "ICARUS-4 Sector Study for the Refineries ("Estudo Setorial ICARUS-4 para Refinarias"), Universidade de Utrecht, Departamento de Ciência, Tecnologia e Sociedade, Países Baixos. Disponível em <http://copernicus.geog.uu.nl/uce-uu/downloads/Icarus/Refineries.pdf>.
- Alves, J. W. S. 2000. "Diagnóstico Técnico Institucional da Recuperação e Uso Energético do Biogás Gerado pela Digestão Anaeróbia de Resíduos." Tese de Mestrado. Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo.
- Amarante, O. A. C., M. Brower, J. Zack e A. L. Sá. 2001. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL).
- Amend, M, C. Gascon, J. Reid, J. M. C. da Silva. 2005. "Parks Produce Local Economic Benefits in Amazônia." ("Parques Produzindo Benefícios Locais na Amazônia") Relatório do Fundo de Estratégia de Conservação. Disponível em <http://conservation-strategy.org/en/reports/reports>.
- Amorin, R. 2005. "Abastecimento de água de uma refinaria de petróleo: Caso Replan." Tese de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.
- AMS (Associação Mineira de Silvicultura). 2004. *Perspectivas e tendências do abastecimento de madeira para a indústria de base florestal no Brasil: Uma contribuição à construção e acompanhamento dos cenários futuros*. Minas Gerais: Associação Mineira de Silvicultura. Disponível em www.silviminas.com.br.
- . 2008. *Anuário Estatístico 2007*. Disponível em www.silviminas.com.br.
- Anthor, J. S. e M. Hustoun. 1998. *Terrestrial Ecosystem Responses to Global Change: A Research Strategy (Respostas de Ecossistemas Terrestres à Mudança Global: Uma Estratégia de Pesquisa)*. ORNL/TM-1998/27. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.
- ANC (Assembleia Nacional Constituinte). 1988. *Constituição da República Federativa do Brasil*. 5 de outubro. Disponível em www.planalto.gov.br.
- Anderson, D. 2000. "Energy and Economic Prosperity." ("Energia e Prosperidade Econômica") *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability (Avaliação Mundial de Energia: A Energia e o Desafio da Sustentabilidade)*, ed. J. Goldemberg. Nova Iorque: Programa das Nações Unidas de Desenvolvimento, Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas e Conselho Mundial de Energia.
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). 2008. Relatório da ANEEL 2007. Disponível em www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Relatorio_Aneel_2007.pdf.
- . 2009a. "Acompanhamento da Expansão da Oferta de Geração de Energia Elétrica: Hidrelétricas." Disponível em www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=37&idPerfil=2.
- . 2009b. "Informações Técnicas, Compensação Financeira." Disponível em www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=42.
- ANL (Argonne National Laboratory). 1998. "Effects of Fouling Mitigation on the Energy Efficiency of Crude Oil Distillation." ("Efeitos da Mitigação da Incrustação sobre a Eficiência Energética da Destilação do Óleo Cru") Trabalho apresentado durante o Encontro Nacional de Primavera da AIChE, Nova Orleans.
- . 2001. "Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation (GREET 1.6)." ("Gases do Efeito Estufa, Emissões Reguladas e Uso de Energia nos Transportes") Argonne, Illinois: Argonne National Laboratory.
- ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) 2001. "Indústria Brasileira de gás natural: Regulação atual e desafios futuros." Disponível em www.anp.gov.br/participacao_gov/precos_referencia.asp.
- . 2008a. *Anuário Estatístico*. Disponível em www.anp.gov.br/petro/dados_estatisticos.asp.
- . 2008b. Lei No. 9478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em www.anp.gov.br/conheca/lei.asp?cap=1#ini.
- . 2008c. Cálculos de *royalties*. Disponível em www.anp.gov.br/participacao_gov/calculo.asp.
- . 2008d. "Tabelas contendo os preços praticados para a produção de petróleo e gás natural. Disponível em www.anp.gov.br/participacao_gov/precos_referencia.asp.
- Babich, I. V. e J. A. Moulijn. 2003. "Science and Technology of Novel Processes for Deep Desulfurization of Oil Refinery Streams: A Review." ("Ciência e Tecnologia de Novos Processos para a Dessulfurização Profunda de Correntes de Refinarias de Petróleo") *Fuel* 82(6): 607–31.
- API (American Petroleum Institute). 2000. "Technological Roadmap for the Petroleum Industry." ("Roteiro Tecnológico para a Indústria do Petróleo") Disponível em www1.eere.energy.gov/industry/petroleum_refining/pdfs/petroleumroadmap.pdf.
- Apra, R., C. Mastrullo e C. Renno. 2004. "Fuzzy Control of the Compressor Speed in a Refrigeration Plant." ("Controle Fuzzy da Velocidade do Compressor em uma Planta de Refrigeração") *International Journal of Refrigeration* 27: 639–48.
- Assad, E e H. Pinto. 2008. *Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil*. Campinas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

- Assembleia Legislativa. 2007. *Lei Estadual de Mudanças Climáticas*, Nº 3.135, Manaus, 4 de junho. Disponível em www.florestavivamazonas.org.br/download/Lei_est_n_3135_de_050607.pdf.
- Azevedo, T. E. M. A. Tocantins. 2006. "Instrumentos econômicos da nova proposta para a gestão de florestas públicas no Brasil." *Megadiversidade*, vol. 2, nº 1-2.
- Babusiaux, D. 2003. "Allocation of the CO₂ and Pollutant Emissions of a Refinery to Petroleum Finished Products." ("Alocação do CO₂ e Emissões Poluentes de uma Refinaria a Produtos Acabados de Petróleo") *Oil & Gas Science and Technology-Rev.-IFP* 58(6): 685-92.
- Babusiaux, D., and P. Bauquis. 2007. *Depletion of Petroleum Reserves and Oil Price Trends*. (Esgotamento das Reservas de Petróleo e Tendências de Preços do Petróleo) Rueil-Malmaison, França: Instituto Francês do Petróleo.
- Babusiaux, D., D. Champlon e M. Valais. 1983. "Aggregate Oil Refining Models: The Case of Energy-economy Interactions in France." ("Modelos Agregados de Refino de Petróleo: O Caso das Interações de Energia-Economia na França") *Energy Exploration and Exploitation* 2(2): 143-53.
- Babusiaux, D. e A. Pierru. 2007. "Modelling and Allocation of CO₂ Emissions in a Multiproduct Industry: The Case of Oil Refining." ("Modelagem e Alocação de Emissões de CO₂ em uma Indústria Multiprodutos: O Caso do Refino de Petróleo.") *Applied Energy* 84(7-8): 828-41.
- Bailey, K. 1999. "Optimize Heat Exchanger Operations by Minimizing Fouling." ("Otimização das Operações de Trocadores de Calor Minimizando a Incrustação.") *Hydrocarbon Processing* 78: 113-16.
- Baker, R. W., K. A. Lokhandwala, M. L. Jacobs e D. E. Gottschlich. 2000. "Recover Feedstock and Product from Reactor Vent Streams." ("Recuperação de Carga e Produtos de Correntes de Ventilação de Reatores") *Chemical Engineering Progress* 96(12): 51-7.
- Bakkerud, P. K. 2005. "Update on Synthesis Gas Production for GTL." ("Atualização sobre Produção de Gás de Síntese para GTL.") *Catalysis Today* 106(1-4): 30-3.
- Banister, J. A. e S. O. Rumbold. 2005. *A Compact Gas-to-Methanol Process and Its Application to Improved Oil Recovery*. (Um Processo Compacto Gás-para-Metanol e sua Aplicação na Melhoria da Recuperação de Petróleo) Poole, Dorset, UK: Meggitt (UK) Ltd., Heatric Division.
- Basini, L. 2005. "Issues in H₂ and Synthesis Gas Technologies for Refinery, GTL and Small and Distributed Industrial Needs." "Aspectos das Tecnologias de H₂ e Gás de Síntese para Refinarias, GTL e Necessidades Industriais Pequenas e Distribuídas." *Catalysis Today* 106(1-4): 34-40.
- BDMG (Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais) 2008. "Demonstrativo Oficial 2008." Disponível em www.bdmg.mg.gov.br.
- Beer, J. D. 1998. "Potential for Industrial Energy-Efficiency Improvement in the Long Term." ("Potencial de Melhoramento da Eficiência Energética Industrial a Longo Prazo") Universidade de Utrecht, Países Baixos.
- Betiol, L. S. 2008. "Potenciais e Limites da Responsabilidade Civil como Mecanismo Econômico de Proteção ao Meio Ambiente." 258f. Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- Bharadwaj, S. S., and L. D. Schmidt. 1995. "Catalytic Partial Oxidation of Natural Gas to Syngas." ("Oxidação Catalítica Parcial de Gás Natural para Gás de Síntese") *Fuel Processing Technology* 42(2-3): 109-27.
- Bluewater Energy Services. 2006. "Syntroleum/Bluewater To Form Joint Venture." ("Formação de Joint Venture Syntroleum/Bluewater") Disponível em www.bluewateroffshore.com/press.asp?refID=83&ID=158&contentID=158&NewsID=35.
- BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) 2009a. "Condições do Apoio do Sistema BNDES para a Implantação da Hidrelétrica Santo Antônio." Disponível em www.bndes.gov.br/infraestrutura/uhsa.asp.
- . 2009b. FINAME: Máquinas e Equipamentos. Disponível em www.bndes.gov.br/linhas/finame.asp.
- Bonezzi, Cristiane Belize, Armando Caldeira-Pires e Antônio C. P. Brasil, Jr. 2004. "Avaliação do Ciclo de Vida e a Competitividade Ambiental da Siderurgia no Brasil." Em *Intempres Brazil 2004, V Workshop Internacional sobre Inteligência Empresarial e Gestão do Conhecimento na Empresa*. Disponível em www.intempres.pco.cu/Intempres2000-04/Intempres2004/Sitio/Ponencias/36.doc.
- Bonham-Carter, G. 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. (Sistemas de Informação Geográfica para Geocientistas: Modelagem com SIGs) Nova Iorque: Pergamon Press.
- Bott, T. 2001. "To Foul or Not To Foul: That Is the Question." ("Com ou Sem Incrustação: Eis a Questão") *Chemical Engineering Progress* 11: 30-36.
- BRACELPA (Associação Brasileira de Papel e Celulose) 2008. Dados estatísticos. Disponível em: www.bracelpa.org.br.
- Breed, A., M. F. Doherty, S. B. Gadewar, P. Grosso, I. M. Lorkovic, E. W. McFarland e M. J. Weiss. 2005. "Natural Gas Conversion to Liquid Fuels in a Zone Reactor." ("Conversão de Gás Natural para Combustíveis Líquidos em Reator de Zona.")

Catalysis Today 106(1-4): 301-04.

- Brito, José Otávio. 1990. "Carvão vegetal no Brasil: Gestões econômicas e ambientais." *Estudos Avançados* 4(9): 221-27.
- . 2008. "Desafios e perspectivas da produção e comercialização de carvão vegetal." Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal, Belo Horizonte.
- Brophy, J. 2004. "Modular Gas-to-Liquids Technology." ("Tecnologia GTL Modular.") 10ª Reunião do PIN (junho), Universidade Heriot-Watt, Edimburgo. Disponível em www.velocys.com/news/conferences.php.
- Brown, L. C. 2002. "High Efficiency Generation of Hydrogen Fuels Using Nuclear Power." ("Geração de Combustíveis à Base de Hidrogênio de Alta Eficiência com o Emprego de Energia Nuclear.") Relatório Anual de agosto, 2000-julho 2001. Disponível em www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/804347-rH2617/native/.
- Brown, S. e A. E. Lugo. 1982. "The Storage and Production of Organic Matter in Tropical Forests and Their Role in the Global Carbon Cycle." ("Armazenamento e Produção de Matéria Orgânica e o seu Papel no Ciclo Global do Carbono.") *Biotropica* 14: 161-187.
- . 1984. "Biomass of Tropical Forests: A New Estimate Based on Forest Volumes." ("Biomassa de Florestas Tropicais: Uma nova estimativa a partir dos volumes das Florestas") *Science* 223: 1290-93.
- . 1992. "Aboveground Biomass Estimates for Tropical Moist Forests of the Brazilian Amazon." ("Estimativas da Biomassa Acima do Solo em Florestas Tropicais Úmidas da Amazônia Brasileira") *Interciencia* 17: 8-18.
- Brown, S., A. J. R. Gillespie, and A. E. Lugo. 1989. "Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data." *Forest Science* 35: 881-902.
- Brown, S., L. R. Iverson, A. Prasad e D. Liu. 1993. "Geographical Distributions of Carbon in Biomass and Soils of Tropical Asian Forests." ("Distribuições Geográficas do Carbono na Biomassa e no Solo de Florestas Tropicais Asiáticas") *Geocarto International* 4: 45-59.
- Brumby, A., M. Verhelst e D. Cheret. 2005. "Recycling GTL Catalysts: A New Challenge." ("Reciclagem de Catalisadores de GTL: Um Novo Desafio") *Catalysis Today* 106(1-4): 166-9.
- Brunet, S., D. May, G. Perot, C. Bouchy e F. Diehl. 2005. "On the Hydrodesulfurization of FCC Gasoline: A Review." ("Sobre a Hidrodessulfurização da Gasolina FCC: Uma Análise") *Applied Catalysis A: General* 278(2): 143-72.
- Caruso, P. e A. Clyde. 2008. *Refining Trends Part IV: The Golden Age or the Eye of the Storm? Tough Choices.* (Tendências de Refino Parte IV: A Era de Ouro ou o Olho da Tempestade? Escolhas Difíceis.) Booz & Company, Inc. Disponível em: www.booz.com.
- Carvalho, J. F. e I. L. Sauer. 2009. "Does Brazil Need New Nuclear Power Plants?" ("O Brasil Precisa de Novas Usinas Nucleares?") *Energy Policy* 37(4): 1580-84.
- Castorena, G., C. Suárez, I. Valdez, G. Amador, L. Fernández e S. Le Borgne. 2002. "Sulfur-selective Desulfurization of Dibenzothiophene and Diesel Oil by Newly Isolated Rhodococcus sp. Strains." ("Dessulfurização Seletiva para Enxofre do Dibenzotiopeño e Óleo Diesel por Cepas Recém-Isoladas de Rhodococcus sp.") *FEMS Microbiology Letters* 215(1): 157-61.
- Castro, Luiz Fernando Andrade. 2000. *Produção de gusa em altos-fornos a carvão vegetal e a coque.* Relatório Técnico. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.
- Catharino, E. L. M., L. C. Bernacci, G. A. D. C. Franco, G. Durigan e J. P. Metzger. 2005. "Aspectos da composição e diversidade do componente arbóreo das florestas da Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP." *Biota Neotropica* 6(2): 2.
- CCAP (Center for Clean Air Policy - Centro para Políticas de Ar Limpo). 2006. *Greenhouse Gas Mitigation in Brazil: Scenarios and Opportunities through 2025.* (Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil: Cenários e Oportunidades até 2025.) Rio de Janeiro: Coordenação de Programas de Pesquisa em Engenharia (COPPE).
- . 2007. *Greenhouse Gas Mitigation in Developing Countries: Scenarios and Opportunities in Brazil, China, and India.* (Mitigação de Gases do Efeito Estufa em Países em Desenvolvimento: Cenários e Oportunidades no Brasil, China e Índia.) Rio de Janeiro: Center for Clean Air Policy (- Centro para Políticas de Ar Limpo).
- CE (Comissão Europeia). 2008. "European Commission Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources." ("Proposta da Comissão Europeia para uma Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho para a Promoção do Uso de Energia de Fontes Renováveis.") Disponível em www.europarl.europa.eu.
- Cedeño-Caero, L., H. Gomez-Bernal, A. Fraustro-Cuevas, H. D. Guerra-Gomez e R. Cuevas-Garcia. 2008. "Oxidative Desulfurization of Synthetic Diesel Using Supported Catalysts: Part III. Support Effect on Vanadium-based Catalysts." ("Dessulfurização Oxidativa de Catalisadores Sintéticos Suportados com Uso de Diesel Sintético: Parte III. Efeito de Suporte sobre Catalisadores Baseados em Vanádio.") *Catalysis Today* 133-5: 244-54.
- CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). 2000. *Reduzindo, Reutilizando, Reciclando: A Indústria Ecoeficiente.* São Paulo: Compromisso Empresarial para Reciclagem.



- CentroClima. 2003. *Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, Centro de Estudos Integrados sobre Mudança Climática e Meio Ambiente. Disponível em www.centroclima.org.br/new2/ccpdf/inventario_rj.1.pdf.
- CEPED (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento). 2004. *Manual econômico da indústria química (MEIQ)*. 8ª Edição, vol. 3. Camaçari: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento.
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). 1993. *Resíduos sólidos industriais*. 2ª ed. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
- CGU (Controladoria Geral da União). 2006. Balanço Geral da União 2006. Relatório do Poder Executivo, Volume 1. Instituições Oficiais de Desenvolvimento, Capítulo IV. Disponível em www.cgu.gov.br/Publicacoes/BGU/2006/VOLUME%20I/CAP-VI.pdf.
- Chernicharo, C. A. L. 2000. *Reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).
- Chipp, H. 2009. "A Importância da Bioeletricidade na Complementaridade da Hidroeletricidade." Apresentação durante o II Fórum Cong/CanalEnergia, São Paulo, junho.
- Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). 2008. "Consolidated Baseline Methodology for Grid-connected Electricity Generation from Renewable Energy Sources." ("Metodologia Básica Consolidada para a Geração de Eletricidade Conectada à Rede com Base em Fontes Renováveis de Energia.") Versão ACM0002/version 8. Disponível em http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF_AM_YOYKBRCBIK7TSPSB7MQT75SPX75PE8.
- CNI (Confederação Nacional da Indústria). 2007. *Matriz energética: Cenários, oportunidades e desafios*. Brasília: Confederação Nacional da Indústria.
- Coe, M. Costa e B. S. Soares-Filho. 2009. "The Influence of Historical and Potential Future Deforestation on the Stream Flow of the Amazon River: Land Surface Processes and Atmospheric Feedbacks." ("A Influência do Desmatamento Histórico e Potencial Futuro no Fluxo do Rio Amazonas: Processos na Superfície da Terra e Impactos Atmosféricos.") *Journal of Hydrology* 369(1-2): 164-74.
- Comissão Interministerial de Mudança do Clima. 2008a. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)*. Disponível em www.mma.gov.br/estruturas/169/_arquivos/169_29092008073244.pdf.
- . 2008b. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)*. Versão para consulta pública, setembro. Disponível em www.forumclima.org.br/arquivos/plano-nacional-mc.pdf.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). 2008. Central de informações agropecuárias, safras. Disponível em www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=1012008.
- CONPET (Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural) 2008. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em www.conpet.gov.br/home_conpet.php?segmento=conpet.
- Coogee Chemical. 2007. "Building a Floating Methanol Plant." ("Construção de Uma Usina Flutuante de Metanol") Disponível em www.coogee.com.au/op_meth.html#floating.
- Copeland, R. J., Y. Gershanovich e B. Windecker. 2005. *High Efficiency Syngas (Gás de Síntese de Alta Eficiência) Generation*. (Geração.) Washington, DC: National Energy Technology Laboratory (Laboratório Nacional de Tecnologia Energética), EUA. Departamento de Energia.
- COPPE/UFRJ (Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia/Universidade Federal do Rio de Janeiro). 2006. *Balanço Energético do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia/Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Cornot-Gandolphe, S., O. Appert, R. Dickel, M. Chabrelie e A. Rojey. 2003. "The Challenges of Further Cost Reductions for New Supply Options" ("Desafios de Maiores Reduções de Custos para Novas Opções de Oferta") (Pipeline, LNG, GTL)." 22ª Conferência Mundial do Gás, Tóquio, 1-5 de junho.
- Coutinho, L. e J. C. Ferraz. 1994. *Estudo da competitividade da indústria brasileira*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)/Papyrus.
- CTEC (CANMET Centro de Tecnologia Energética). 2003. *L'analyse Pinch: pour l'utilisation efficace de l'énergie, de l'eau et de l'hydrogène. (Análise Pinch: para a utilização eficaz da energia, da água e do hidrogênio.)* Disponível em <http://canmetenergy.nrcan.gc.ca/fichier.php/codectec/Fr/2003-140/2003-140f.pdf>.
- Cunha, M. E. G. 2002. "Análise do Setor de Saneamento Ambiental no Aproveitamento Energético de Resíduos: O caso do Município de Campinas." Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- Dai, Y. C., Y. T. Qi, D. Z. Zhao e H. C. Zhang. 2008. "An Oxidative Desulfurization Method Using Ultrasound/Fenton's Reagent for Obtaining Low and/or Ultra-low Sulfur Diesel Fuel." ("Um Método de Dessulfurização Oxidativa com o Emprego do Ultrassom/Reagente de Fenton para Obtenção de Diesel com Baixo e/ou Ultra Baixo Teor de Enxofre.") *Fuel Processing*

Technology 89(10): 927–32.

- Davy Process Technology. 2007. "Gas Conversion Using Novel Reforming Technology." ("Conversão de Gás com o Emprego de Uma Nova Tecnologia de Reforma") Disponível em www.davyprotech.com/Default.aspx?cid=517.
- De Beer, J., E. Worrel e K. Blok. 1997. "Long-term Energy-efficiency Improvements in the Paper and Board Industry." ("Aprimoramentos de Longo Prazo em Eficiência Energética na Indústria de Papel e Papelão.") *Energy* 23(1): 21–42.
- De Gouvêlo, Ch. 1999. "« Régulation publique des énergies de réseau et spécialisation agro-pastorale des fronts pionniers récents. Le cas de la frontière agricole sud-amazonienne ("Regulação pública das redes de distribuição de energia e especialização agro-pecuária das frentes pioneiras recentes. O caso da fronteira agrícola no sul da Amazônia)»," *L'espace Géographique*, Tome 28, n° 3, pp.257-268.
- . 1998. "Future Technologies for Energy-efficient Iron and Steel Making." ("Futuras Tecnologias na Fabricação de Ferro e Aço com Eficiência Energética.") *Annual Review Energy Environmental* 23: 123–205.
- de Klerk, A. 2008. "Hydroprocessing Peculiarities of Fischer-Tropsch Syncrude." ("Peculiaridades de Hidroprocessamento do Syncrude Fischer-Tropsch.") *Catalysis Today* 130(2–4): 439–45.
- De Paula, C. P. 2004. "Geração Distribuída e Cogeração no Setor Elétrico: Avaliação Sistêmica de um Plano de Inserção Incentivada." Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Descamps, C., C. Bouallou e M. Kanniche. 2008. "Efficiency of an Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Power Plant Including CO₂ Removal." ("Eficiência de uma Usina Elétrica de Gaseificação Integrada em Ciclo Combinado (IGCC) Incluindo Remoção de CO₂.)" *Energy* 33(6): 874–81.
- De Sousa, E. L. 2007. "Perspectivas para o Açúcar, o Etanol e a Bioeletricidade." Apresentação em Power Point, novembro.
- de Souza, M. J., B. P. Jacob e G. B. Ellwanger. 1998. "Structural Design of Process Decks for Floating Production, Storage and Offloading Units." ("Desenho Estrutural de Decks de Processo para a Produção e Armazenamento Flutuantes e Unidades de Descarregamento.") *Marine Structures* 11(10): 403–12.
- Dhir, S., R. Uppaluri e M. Purkait. 2009. "Oxidative Desulfurization: Kinetic Modelling." ("Dessulfurização Oxidativa: Modelagem Cinética.") *Journal of Hazardous Materials* 161(2–3): 1360–68.
- DIEESE (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos) 2005. "Política industrial no Brasil: O que é a nova política industrial." *Nota Técnica*, n° 11, dezembro.
- Dislich, R., L. Cersósimo e W. Mantovani. 2001. "Análise da estrutura de fragmentos florestais no Planalto Paulistano, SP" *Revista Brasileira de Botânica* 24(3): 321–32.
- DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) 2007. *Sumário mineral 2007*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em www.dnpm.gov.br.
- DOE (Departamento de Energia dos EUA) 2005. "Clean Cities Initiative Fact Sheet." ("Boletim Informativo da Iniciativa de Cidades Limpas") Abril. Washington, DC: Departamento de Energia dos EUA.
- DOE and EIA (Departamento de Energia dos EUA e Energy Information Administration – Administração de Informações sobre Energia). 2007. *Annual Energy Outlook 2007-with Projections to 2030*. (Panorama Annual de Energia 2007 – com Projeções até 2030). Disponível em www.eia.doe.gov/oiaf/archive/aeo07/index.html.
- dos Santos, M. C., P. R. Seidl e M. Guimarães. 2008. "Metodologias para a Maximização de Olefinas nas Unidades de Processamento do COMPERJ." *Rio Oil & Gas*, 1–6.
- Dry, M. E. 2004. "Present and Future Applications of the Fischer-Tropsch Process." ("Aplicações Presentes e Futuras do Processo Fischer-Tropsch.") *Applied Catalysis A: General* 276(1–2): 1–3.
- Dutra, R. e A. e Szklo. 2008a. "Assessing Long-term Incentive Programs for the Implementation of Wind Power in Brazil Using GIS Rule-based Methods." ("Avaliação de Programas de Incentivo de Longo Prazo para Implementação da Energia Eólica no Brasil Empregando Métodos Baseados em GIS.") *Renewable Energy* 33: 2507–15.
- . 2008b. "Incentive Policies for Promoting Wind Power Production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian Electric Power Sector Regulation." ("Políticas de Incentivo para a Promoção da Energia Eólica no Brasil: Cenários para o Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia (PROINFA) de acordo com a nova Regulamentação Brasileira para o Setor de Energia Elétrica.") *Renewable Energy* 33: 65–76.
- EDELCA (C.V.G. Electrificación del Caroni, C.A.). 2004. "Síntesis del Estudio Plan Maestro de la Cuenca del Río Caroní." ("Síntese do Estudo Plano-Mestre da Bacia do Rio Caroni.") Disponível em www.edelca.com.ve/ambiental/pdf/resumen_cuenca_caroni.pdf.
- . 2007. Relatório Anual. Disponível em www.edelca.com.ve/publicaciones/pdf/informe_anual_2007.pdf
- EGEE (Expert Group on Energy Efficiency – Grupo de Especialistas em Eficiência Energética). 2007. *Realizing the Potential of*

Energy Efficiency: Targets, Policies, and Measures for G8 Countries. (Realizando o Potencial da Eficiência Energética: Metas, Políticas e Medidas para Países do G8.) Washington, DC: Fundação das Nações Unidas.

- EIA (Energy Information Administration - Administração de Informações sobre Energia). 2008. Petróleo, Dados dos EUA. Disponível em www.eia.doe.gov/.
- EIA and DOE (Administração de Informações sobre Energia e Departamento de Energia dos EUA). Foreign Electricity Emission Factors. (Fatores Externos de Emissões de Eletricidade.) 1999-2002. Disponível em www.eia.doe.gov/oiaf/1605/excel/electricity_factors_99-02country.xls.
- . 2003. *The Global Liquefied Natural Gas Market: Status and Outlook*. (O Mercado Global de Gás Natural Liquefeito: Situação e Panorama.) Washington, DC: Departamento de Energia dos EUA. Disponível em www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/global/index.html.
- EIPPCB (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau - Bureau Europeu Integrado para Prevenção e Controle da Poluição). 2001. Reference Document for BAT for Mineral Refineries. (Documento de Referência para BAT para Refinarias Minerárias.) Bruxelas: Bureau Europeu Integrado para Prevenção e Controle da Poluição. Disponível em <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/>.
- Ekins, P., R. Vanner e J. Firebrace. 2007. "Zero Emissions of Oil in Water from Offshore Oil and Gas Installations: Economic and Environmental Implications." *Journal of Cleaner Production* 15(13-4): 1302-15.
- Eletrobrás. 2008. 2007 Resultados do PROCEL. Rio de Janeiro: Eletrobrás e Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, EMBRAPA.
- . 2003. Cultivo do eucalipto. Sistemas de Produção 4. Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto>.
- . 2004. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: Agritempo. Disponível em www.agritempo.gov.br.
- . 2007. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em www.cnpq.embrapa.br/producao/industria.php.
- . 2008. *Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil*. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Energetics. 2007. "Energy and Environmental Profile of the U.S. Petroleum Refining Industry." ("Energia e Perfil Ambiental da Indústria de Refino de Petróleo dos EUA") Departamento de Energia dos EUA, Programa de Tecnologias Industriais. Disponível em www1.eere.energy.gov/industry/petroleum_refining/pdfs/profile.pdf.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency - Agência de Proteção Ambiental dos EUA). 2007. *Energy Trends in Selected Manufacturing Sectors: Opportunities and Challenges for Environmentally Preferable Energy Outcomes. (Tendências em Energia em Setores Selecionados de Fabricação: Oportunidades e Desafios para Resultados de Energia Ambientalmente Preferíveis.)* Relatório Final, março. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- . 2009. "CFR Part 80, Part II." *Federal Register* 74 (May 26): 99.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). 2007. "Plano Nacional de Energia 2030" (PNE 2030) Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética e Ministério de Minas e Energia. Disponível em www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx.
- EPE e MME (Empresa de Pesquisa Energética e Ministério das Minas e Energia). 2005. *Estudos das premissas básicas para as projeções do mercado de energia elétrica 2005-2015*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética e Ministério das Minas e Energia.
- . 2007. *Balço energético nacional 2007*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética e Ministério das Minas e Energia.
- ERG (Energy Resources Group - Grupo de Recursos Energéticos). 2005. "The ERG Biofuels Analysis Meta-Model (EBAMM)." ("O Metamodelo de Análise de Biocombustíveis ERG.") Versão 1.0. Disponível em <http://rael.berkeley.edu/EBAMM/>.
- ERG (Energy Resources Group - Grupo de Recursos Energéticos) and Richard and Rhoda Goldman School of Public Policy (Escola de Política Pública Richard e Rhoda Goldman). 2005. "ERG Biofuels Analysis Meta-Model (EBAMM)." ("O Metamodelo de Análise de Biocombustíveis ERG.") Disponível em <http://rael.berkeley.edu/EBAMM/>.
- EUCAR (European Council on Automotive R&D - Conselho Europeu sobre P&D do Setor Automotivo), CONCAWE e JRC (Joint Research Centre of the EU Commission - Centro Conjunto de Pesquisa da Comissão da União Europeia). 2004. "Well to Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context." ("Análise do Ciclo Completo do Carbono de Futuros Combustíveis Automotivos e Conjuntos de Motor e Transmissão no Contexto Europeu.") Janeiro.

- EURELECTRIC. 2004. "Electricity for More Efficiency: Electric Technologies and Their Energy Savings Potential." ("Eletricidade para Maior Eficiência: Tecnologias Elétricas e Seu Potencial para Economia de Energia.") Bruxelas: EURELECTRIC.
- European Council for Automotive R&D – Conselho Europeu sobre P&D do Setor Automotivo (EUCAR), European Commission Joint Research Centre – Centro Conjunto de Pesquisa da Comissão da União Europeia (JRC) e CONCAWE. 2004. "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context." ("Análise do Ciclo Completo do Carbono de Futuros Combustíveis Automotivos e Conjuntos de Motor e Transmissão no Contexto Europeu.") Disponível em <http://ies.jrc.cec.eu.int/Download/eh>.
- Eva, H. D., A. S. Belward, E. E. de Miranda, C. M. di Bella, V. Gond, O. Huber, S. Jones, M. Sgrnzaroli e S. Fritz. 2004. "A Land Cover Map of South America." ("Um Mapa da Cobertura Terrestre da América do Sul") *Global Change Biology* 10: 731–44.
- Exxon. 1981. "Economic Penalties Associated with the Fouling of Refinery Heat Transfer Equipment." ("Penalidades Econômicas Associadas à Incrustação em Equipamentos de Transferência de Calor em Refinarias.") *Fouling of Heat Transfer Equipment* (Incrustação em Equipamentos de Transferência de Calor). Nova Iorque: Sommerscales and Knudsen.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 2001. *FAOCLIM 2.0: A Worldwide Agroclimatic Database (Uma Base de Dados Agroclimática Mundial)*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAPRI (Food and Agricultural Policy Research Institute – Instituto de Pesquisa em Política Alimentar e Agrícola). 2007. FAPRI Models (Modelos FAPRI). Disponível em www.fapri.iastate.edu/models.
- Farid, J. 2008. "Instituições Oficiais dão R\$8 bi para o Madeira." *Estadão de Hoje: Economia & Negócios*, sexta-feira, 19 de dezembro. Disponível em www.estadao.com.br/estadaodehoje/20081219/not_imp296205,0.php.
- Farr, T. G., P. A. Rosen, E. Caro, R. Crippen, R. Duren., S. Hensley, M. Kobrick, M. Paller, E. Rodriguez, L. Roth, D. Seal, S. Shaffer, J. Shimada, J. Umland, M. Werner, M. Oskin, D. Burbank e D. Alsdorf. 2007. "The Shuttle Radar Topography Mission." ("A Missão Topográfica Radar Shuttle.") *Rev. Geophys* 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- Farrar, G. 2004. "Nelson-Farrar Quarterly Costimating: Indexes for Selected Equipment Items." ("Estimativa de Custos Trimestral Nelson-Farrar: Índices para Equipamentos Seleccionados.") *Oil & Gas Journal* 102(13): 58–9.
- . 2006. "Nelson-Farrar Cost Indexes." ("Índices de Custos Nelson-Farrar.") *Oil & Gas Journal* 104(37).
- . 2007. "How Refinery Fuel Indexes Have Varied." ("Como Variaram os Índices de Combustíveis de Refinarias.") *Oil & Gas Journal* 105(1).
- Fearnside, P. 2005. "Desmatamento na Amazônia Brasileira: História, índices e consequências." *Megadiversidade* 1(1): 113–23.
- Fearnside, P., Righi, C., Lima de Alencastro Graça, P., Keizer, E., Cerri, C., Melo Nogueira, E., Barbosa, R. 2009. "Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian 'arc of deforestation': The states of Mato Grosso and Rondônia." *Forest Ecology and Management* 1968–1978 (258).
- Ferreira, N. C., L. G. Ferreira, A. R. Huete e M. E. Ferreira. 2007. "An Operational Deforestation Mapping System Using MODIS Data and Spatial Context Analysis." ("Um Sistema Operacional de Mapeamento do Desmatamento Utilizando Dados do MODIS e Análise do Contexto Espacial.") *International Journal of Remote Sensing* 28: 47–62.
- Ferreira, O. C. 2000a. "Emissões de gases de efeito estufa na produção e consumo de carvão vegetal." *Economia e Energia*, nº 20, May-June.
- . 2000b. "O futuro do carvão vegetal na siderurgia." *Economia e Energia*, nº 21, July-August.
- Figueiredo, P. J. M. 1993. "Os Resíduos Sólidos e sua Significação ao Impasse Ambiental e Energético da Atualidade." Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- Figueroa, J., T. Fout, S. Plasynski, H. McIlvried e R. D. Srivastava. 2008. "Advances in CO₂ Capture Technology: The U.S. Department of Energy Carbon Sequestration Program." ("Avanços na Tecnologia de Captura de CO₂: O Programa de Sequestro de Carbono do Departamento de Energia dos EUA.") *International Journal of Greenhouse Gases Control* 2: 9–20.
- Fleisch, T. H. 2006. *Syngas Chemistry: Key Technology for the 21st Century*. (Química do Singás: Uma Tecnologia Crucial para o Século XXI) Dresden: Simpósio de Química do Singás.
- Forsberg, C. W. e K. L. Peddicord. 2001. *Hydrogen Production as a Major Nuclear Energy Application*. (Produção do Hidrogênio como Aplicação Importante da Energia Nuclear.) Washington, DC: Departamento de Energia dos EUA. Disponível em www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/pres/111133.pdf.
- Freid, J. F., T. Gamlin e M. Ashely. 2003. "The Ultimate 'Clean' Fuel-Gas-to-Liquids Products." ("Últimos Produtos Combustível 'Limpo'- GTL.") *Hydrocarbon Processing* 52–8.
- Frischtak, C. R. 2009. "A Matriz de Energia Elétrica Brasileira e a Economia de Baixo Carbono." *Na Crise Global as Oportunidades do Brasil e a Cultura da Esperança*, org. J. P. Dos Reis Velloso. Rio de Janeiro: José Olympio.
- FSP (Folha de São Paulo). 2009. BNDES terá mais R\$100 bi para investir. Sexta-feira, 23 de janeiro.
- Furriela, R. B. 2005. *Introdução às mudanças climáticas globais: Desafios atuais e futuros*. Brasília: Instituto de Pesquisa

Ambiental da Amazônia (IPAM).

- Garcia, A. P. 2003. "Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria." Tese de Mestrado. Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- Gardner, R., E. Schwarz e K. Rock. 2001. *Start-up of First CDHydro®/CDHDS® Unit at Irving Oil's Saint John, New Brunswick Refinery*. (Start-up da Primeira Unidade CDHydro®/CDHDS® na Refinaria da Irving Oil em Saint John, New Brunswick.) New Orleans: National Petrochemical & Refiners Association (NPRA).
- Gary, J. H., G. E. Handwerk e M. J. Kaiser. 2007. *Petroleum Refining: Technology and Economics. (Refino de Petróleo: Tecnologia e Economia.)* 5ª ed. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Gazeta Mercantil. 1998. "Análise Setorial: Saneamento Básico," vol. 3, São Paulo.
- . 2004. "Lâmpada incandescente começa a recuperar espaço no mercado." 22 de abril. Disponível em <http://infoener.iee.usp.br/infoener/hemeroteca/imagens/78610.htm>.
- GDI (Gestor Digital de Informações). 2007. "Governo já estuda nova hidrelétrica na Amazônia. Eletrosul." Disponível em www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/index.php?pg=cl_abre&cd=gekeeY4:%60Teec.
- . 2009. "Hidrelétrica pode afetar área." Disponível em www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/cl_pesquisa.php?pg=cl_abre&cd=gmlgaZ5~DQcfi.
- Geller, H. 2003. *Revolução energética: Políticas para um futuro sustentável*. Rio de Janeiro: Relume Dumará.
- Geller, H., R. Schaeffer, A. Szklo e M. T. Tolmasquim. 2004. "Policies for Advancing Energy Efficiency and Renewable Energy Use in Brazil." ("Políticas para o Avanço da Eficiência Energética e para o Uso da Energia Renovável no Brasil.") *Energy Policy* 32(12): 1437–50.
- Gomes, B. Z., F. R. Martins e J. Y. Tamashiro. 2004. "Estrutura do cerradão e da transição entre cerradão e floresta paludícola num fragmento da International Paper do Brasil Ltda., em Brotas, SP." *Revista Brasileira de Botânica* 27(2): 249–62.
- Gomes, G. L., A. S. Szklo e D. A. Castelo Branco. 2008. "Challenges and Technological Opportunities for the Oil Refining Industry: A Brazilian Refinery Case." ("Desafios e Oportunidades Tecnológicas para a Indústria de Refino de Petróleo: Um Caso de Refinaria Brasileira.") 19º Congresso Mundial de Petróleo, Madri.
- Gorini, A. P. 2000. "Panorama do setor têxtil no Brasil e no mundo: Reestruturação e perspectivas." *BNDES Setorial*, nº 12, 17–50.
- Governo do Estado de Minas Gerais. 1991. Lei nº 10.561, 27 de dezembro. Disponível em www.ief.mg.gov.br.
- Governo Federal do Brasil. 2008. Plano Nacional de Mudança do Clima (PNMC). Brasília: Comissão Interministerial sobre Mudança Climática Global. Disponível em www.mma.gov.br.
- Grainger, D. 2007. "Development of Carbon Membranes for Hydrogen Recovery." ("Desenvolvimento de Membranas de Carbono para Recuperação de Hidrogênio.") Tese de Doutorado. Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia, Faculdade de Ciências Naturais e Tecnologia, Departamento de Tecnologia dos Materiais. Disponível em www.diva-portal.org/ntnu/abstract.xsql?dbid=1822.
- Granovskii, M., I. Dincer e M. A. Rosen. 2007. "Greenhouse Gas Emissions Reduction by Use of Wind and Solar Energies for Hydrogen and Electricity Production: Economic Factors." ("Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa através do Emprego de Energias Eólica e Solar para a Produção de Hidrogênio e Eletricidade: Fatores Econômicos.") *International Journal of Hydrogen Energy* 32(8): 927–31.
- Grupo Banco Mundial. 2003. "Kyoto Mechanisms for Flaring Reductions." ("Mecanismos de Quioto para Redução do Flare.") Washington, DC: Banco Mundial.
- . 2008. Global Gas Flaring Reduction. (Redução Global do Flare do Gás.) Disponível em <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTOGMC/EXTGGFR/0,,contentMDK:21022944~menuPK:828161~pagePK:64168445~piPK:64168309~theSitePK:578069,00.html>.
- Hagiwara, T. 2001. *Gasoline Production Technology and Methods, and an Evaluation of Their Economic Viability*. (Tecnologia e Métodos para a Produção de Gasolina e Avaliação de Sua Viabilidade Econômica.) Centro de Energia do Petróleo (Japão), Departamento de Tecnologia.
- Hahn, C. M., C. Oliveira, E. M. Amaral e P. V. Soares. 2004. *Recuperação florestal: da muda à floresta*. São Paulo: Imprensa Oficial.
- Hallale, N. 2001. "Burning Bright: Trends in Process Integration." ("Queima Brilhante: Tendências na Integração de Processos.") *Chemical Engineering Progress* 97(7): 30–41.
- Hallwood, P. 2007. "A Note on U.S. Royalty Relief, Rent Sharing and Offshore Oil Production." ("Uma Nota sobre a Redução de Royalties, Compartilhamento de Renda e Produção de Petróleo Offshore.") *Energy Policy* 35(10): 5077–79.
- Hansen, R. 2005. Workshop sobre Conversão de Gás Offshore, Oslo (17-18 de fevereiro). Disponível em <http://gtlpetrol.com/>

public/rhansenstatoil2005oslo.pdf.

- Hassuani, S. J., M. R. L. V. Leal e I. C. Macedo. 2005. *Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash. (Geração de Energia de Biomassa: Bagaço de Cana-de-Açúcar e Lixo.) Série Caminhos para a Sustentabilidade*. Piracicaba: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e Centro de Tecnologia da Cana-de-Açúcar (CTC).
- Henriques, R. C. 2004. "Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica." Tese de Mestrado, Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- Hijmans, R., S. Cameron, J. Parra, P. Jones e A. Jarvis. 2005. "A Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas." ("Superfícies Climáticas Interpoladas de Muito Alta Resolução para Áreas Terrestres Globais") *Int. J. Climatol.* 25: 1965-78.
- Holdridge, L. 1967. *Life Zone Ecology. (Ecologia da Zona de Vida.)* San José, Costa Rica: Centro de Ciências Tropicais.
- Holt Campbell Payton. 2005. "Pre-feasibility Study for a 10,000 bbl/day FT GTL Plant in Central Australia." ("Estudo de Pré-viabilidade para uma Planta de FT GTL de 10.000 bbl/dia na Área Central da Austrália.") Nota Técnica preparada para a Central Petroleum Limited.
- Homma, A. K. O., R. N. B. Alves, A. J. Menezes e G. B. Matos. 2006. "Guseiras na Amazônia: Perigo para a floresta." *Ciência Hoje* 39(233): 56-9.
- Houghton, R. A., D. L. Skole, C. A. Nobre, J. L. Hackler, K. T. Lawrence e W. H. Chomentowski. 2000. "Annual Fluxes of Carbon from Deforestation and Regrowth in the Brazilian Amazon." ("Fluxos Anuais de Carbono do Desmatamento e Regeneração na Amazônia Brasileira.") *Nature* 403: 301-04.
- Hutton, W. J. e J. Holmes. 2005. "Floating Gas to Liquids: A Solution to Offshore Stranded Gas." ("GTL Flutuante: Uma Solução para o Gás Desperdiçado Offshore.") 18º Congresso Mundial de Petróleo, Johannesburgo, 25-29 de setembro.
- Hydrocarbon Processing. 2001. "Advanced Control and Information Systems." ("Sistemas Avançados de Controle e Informação.") *Hydrocarbon Processing* 9: 73-159.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1996. *Censo Agropecuário: 1995-1996*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em www.ibge.gov.br.
- . 2000. Censo. Disponível em www.ibge.gov.br.
- . 2004. *Produção da extração vegetal e da silvicultura 2003 vol. 18*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em www.ibge.gov.br.
- . 2006. "Mapa de Fertilidade de Solos do Brasil, 1:5.000.000." Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- . 2007a. *Censo Agropecuário: 2006*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em www.ibge.gov.br.
- . 2007b. "Pesquisa Agrícola Municipal 2007." Disponível em www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp.
- . 2007c. "Pesquisa Pecuária Municipal 2007." Disponível em www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ppm/default.asp.
- . 2007d. "Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2007." Disponível em www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?ti=1&tf=99999&e=v&p=VS&z=t&o=17.
- . 2008. Contagem. Disponível em www.ibge.gov.br.
- IBS (Instituto Brasileiro de Siderurgia). 2008. "Estatística da siderurgia." Disponível em www.ibs.org.br.
- IEDI (Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial) 2008. *A política de desenvolvimento produtivo*. São Paulo: Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial.
- IIRSA (Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana). 2004. "Guiana Shield Hub Groups." ("Grupos do Eixo do Escudo da Guiana.") Disponível em www.iirsa.org/BancoMedios/Documentos%20PDF/mer_bogota04_presentacion_eje_del_escudo_guayanes.pdf.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial). 2008. "Projeto PRODES: Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite." Disponível em www.obt.inpe.br/prodes.
- . 2009a. "Projeto DEGRAD: Mapeamento da degradação florestal na Amazônia." Disponível em www.obt.inpe.br/prodes/.
- . 2009b. "Relatório de Gestão." São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Disponível em www.inpe.br/dspace/bitstream/123456789/896/11/RG2008.pdf.
- INT (Instituto Nacional de Tecnologia). 2005a. *Panorama do setor de cerâmica no Brasil*. Relatório Final, Projeto Petrobras. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia.

- . 2005b. *Relatório final da implantação de unidades de demonstração do uso eficiente de energia na região nordeste: Caso da cerâmica vermelha no Estado do Piauí e do gesso no Estado de Pernambuco*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, Agência Alemã de Cooperação Técnica (GTZ) e Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE).
- . 2007. *Relatório de levantamento de dados sobre o setor industrial*. Projeto Mapeamento Tecnológico do Uso do Gás Natural no Setor Industrial/Redegasenergia - Petrobras. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia.
- International Journal on Hydropower & Dams. 2008. "World Atlas & Industry Guide." ("Atlas Mundial e Guia da Indústria.") Disponível em www.hydropower-dams.com
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). 2000a. "IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories." ("Guia de Boas Práticas do IPCC e Gerenciamento de Incertezas nos Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa.") Disponível em www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/.
- . 2000b. *IPCC Special Report: Land Use, Land-Use Change and Forestry*. (Relatório Especial do IPCC: Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Silvicultura.) Disponível em www.ipcc.ch/pdf/specialreports/spm/srl-en.pdf.
- . 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. (Mudança Climática 2001: A Base Científica.) Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Terceiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque: Cambridge University Press.
- . 2003. "Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change, and Forestry." ("Guia de Boas Práticas sobre Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Silvicultura.") Disponível em www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/landuse.html.
- . 2006. "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." ("Diretrizes do IPCC para Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa.") Disponível em www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm.
- . 2007. "IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007." ("Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudança Climática 2007.") Disponível em www.ipcc.ch.
- IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica) e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE). 2000. "Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado". São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológica e Compromisso Empresarial para Reciclagem.
- Ivaunaskas, N. M., R. R. Rodrigues e A. G. Nave. 1999. "Fitossociologia de um trecho de floresta estacional semidecidual em Itatinga, SP, Brasil." *Scientia Florestalis* 56: 83-99.
- Iverson, L. R., S. Brown, A. Prasad, H. Mitsova, A. J. E. Gillespie e A. E. Lugo. 1994. *Use of GIS for Estimating Potential and Actual Forest Biomass for Continental South and Southeast Asia: Effects of Land-Use Change on Atmospheric CO₂ Concentrations*. (Emprego do GIS na Estimativa da Biomassa Florestal Potencial e Real para a Ásia Continental do Sul e do Sudeste: Efeitos da Mudança do Uso da Terra sobre as Concentrações Atmosféricas de CO₂.) Nova Iorque: Springer-Verlag.
- Jacobs Consultants, Inc. 2002. "Water Pollution Prevention Opportunities in Petroleum Refineries." ("Oportunidades para a Prevenção da Poluição da Água nas Refinarias de Petróleo.") Relatório preparado para o Departamento de Ecologia do Estado de Washington.
- Jank, M. S. 2008a. "An Overview of the Brazilian Sugarcane Industry." ("Visão Geral da Indústria da Cana-de-Açúcar do Brasil.") Apresentação durante a Assembleia Geral da Iniciativa de Melhores Práticas da Cana-de-Açúcar – *Better Sugarcane Initiative* -, São Paulo, 13 de novembro.
- . 2008b. "O despertar da bioeletricidade." August 13. São Paulo: União da Indústria da Cana-de-Açúcar de São Paulo (UNICA).
- Jannuzzi, G. 2000. *Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado: Uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil*. Campinas: Autores Associados.
- . 2003. "Uma Avaliação das Atividades Recentes de P&D em Energia Renovável no Brasil e Reflexões para o Futuro." Documento de Discussão de Energia No. 2.64-01/03. Campinas: Iniciativa Internacional de Energia (IEI).
- Johnson, M. R. 2006. *Quantifying Flare Efficiency and Emissions: Application of Research to Effective Management of Flaring*. (Quantificação da Eficiência do Flare e Emissões: Aplicação da Pesquisa para o Gerenciamento Efetivo do Flaring.) Washington, DC: Banco Mundial.
- Johnston, D. 1996. "Complexity Index Indicates Refinery Capability, Value." ("Índice de Complexidade Indica Capabilidade e Valor da Refinaria.") *Oil & Gas Journal* 94(12).
- Jones, P. G. e A. Gladkov. 2003. *FloraMap: A Computer Tool for Predicting the Distribution of Plants and Other Organisms in the Wild*. (FloraMap: Uma Ferramenta Computadorizada para a Previsão da Distribuição das Plantas e Outros Organismos no Meio Silvestre.) Versão 1.02. Cali, Colômbia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- José, F. J. A. 2009. Comunicação pessoal.
- Juvenal, Thais Linhares e René Luiz Grion Mattos. 2002. *O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento*. Rio de

- Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Disponível em www.bndes.gov.br.
- Kaiser, M. J. e J. H. Gary. 2007. "Study Updates Refinery Investment Cost Curves." ("Estudo Atualiza Curvas de Custos de Investimento em Refinarias.") *Oil & Gas Journal* 105(16).
- Katzer, J., M. Ramage e A. Sapre. 2000. "Petroleum Refining: Poised for Profound Changes." ("Refino de Petróleo: À Espera de Mudanças Profundas.") *Chemical Engineering Progress* 7: 41-51.
- Keshav, T. R. e S. Basu. 2007. "Gas-To-Liquid Technologies: India's Perspective." ("Tecnologias GTL: Perspectiva da Índia.) *Fuel Processing Technology* 88(5): 493-500.
- Kiely, G. 1997. *Environmental Engineering. (Engenharia Ambiental)* Londres: McGraw-Hill.
- Kilbane, J. J. 2006. "Microbial Biocatalyst Developments To Upgrade Fossil Fuels." ("Desenvolvimentos em Biocatalisadores Microbianos para a Melhoria de Combustíveis Fósseis.") *Current Opinion in Biotechnology* 17(3): 305-14.
- Knottenbelt, C. 2002. "Mossgas 'Gas-To-Liquid' Diesel Fuels: An Environmentally Friendly Option." ("Combustíveis de Diesel GTL da Mossgas: Uma Opção Amiga do Meio Ambiente") *Catalysis Today* 71(3-4): 437-45.
- Kremer, F. 2007. "Fornecimento de Diesel S50." Apresentação, Petrobras. Disponível em <http://apache.camara.gov.br/portal/arquivos/Camara/internet/comissoes/cme/audiencias-publicas/2007/04-12-2007-o-teor-de-enxofre-encontrado-no-combustivel-avenda-no-pais-em-especial-no-oleo-diesel/KREMER%20PETROBRAS.pdf>.
- La Rovere, E. L. (coord.). 2006. *Greenhouse Gas Mitigation in Brazil: Scenarios and Opportunities through 2025. (Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil: Cenários e Oportunidades até 2025.)* Rio de Janeiro: Centro de Políticas de Ar Limpo e CentroClima.
- Laurance, W. F., P. M. Fearnside, S. G. Laurance, P. Delamonica, T. E. Lovejoy, J. M. R. Merona, J. Q. Chambers e C. Gascona. 1999. "Relationship between Soils and Amazon Forest Biomass: A Landscape-scale Study." ("Relação entre os Solos e a Biomassa da Floresta Amazônica: Um Estudo na Escala do Cenário.") *Forest Ecology and Management* 118: 127-138.
- Leal, Milton. 2009. "Uma Itaipu de Usinas Eólicas". Notícias ABEEólica, 23 de julho. Disponível em www.abeeolica.org.br.
- Leal, M. R. 2003. "Processos de Cogeração: Equipamentos, Custos e Potenciais." Apresentação em PowerPoint, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).
- . 2009. "Using Bagasse and Straw To Produce Ethanol and Power." ("Emprego do Bagaço e da Palha na Produção do Etanol e da Energia.") Trabalho apresentado durante o Workshop de Produção de Etanol F. O. Licht, São Paulo, 23 de março.
- Leckel, D. 2007. "Low-Pressure Hydrocracking of Coal-Derived Fischer-Tropsch Waxes to Diesel." ("Hidrocraqueamento a Baixa Pressão de Ceras Fischer-Tropsch Derivadas do Carvão para Diesel.") *Energy & Fuels* 21(3): 1425-31.
- Leckel, D. e M. Liwanga-Ehumbu. 2006. "Diesel-Selective Hydrocracking of an Iron-based Fischer-Tropsch Wax Fraction (C15-C45) Using a MoO₃- Modified Noble Metal Catalyst." ("Hidrocraqueamento Seletivo para Diesel de Uma Fração de Cera Fischer-Tropsch Baseada em ferro (C15-C45) com o Emprego de um Catalisador Modificado com MoO₃ da Noble Metal.") *Energy & Fuels* 20(6): 2330-36.
- Lee, H., J. M. Pinto, I. E. Grossman e S. Park. 1996. "Mixed-Integer Linear Programming Model for Refinery Short-term Scheduling of Crude Oil Unloading with Inventory Management." ("Modelo Linear de Programação com Inteiros Mistos para a Elaboração de Cronogramas de Curto Prazo do Descarregamento de Óleo Cru em Refinarias com Gerenciamento de Inventário.") *Industrial Engineering Chemistry Research* 35(5): 1630-41.
- Leite, A. D. 2007. *A energia do Brasil*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Leite, Nelson Barbosa. 2003. "O setor florestal no Brasil." *A Questão Florestal e o Desenvolvimento*. Seminário do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 8-9 de julho. Disponível em www.bndes.gov.br.
- Lewis, J. I. e R. H. Wiser. 2007. "Fostering a Renewable Energy Technology Industry: An International Comparison of Wind Industry Policy Support Mechanisms." ("Promovendo uma Indústria de Tecnologia de Energias Renováveis: Uma Comparação Internacional dos Mecanismos de Suporte de Políticas para a Indústria Eólica.") *Energy Policy* 35: 1844-57.
- Li, W., Y. Zhang, M. D. Wang e Y. Shi. 2005. "Biodesulfurization of Dibenzothiophene and Other Organic Sulfur Compounds by a Newly Isolated Microbacterium Strain ZD-M2." ("Biodessulfurização do Dibenzotiofeno e outros Compostos Orgânicos do Enxofre através de Uma Recém-Isolada Cepa de Microbactérias ZD-M2.") *FEMS Microbiology Letters* 247(1): 45-50.
- Li, Z. T., C. H. Xie, Z. G. Zhang e J. S. Zhang. 2002. *Olefin Production Technology with Adjustable Propylene/Ethylene Ratio by Catalytic Cracking Route*. (Tecnologia de Produção de Olefinas com Proporção Ajustável de Propileno/Etileno por Via de Craqueamento Catalítico.) Pequim: SINOPEC - Instituto de Pesquisa de Processamento do Petróleo.
- Liats, K. 2006. "A New Way To Develop Mineral Deposits." ("Uma Nova Maneira de Desenvolver Depósitos Minerais.") Fórum Global da GT Little, Redução do Flaring e Utilização do Gás. Disponível em <http://worldbank.org/html/fpd/ggfrforum06/belguedj/liats.ppt>.

- Linnhoff, B. 1994. "Pinch Analysis To Knock Down Capital Costs and Emissions." ("Análise Pinch para Redução dos Custos de Capital e Emissões.") *Chemical Engineering Progress* 90: 33-57.
- Linnhoff, B., D. W. Townsend, D. Boland, G. F. Hewitt, B. E. A. Thomas, A. R. Guy e R. H. Marsland. 1992. *A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. (Manual do Usuário sobre Integração do Processo para o Uso Eficiente da Energia.)* Rugby, Reino Unido: Institution of Chemical Engineers.
- Linquist, L. e M. Pacheco. 1999. "Enzyme-based Desulfurization Process Offers Energy, CO₂ Advantages." ("Processo de Dessulfurização Baseado em Enzimas Oferece Energia e Vantagens no CO₂.") *Oil & Gas Journal* 97: 45-8.
- Liu, S., B. Wang, B. Cui e L. Sun. 2008. "Deep Desulfurization of Diesel Oil Oxidized by Fe (VI) Systems." ("Dessulfurização Profunda do Óleo Diesel Oxidado por Sistemas Fe (VI).") *Fuel* 87(3): 422-8.
- Lora, E. E. S. 2002. *Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte*, 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência.
- Lü, H., J. Gao, Z. Jiang, F. Jing, Y. Yang, G. Wang e C. Li. 2006. "Ultra-deep Desulfurization of Diesel by Selective Oxidation with [C18H37N(CH3)3]4[H2NaPW10036] Catalyst Assembled in Emulsion Droplets." ("Dessulfurização Ultraprofunda do Diesel por Oxidação Seletiva com Catalisador [C18H37N(CH3)3]4[H2NaPW10036] Montado em Gotículas de Emulsão.") *Journal of Catalysis* 239(2): 369-75.
- Lucena, A. F. P., R. Schaeffer, A. S. Szklo, R. R. Souza, B. S. M. C. Borba, I. V. L. Costa, A. O. Pereira, Jr. e S. H. F. Cunha. 2009. "The Vulnerability of Renewable Energy to Climate Change in Brazil." ("Vulnerabilidade da Energia Renovável à Mudança Climática no Brasil.") *Energy Policy* (37): 879-89.
- Ma, C. Q., J. H. Feng, Y. Y. Zeng, X. F. Cai, B. P. Sun e Z. B. Zhang. 2006. "Methods for the Preparation of a Biodesulfurization Biocatalyst Using *Rhodococcus* sp." ("Métodos para Preparo de um Biocatalisador de Biodessulfurização sp.") *Chemosphere* 65(1): 165-9.
- Macedo, I. C. 2007. *A energia da cana-de-açúcar*. São Paulo: União da Agroindústria Canavieira (UNICA).
- Macedo, I. C., M. R. L. V. Leal e J. E. A. R. da Silva. 2004. "Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil." Relatório apresentado à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, abril.
- Macedo, I. C., J. E. A. Seabra e J. E. A. R. da Silva. 2008. "Green house Gases Emissions in the Production and Use of Ethanol from Sugarcane in Brazil: The 2005/2006 Averages and the Prediction for 2020." ("Emissões de Gases do Efeito Estufa na Produção e no Uso do Etanol da Cana-de-Açúcar no Brasil: Médias de 2005/2006 e Previsões para 2020.") *Biomass and Bioenergy* 32(7): 582-95.
- Machado, R. B., M. B. Ramos Neto, P. G. P. Pereira, E. F. Caldas, D. A. Gonçalves, N. S. Santos, K. Tabor e M. Steininger. 2004. *Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro*. Relatório Técnico. Brasília: Conservation International.
- Magrini, A. E. M. A. Santos. 2001. "Política e gestão ambiental: Conceitos e instrumentos." *Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas*. Rio de Janeiro: Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia e Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Malhi, Y. J., J. T. Roberts, R. A. Betts, T. J. Killeen, W. Li e C. A. Nobre. 2008. "Climate Change Deforestation and the Fate of the Amazon." ("Desmatamento, Mudança Climática e o Destino da Amazônia.") *Science* 319(5860): 169-72.
- Manne, A. 1958. "A Linear Programming Model of The U.S. Petroleum Refining Industry." ("Um Modelo Linear de Programação da Indústria de Refino de Petróleo dos EUA.") *Econometrica* 26(1): 67-106.
- Marano, J. J. e J. P. Ciferno. 2001. "Life-Cycle Greenhouse-gas Emissions Inventory for Fischer-Tropsch Fuels." ("Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa no Ciclo de Vida para a Fischer-Tropsch Fuels.") Preparado pela Energy and Environmental Solutions, Departamento de Energia dos EUA, National Energy Technology Laboratory. Disponível em www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/pubs/pdf/GHGfinalADOBE.pdf.
- March, L. 1998. *Introduction To Pinch Technology*. (Introdução à Tecnologia Pinch.) Northwich, Reino Unido: Targeting House, Gadbrook Park.
- Marengo, J. A., C. A. Nobre, J. Tomasella, M. D. Oyama, G. S. de Oliveira, R. de Oliveira, H. Camargo e L. M. Alves. 2008. "The Drought of Amazonia in 2005." ("A Seca da Amazônia em 2005.") *J. Clim.* 21: 495-516.
- Margulis, S. 2003. *Causas do desmatamento na Amazônia brasileira*. 1ª ed. Brasília: Banco Mundial.
- Mariano, J. 2005. *Impactos ambientais do refino de petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Martin, N., E. Worrel, M. Ruth, L. Price, R. N. Elliot, A. M. Shipley e J. Thorne. 2000. *Emerging Energy-efficient Industrial Technologies. (Tecnologias Industriais Emergentes Eficientes Quanto à Energia.)* Berkeley, CA: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL 46990.
- Martins, O. S. 2004. "Determinação do Potencial de Sequestro de Carbono na Recuperação de Matas Ciliares na Região de São Carlos, SP." Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos.

- Masera, O. R. 2003. "Modeling Carbon Sequestration in Afforestation, Agroforestry and Forest Management Projects: The CO2FIX V.2 Approach." ("Modelagem do Sequestro de Carbono em Projetos de Aflorestamento, Agrosilvicultura e Manejo de Florestas: A Abordagem CO2FIX V.2.") *Ecological Modelling* 164: 177–99.
- McKinsey & Company. 2009. *Pathways to a Low-carbon Economy for Brazil*. (Caminhos para Uma Economia de Baixo Carbono para o Brasil.) Disponível em www.mckinsey.com.
- MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia). 2004a. *Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção do Clima*. Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia.
- . 2004b. *Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de GEE: Emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas*. Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia.
- . 2008. "Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)." Disponível em www.mct.gov.br/index.php/content/view/75293.html.
- . 2009a. "Fatores de Emissão de CO₂ pela Geração de Energia Elétrica." Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia. Disponível em www.mct.gov.br.
- . 2009b. *Mudanças climáticas*. Disponível em www.mct.gov.br/index.php/content/view/30318.html.
- Melo, C. A. 2009. "Metodologia de Avaliação de Impactos de Padrões de Eficiência Energética." Tese de Doutorado (em andamento). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- Metaprocess. 2008. "Products and Services." ("Produtos e Serviços.") Disponível em www.metaprocess.ru/eng/products/products.html
- Metz, B., O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos e L. Meyer (eds.). 2007. *Carbon Dioxide Capture and Storage: IPCC Special Report*. (Captura e Armazenamento do Dióxido de Carbono: Relatório Especial do IPCC.) Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), Grupo de Trabalho 3. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Meyers, R. A. 2003. *Handbook of Petroleum Refining Process*. (Manual do Processo de Refino de Petróleo.) 3ª Ed. Nova Iorque: Mac-Graw Hill.
- Mierzwa, J. C.e I. Hespagnol. 2005. *Água na indústria: Uso racional e reuso*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Ministério das Cidades. 2003. "Dimensionamento das necessidades de investimentos para universalização dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos sanitários no Brasil." In *Programa de Modernização do Setor de Saneamento: PMSS II*. Disponível em www.pmss.gov.br/pmss/PaginaCarrega.php?EWRerterterTERTer=115.
- . 2006. "Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: SNIS." Diagnóstico dos Serviços de Água, Esgotos e de Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos. SNIS Historical Series 5 (CD-Rom).
- . 2007. "Relatório de Atividades 2007 do Programa de Aceleração do Crescimento: Saneamento Básico (2007–2010)." Disponível em www.cidades.gov.br/ministerio-das-cidades/destaques/relatorio-de-atividades-do-pac-2007.
- Miranda, E. E. (coord.). 2005. *Brasil em Relevo*. Campinas: Monitoramento por Satélite da EMBRAPA.
- Miyamoto, Y., S. Shiozawa, M. Ogawa, N. Akino, S. Shimizu, K. Hada, Y. Inagaki e K. Onuki. 1998. *Overview of HTGR Heat Utilization System Development at JAERI*. (Visão Geral do Desenvolvimento do Sistema de Utilização de Calor HTGR no JAERI.) Ibaraki: Instituto de Pesquisa em Energia Atômica do Japão (JAERI). Disponível em www.iaea.org/inis/nkm/nkm/aw/htgr/fulltext/29067727.pdf.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). *Plano de metas do PNF 2004–2007*. Disponível em www.mma.gov.br.
- . 2008a. *Plano Anual para Outorga de Florestas (PAOF) 2009*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Serviço Florestal Brasileiro.
- . 2008b. *Plano Amazônia Sustentável*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- . 2008c. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO). Disponível em www.mma.gov.br/portallbio.
- MME (Ministério de Minas e Energia). 2006. *Balanco de energia útil BEU 2005*. Brasília: Ministério de Minas e Energia e Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico e de Engenharia (FDTE).
- . 2007a. *Anuário Estatístico: Setor Metalúrgico 2007*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.
- . 2007b. *Anuário Estatístico 2007: Setor de Transformação de não-metálicos*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.
- . 2008a. "Balanco Energético Brasileiro 2008, Ano de 2007." Disponível em www.mme.gov.br.
- . 2008b. *Resenha energética brasileira: Exercício 2007*. Disponível em www.mme.gov.br/publicacoes.
- . 2008c. *Sinopse 2008: Mineração e transformação mineral* (metálicos e não-metálicos). Disponível em www.mme.gov.br/publicacoes/anos/sinopse.

- . 2009a. *Programa PROINFA*. Disponível em www.mme.gov.br
- . 2009b. “Proposta para a Expansão da Geração Eólica no Brasil.” Nota Técnica PRE, 01/2009-r0. Brasília: Ministério de Minas e Energia.
- MME e EPE (Ministério de Minas e Energia e Empresa de Planejamento Energético) *Plano nacional de energia 2030*. Volume sobre Gás Natural. Rio de Janeiro: Empresa de Planejamento Energético.
- . 2007b. *Plano nacional de energia 2030*. Volume sobre Biomassa. Rio de Janeiro: Empresa de Planejamento Energético.
- Moghaddam, T. N. e V. Saint-Antonin. 2008. “Impact of Tightening the Sulfur Specifications on the Automotive Fuels’ CO₂ Contribution: A French Refinery Case Study.” (“Impacto da Aplicação de Especificações Mais Rígidas Quanto ao Enxofre sobre a Contribuição de CO₂ dos Combustíveis Automotivos: Um Estudo de Caso de Refinaria Francesa.”) *Energy Policy* 36(7): 2449–59.
- Mohebal, G., A. S. Ball, B. Rasekh e A. Kaytash. 2007. “Biodesulfurization Potential of a Newly Isolated Bacterium, *Gordonia alkanivorans* RIPI90A.” (“Potencial de Dessulfurização de Uma Bactéria Recém-Isolada, *Gordonia alkanivorans* RIPI90A.”) *Enzyme and Microbial Technology* 40(4): 578–84.
- Monticello, D. J. 1998. “Riding the Fossil Fuel Biodesulfurization Wave.” (“Pegando a Onda da Biodessulfurização de Combustíveis Fósseis.”) *Chemtech* 28: 38–45.
- Moraes, J. 2008. “Novas Perspectivas de Produção de Petróleo e Gás Natural no Brasil.” XII Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro.
- Moraes, R. J., MM. G. L. Azevedo e F. M. A. Delmanto. 2005. *As leis federais mais importantes de proteção ao meio ambiente comentadas*. Rio de Janeiro: Renovar.
- Moreira, A. M., A. P. Pellanda, C. S. C. Veloz, P. J. Butrimavicius, M. F. Porto (Petrobras), V. R. R. Ahón e A. L. H. Costa. 2008. “Estudo da integração energética de uma unidade de destilação atmosférica e a vácuo.” *Petro & Química*, Issue 306.
- Moro, L. F. L., A. C. Zanin e J. M. Pinto. 1998. “A Planning Model for Refinery Diesel Production.” (“Um Modelo de Planejamento para a Produção de Diesel em refinarias.”) *Computers & Chemical Engineering* 22 (Supplement 1): S1039–42.
- Moutinho, P., D. Nepstad, M. Santilli, G. Carvalho e Y. Batista. 2001. *As oportunidades para a Amazônia com a redução das emissões de gases do efeito estufa*. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM).
- MRE, MCT, MMA, MME e MDIT (Ministério de Relações Exteriores, Ministério de Ciência e Tecnologia, Ministério do Meio Ambiente, Ministério de Minas e Energia e Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio) 2007. *A Contribuição do Brasil para Evitar a Mudança Climática*. 2007. Brasília: Governo do Brasil.
- Muniz, J.A. 2007. “Complementaridade Hidrológica.” *Brazil Energia*, No. 314.
- Muylaert, M. S., J. Sala e M. A. V. de Freitas. 2000. *Consumo de energia e aquecimento do planeta: Análise do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) do Protocolo de Quioto*. Estudos de caso. Rio de Janeiro: Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE).
- Nakicenovic, N., A. Grübler e A. McDonald. 1998. *Global Energy Perspectives. (Perspectivas Globais de Energia.)* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Negrão, C. O. R., Márcio Madi, and R. Massoqueti. 2004. “Simulação do Desempenho de Redes de Trocadores de Calor Sujeitas à Incrustação.” Rio Oil & Gas Expo e Conferência, Rio de Janeiro.
- Negri, J. C. 2009. Comunicação pessoal, São Paulo, agosto.
- Nepstad, D., B. Soares-Filho, F. Merry, P. Moutinho, M. Bowman, S. Schwartzman, O. Almeida e S. Rivero. 2007. *The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. (Custos e Benefícios da Redução das Emissões de Carbono do Desmatamento e da Degradação de Florestas na Amazônia Brasileira.)* Vol. 1. Woods Hole, MA: Woods Hole Research Center.
- Nepstad, D., C. Stickler e O. Almeida. 2006. “Globalization of the Amazon Soy and Beef Industries: Opportunities for Conservation.” (“Globalização das Indústrias Amazônicas da Soja e da Carne Bovina: Oportunidades para Conservação.”) *Conservation Biology* 20(6): 1595–603.
- Nepstad, D. C., O. Carvalho, Jr., J. Carter, A. Moita, V. Neu e G. Cardinot. 2007. *Management and Recuperation of Riparian Zone Forests of Amazon Forest Regions. (Manejo e Recuperação de Matas Ciliares das Regiões da Floresta Amazônica.)* Livro 1. Série Melhores Práticas. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM).
- Nichols, T. 2007. “GTL with a Difference.” (“GTL com uma Diferença.”) *The Petroleum Economist*, julho. Disponível em <http://proquest.umi.com/pqdlink?did=1313098371&sid=1&Fmt=3&clientId=44012&RQT=309&VName=PQD>.
- NIPE (Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, UNICAMP). 2005. “Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando a substituição parcial de gasolina no mundo,” Parte 1. Relatório preparado para o Centro de Gerenciamento Estratégico e Estudos (CGEE), coordenado por Rogério Cezar de Cerqueira

Leite, dezembro.

- . 2007. “Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando a substituição parcial de gasolina no mundo,” Parte 2. Relatório preparado para o Centro de Gerenciamento Estratégico e Estudos (CGEE), coordenado por Rogério Cezar de Cerqueira Leite, março.
- NIPE e CGEE (Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético e Centro de Gerenciamento Estratégico e Estudos). 2005. “Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando a substituição parcial de gasolina no mundo.” Relatório Final, dezembro.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory – Laboratório Nacional de Energia Renovável). 2002. “Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acis Prehydrolysis and Ezymatic Hydrolysis for Corn Stover.” (“Biomassa Lignocelulósica para o Desenho e a Economia do Processo do Etanol com o Emprego da Prehidrólise de Ácido Diluído Co-corrente da Palha de Milho”) Relatório do NREL Nº TP-510-32438. Disponível em www.nrel.gov.
- Nobre, C. A., P. J. Sellers e J. Shukla. 1991. “Amazonian Deforestation and Regional Climate Change.” (“Desmatamento da Amazônia e Mudança Climática Regional.”) *J. Climate* 4: 957–88.
- Nobre, C. A. 2001. “Amazônia: Fonte ou sumidouro de carbono?.” *Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- North American Manufacturing Company. 1978. *North American Combustion Handbook (Manual de Combustão da North American.)*. Cleveland, OH: North American Manufacturing Company.
- Oil Gas J. 1984. “Pinch Concept Helps To Evaluate Heat-recovery Networks for Improved Petrochem Operation.” (“O Conceito Pinch Auxilia na Avaliação de Redes de Recuperação de Calor para Melhorar as Operações Petroquímicas.”) *Oil Gas J.* 82(22): 113–18.
- Olim, J., J. Haddad, A. N. C. Viana e A. R. S. Martins. 2003. “Conservação de energia em refinarias de petróleo.” Segundo Congresso Brasileiro Anual de P&D em Petróleo e Gás, Rio de Janeiro.
- Oliveira, A., J. Cassiolato e L. Martins. 1994. *Indicadores e usos de energia elétrica nos setores energo-intensivos*. Relatório Executivo. Rio de Janeiro: Instituto de Economia Industrial, UFRJ.
- Oliveira, L. B. 2000. “Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos e Abatimento de Emissões de Gases do Efeito Estufa.” Tese de Mestrado, Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- Oliveira, J. C. D. 2007. “Estudo Experimental da Regeneração Térmica de Areia de Macharia em Leito Fluidizado.” Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- Olivério, J. L. 2007. “As Usinas de Açúcar e Álcool: Estado da Arte da Tecnologia Industrial.” Trabalho apresentado durante o Congresso Internacional de Bioenergia e Biocombustíveis, Teresina, PI, Brasil, 13 de julho.
- . 2009. “Dedini Sustainable Mill.” (“Usina Sustentável de Dedini.”) Conferência Biopower Generation Américas, São Paulo, 23 de abril.
- Olsvik, O. 2005. “Offshore Gas Solutions.” (“Soluções Offshore de Gás.”) Seminário OG21 & Demo 2000, Oslo.
- Ondrey, G. 2007. “A New GTL Process Takes a Step Closer to Commercialization.” (“Um Novo Processo de GTL Dá um Passo à Frente para a Comercialização.”) *Chemical Engineering Journal* 114(13):1.
- ONS (Operador Nacional do Sistema). 2007. “Operação do Sistema Interligado Nacional.” Disponível em www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/dados_relevantes_2007.pdf.
- OTA (U.S. Office of Technology Assessment – Escritório de Avaliação Tecnológica dos EUA). 1993. *Industrial Energy Efficiency. (Eficiência Energética Industrial.)* Office of Technology Assessment. Washington, DC.: U.S. Government Printing Office.
- Pacala, S. e R. Socolow. 2004. “Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next Fifty Years with Current Technologies.” (“Cunhas de Estabilização: Solucionando o Problema do Clima durante os Próximos Cinquenta Anos com as Tecnologias Atuais.”) *Science* 305 (5686): 968–72.
- Pacheco, C. 2007. “Avaliação de Critérios de Distribuição e de Utilização de Recursos das Participações Governamentais no Brasil.” Tese de Mestrado, PPE/ Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- Pagot, P. R., E. W. Grandmaison e A. Sobiesiak. 2004. *Some Characteristics of Multi-jet Flares. (Algumas Características dos Flares Multi-jet.)* Kingston, Canadá: Queen’s University, Departamento de Engenharia Química.
- Panchal, C. e E. Huangfu. 2000. “Effects of Mitigation Fouling on the Energy Efficiency of Crude-Oil Distillation.” (“Efeitos da Mitigação da Incrustação sobre a Eficiência Energética da Distilação de Óleo Cru.”) *Heat Transfer Engineering* 3: 21.
- Patel, B. 2005. “Gas Monetisation: A Techno-economic Comparison of Gas-To-Liquid and LNG.” (“Monetização do Gás: Uma

- Comparação Técnico-Econômica entre GTL e LNG.” 7º Congresso Mundial de Engenharia Química, Glasgow, julho.
- Pena, M. A., J. P. Gómez e J. L. G. Fierro. 1996. “New Catalytic Routes for Syngas and Hydrogen Production.” (“Novas Vias Catalíticas para o Syngas e a Produção de Hidrogênio.”) *Applied Catalysis A: General* 144(1-2): 7-57.
- Peninger, R., J. Demeter, A. Judzis, E. Schwarz e K. Rock. 2001. “Start-up PF First CDHDS® Unit at Motiva’s Port Arthur.” (“Start-up de Unidade PF First CDHDS® em Port Arthur da Motiva.”) Texas Refinery. Encontro Anual da Associação Nacional do Setor Petroquímico e de Refino (NPRA), New Orleans, 18-20 de março.
- Pennig, R. 2001. “Petroleum Refining: A Look at the Future.” (“Refino de Petróleo: Um Olhar para o Futuro.”) *Hydrocarbon Processing* 2: 45-6.
- Pereira, J. M. 2004. “Política industrial e tecnológica e desenvolvimento.” *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, nº 28, julho. Disponível em www.eumed.net/cursecon/ecolat.
- Pertusier, R. R. 2008. Fundamentos do mercado de petróleo: como analisar o comportamento dos preços. Rio de Janeiro: Internacional Corporativo, Estratégia & Planejamento, Petrobras.
- Petrack, M. E. J. Pellegrino. 1999. “The Potential for Reducing Energy Utilization in the Refining Industry.” (“Potencial de Redução do Uso da Energia na Indústria de Refino.”) Disponível em www.osti.gov/bridge/servlets/purl/750806-VE09Ej/native.
- Petro&Química. 2008. “A expansão do Parque Nacional.” *Revista Petro&Química* (306). Disponível em www.editoravalete.com.br/site_petroquimica/edicoes/ed_306/306.html.
- Petrobras. 2003. *Gestão de emissões atmosféricas: relatório de desempenho*. Rio de Janeiro: Petrobras. Disponível em www2.petrobras.com.br/meio_ambiente/portugues/pdf/131205VersaoFinalPetrobrasInternet.pdf.
- . 2007. “Plano de Otimização do Aproveitamento de Gás.” Disponível em www2.petrobras.com.br/Petrobras/portugues/pdf/gas.pdf.
- . 2008a. “Pelo Ar Mais Puro.” *Revista Petrobras* 139.
- . 2008b. “Relações com o Investidor, Abastecimento, Refinarias.” Disponível em www2.petrobras.com.br/portal/frame_ri.asp?pagina=/ri/port/index.asp&lang=pt&area=ri.
- Petroleum Africa Magazine. 2004. “Syntroleum and Sovereign Oil & Gas Sign Upstream Joint Development Agreement To Access Stranded Natural Gas Fields: Focus on Gas to Supply Multiple GTL Barge Plants.” (“Acordo Conjunto de Desenvolvimento Syntroleum e Sovereign Oil & Gas Sign Upstream para Acesso a Campos de Gás Natural Desperdiçado: Foco no Gás para Abastecimento de Várias Plantas de GTL em Barcaças.”) Disponível em www.petroleumafrika.com/read_article.php?NID=659.
- Phillips, G. 2002. “CO₂ Management in Refineries.” (“Gerenciamento de CO₂ em Refinarias.”) Artigo Técnico, Gasification V, Noordwijk, Países Baixos.
- Phillips et alii, 2009: “Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest”, *Science*
- Piccini, M. S. 1994. “Conservação de energia na indústria.” *Revista do BNDES* vol. 1, nº 1 (junho).
- Pierru, A. 2007. “Allocating the CO₂ Emissions of an Oil Refinery with Aumann-Shapley Prices.” (“Alocação de Emissões de CO₂ de Uma Refinaria de Petróleo com Preços de Aumann-Shapley.”) *Energy Economics* 29(3): 563-77.
- Pimenta, R. e A. Pinho. 2004. “Maximização de Olefinas Leves em Unidades de Craqueamento Catalítico Fluido.” Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro.
- Pinheiro, A. C., F. Giambiagi e M. M. Moreira. 2001. *O Brasil na década de 90: Uma transição bem-sucedida?* Documento para discussão. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).
- Pinheiro, M. A. B. 2007. “Problemas sociais e institucionais na implantação de hidrelétricas: Seleção de casos recentes no Brasil e casos relevantes em outros países.” Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- Pinho, A. R. “Avanços do FCC Petroquímico.” 2005. 6º Encontro Sul-Americano de Craqueamento Catalítico, Gramado.
- Pinto, J. M., M. Joly e L. F. L. Moro. 2000. “Planning and Scheduling Models for Refinery Operations.” (“Planejamento e Cronograma de Modelos para Operações de Refinarias.”) *Computers & Chemical Engineering* 24(9-10): 2259-76.
- Projeto Plantar. 2006. “Programa Nacional de Biocombustível Sólido Renovável.” Apresentação em Power Point, Fórum Mineiro de Mudanças Climáticas.
- Prates, C. P., E. C. Pierobon, R. C. da Costa, and V. S. de Figueiredo. 2006. *Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil*. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).
- Presidência da República. 1965. Lei Nº 4.771, de 15 de setembro. Disponível em www.planalto.gov.br.
- . 1966. Lei Nº 5.106, de 2 de setembro. Disponível em www.planalto.gov.br.
- . 1989. Decreto Nº 97.628, de 10 de abril. Disponível em www.planalto.gov.br.

- . 2008a. “Medida Provisória N° 450,” 9 de dezembro. Disponível em www.planalto.gov.br/CCIVIL/_Ato2007-2010/2008/Mpv/450.htm.
- . 2008b. Decreto n° 6.527, 1° de agosto. Disponível em www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6527.htm.
- PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). 2007a. *Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil*. Relatório Básico. Brasília: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.
- . 2007b. *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso—Ano Base 2005: Classe Residencial*. Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil. Rio de Janeiro: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica e Eletrobrás.
- . 2008. *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso—Ano Base 2005: Classe Industrial Alta Tensão*. Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil. Rio de Janeiro: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica e Eletrobrás.
- Projeto Plantar. 2006. “Programa Nacional de Biocombustível Sólido Renovável.” Apresentação em Power Point, Fórum Mineiro de Mudanças Climáticas.
- PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico). 2003. *Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás*. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisas em Saneamento Básico.
- Ramos da Silva, R., D. Werth e R. Avissar. 2008. “Regional Impacts of Future Land-cover Changes on the Amazon Basin Wet Season Climate.” (“Impactos regionais de Futuras Mudanças na Cobertura da Terra no Clima de Estação úmida na Bacia Amazônica.”) *J. Clim.* 21(6): 1153–70.
- REA (Revista Energia Alternativa). 2008. “Eficiência energética: O que faz o Brasil?” *Revista Energia Alternativa* 2: 12–15.
- Reedy, G., E. Schwarz e D. Dolan. 2002. “Chevron Texaco CDHydro ®/CDHDS®Startup.” European Refining Technology Conference – Conferência Europeia de Tecnologia de Refino (ERTC), Paris, 18-20 de novembro.
- Ren, T., M. K. Patel e K. Blok. 2008. “Steam Cracking and Methane to Olefins: Energy Use, CO₂ Emissions and Production Costs.” (“Craqueamento de Vapor e Metano para Olefinas: Uso de Energia, Emissões de CO₂ e Custos de Produção.”) *Energy* 33(5): 817–33.
- Renault-Nissan. 2008. “Regulation 2008 Memento.” Divisão de Projetos e Requisitos (Renault) e Departamento de Engenharia Ambiental e de Segurança (Nissan), janeiro.
- RETSscreen International. 2009. RETScreen International. Software de Análise do Projeto de Energia Limpa. Disponível em www.retscreen.net.
- Rice, S. F. e D. P. Mann. 2007. *Autothermal Reforming of Natural Gas to Synthesis Gas*. (Reformação Autotérmica de Gás Natural para Gás de Síntese.) Referência: KBR Paper #2031, Sandia National Laboratories Report (Apêndice A), abril.
- Riches, P. 2007. “CompactGTL: A Tailored and Revolutionary Solution to Associated Gas Problems in Oilfield Development.” (“CompactGTL: Uma Solução Personalizada e Revolucionária para Problemas de Gás Associado no Desenvolvimento de Campos de Petróleo.”) GTLtec Conference, Catar, 22 de janeiro.
- Ruiz, B. J., V. Rodríguez e C. Bermann. 2007. “Analysis and Perspectives of the Government Programs to Promote the Renewable Electricity Generation in Brazil.” (“Análise e Perspectivas dos Programas de Governo para Promoção da Geração de Eletricidade Renovável no Brasil.”) *Energy Policy* 35: 2989–94.
- Robertson, E. P. 1999. *Options for Gas-To-Liquids Technology in Alaska*. (Opções para a Tecnologia GTL no Alaska.) Idaho Falls: National Engineering and Environmental Laboratory, Bechtel BWXT Idaho, LLC.
- Rodrigues, H. O., B. S. Soares-Filho e W. L. de Souza Costa. 2007. “Dinamica EGO: Uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais.” *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE).
- Rodrigues, J. E. R. 2005. *Sistema Nacional de Unidades de Conservação*. São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais.
- Rojey, A. 2006. “Gas Commercialization Technologies.” (“Tecnologias para a Comercialização do Gás.”) Fórum Global: Redução de Flaring e Utilização de Gás, Paris. Disponível em <http://worldbank.org/html/fpd/ggfrforum06/>.
- Roland-Holst, David e F. Kahrl. 2009. *Energy Pathways for the California Economy.(Caminhos da Energia para a Economia da Califórnia.)* Trabalho de Pesquisa N° 0903241. Berkeley: Departamento de Economia Agrícola e de Recursos, Universidade da Califórnia, Berkeley.
- Rosas, R. 2008. “GNL pode ser alternativa para escoar produção de novo campo encontrado pela Petrobras.” Valor Econômico, 22 de janeiro. Disponível em www.valoronline.com.br/valoronline/Geral/empresas/111/GNL+pode+ser+alternativa+para+escoar+producao+de+novo+campo+encontrado+pela+Petrobras,,111,4743514.html.
- Rostrup-Nielsen, T. 2005. “Manufacture of Hydrogen.” (“Fabricação do Hidrogênio”) *Catalysis Today* 106(1–4): 293–6.
- Saatchi, S. S., R. A. Houghton, R. C. Dos Santos Alvalá, J. V. Soares e Y. Yu. 2007. “Distribution of Aboveground Live Biomass in the Amazon Basin.” (“Distribuição da Biomassa Viva Acima do Solo na Bacia Amazônica”) *Global Change Biology* 13(4):

- Saint-Antonin, V. 1998. "Modélisation de L'offre de Produits Pétroliers en Europe." ("Modelização da Oferta de Produtos Petrolíferos na Europa") Tese de Doutorado, Université de Bourgogne-Ecole Nationale Supérieure de Physique de Marseille (ENSPM).
- Sampanthar, J. T., X. Huang, J. Dou, Y. N. Teo, R. Xu e P. K. Wong. 2006. "A Novel Oxidative Desulfurization Process To Remove Refractory Sulfur Compounds from Diesel Fuel." ("Um Novo Processo de Dessulfurização Oxidativa para Remoção dos Compostos Refratários de Enxofre do Combustível de Diesel.") *Applied Catalysis B: Environmental* 63(1-2): 85-93.
- Sampaio, G., C. Nobre, M. Costa, P. Satyamurty, B. S. Soares-Filho e M. Cardoso. 2007. "Regional Climate Change over Eastern Amazonia Caused by Pasture and Soybean Cropland Expansion." ("Mudança Climática Regional sobre a Amazônia Oriental Causada pela Expansão de Terras de Pastagem e de Cultivo de Soja.") *Geophysical Research Letters* 34(17): L17709.
- Sampaio, R. e P. C. Pinheiro. 2008. "Carvão vegetal: Aspectos sociais e econômicos." Apresentação em Power Point, Primeiro Seminário sobre Energia de Madeira, Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), Rio de Janeiro.
- Sanchez, P. A. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics. (Propriedades e Manejo de Solos nos Trópicos.)* Nova Iorque: John Wiley & Sons.
- São Paulo (estado). 1998. *A cidade e o Lixo*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
- SBS (Sociedade Brasileira de Silvicultura). 2008. *Fatos e números do Brasil florestal*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura.
- Schaeffer, R., and A. Szklo. 2007. *Matriz Energética do Estado de Minas Gerais 2030*. Programa de Planejamento Energético. Rio de Janeiro: Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- Schor, A. 2006. "Water Supply Risks and Alternatives in an Oil Refinery." ("Riscos e Alternativas para a Oferta de Água em uma Refinaria de Petróleo.") Estudo de caso da Refinaria Duque de Caxias. Tese de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em www.coc.ufrj.br/teses/mestrado/inter/2006/Teses/SCHOR_AR_06_t_m_rhs.pdf.
- Schultz, M. A., D. G. Stewart, J. M. Harris, S. P. Rosenblum. 2002. "Reduce Costs with Dividing-wall Columns." ("Redução de Custos com Colunas Dividing-Wall.") *Chemical Engineering Progress* 5: 64-71.
- Senado Federal. 2001. "Diário do Senado Federal," quinta feira, 15167, 2 de agosto.
- Seris, E. L. C., G. Abramowitz, A. M. Johnston e B. S. Haynes. 2008. "Scaleable, Microstructured Plant for Steam Reforming of Methane." ("Planta Expansível, Microestruturada para Reformação de Vapor do Metano.") *Chemical Engineering Journal* 135(Supplement 1): S9-16.
- Shah, N. 1996. "Mathematical Programming Techniques for Crude Oil Scheduling." ("Técnicas de Programação Matemática para Programação de Óleo Cru.") *Computers & Chemical engineering* 20 (Supplement): S1227-32.
- Shan, G., H. Zhang, J. Xing, G. Chen, W. Li e H. Liu. 2006. "Biodesulfurization of Hydrodesulfurized Diesel Oil with Pseudomonas Delafieldii R-8 from High Density Culture." ("Biodessulfurização de Óleo Diesel Hidrodessulfurizado com Pseudomonas Delafieldii R-8 de Cultura de Alta Densidade.") *Biochemical Engineering Journal* 27(3): 305-9.
- Sheehan, J., V. Camobreco, J. Duffield, M. Grabosky e H. Shapouri. 1998. *Life Cycle Inventory and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. (Inventário de Ciclo de Vida e Diesel de Petróleo para Emprego em Ônibus Urbano.)* Relatório Final. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Shell. 2006. "Reducing Our Own Emissions." ("Reduzindo as Nossas Próprias Emissões.") Disponível em www.shell.com/home/Framework?siteId=royalen&FC2=/royalen/html/iwgen/environment_and_society/key_issues_and_topics/issues/climate_change/zzz_lhn.html&FC3=/royalen/html/iwgen/environment_and_society/key_issues_and_topics/issues/climate_change/reducing_our_own_emissions.html.
- Sie, S. T. e R. Krishna. 1999. "Fundamentals and Selection of Advanced Fischer-Tropsch Reactors." ("Fundamentos e Seleção de Reatores Fischer-Tropsch Avançados.") *Applied Catalysis A: General* 186(1-2): 55-70.
- Sigaud, B. 2008. "Novel Approaches to Improve Energy Efficiency at Refineries." ("Novas Abordagens para o Aprimoramento da Eficiência Energética em Refinarias.") 19º Congresso Mundial do Petróleo (WPC), Bloco 2, BP 6, Madri.
- Silvestrin, C. R. 2008. "A Bioeletricidade na Expansão da Oferta de Energia Elétrica." Apresentação durante o Fórum APINE-CanalEnergia: Abastecimento Elétrico 2008-2009, fevereiro.
- SNIC (Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento). 2006. Anuário do Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento 2006. Rio de Janeiro: Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento. Disponível em www.snic.org.br.
- . 2007. *Press Kit 2007*. Rio de Janeiro: Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento. Disponível em www.snic.org.br.
- Soares, J. B. 2004. "Formação do Mercado de Gás Natural no Brasil: Impacto de Incentivos Econômicos na Substituição

- Interenergéticos e na Cogeração em Regime Topping.” Tese de Doutorado. Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- Soares, J. J., D. W. Silva e M. I. S. Lima. 2003. “Current State and Projection of the Probable Original Vegetation of the São Carlos Region of São Paulo State, Brazil.” (“Estado Atual e Projeção da Vegetação Original Provável da Região de São Carlos do Estado de São Paulo, Brasil.”) *Brazilian Journal of Biology* 63(3): 527–36.
- Soares-Filho, B. S., D. Nepstad, L. Curran, G. Cerqueira, R. Garcia, C. Ramos, E. Voll, A. McDonald, P. Lefebvre, P. Schlesinger e D. McGrath. 2005. “Cenários de desmatamento para a Amazônia.” *Estudos Avançados* 19(54): 137–52.
- Soares-Filho, B. S., L. Dietzsch, P. Moutinho, A. Falieri, H. Rodrigues, E. Pinto, C. C. Maretti, K. Suassuna, A. Anderson, C. A. Scaramuzza, F. Vasconcelos de Araújo. 2008. “Reduction of Carbon Emissions Associated with Deforestation in Brazil: The Role of the Amazon Region Protected Areas Program (ARPA).” (“Redução das Emissões de Carbono Associadas ao Desmatamento no Brasil: O Papel do Programa de Áreas Protegidas da Região Amazônica.”) Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). Disponível em www.climaedesmatamento.org.br.
- Soares-Filho, B. S., R. A. Garcia, H. Rodrigues, S. Moro e D. Nepstad. 2008. “Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado.” In *Amazônia: Natureza e Sociedade em Transformação*, eds. M. Batistela, D. Alves e E. Moran. São Paulo: Edusp.
- Soares-Filho, B. S., H. O. Rodrigues, W. L. S. Costa, A. Falieri Suarez e R. A. Silvestrini. 2009. “Projeto Dinâmica EGO.” Disponível em www.csr.ufmg.br/dinamica.
- Song, C. 2003. “An Overview of New Approaches to Deep Desulfurization for Ultra-clean Gasoline, Diesel Fuel and Jet Fuel.” (“Visão Geral de Novas Abordagens à Dessulfurização Profunda para Gasolina Ultra Limpa, Combustível a Diesel e Combustível de Aviação.”) *Catalysis Today* 86(1–4): 211–63.
- Song, X. e Z. Guo. 2006. “Technologies for Direct Production of Flexible H₂/CO.” (“Tecnologias para a Produção Direta de H₂/CO Flexível.”) *Synthesis Gas*. (“Gás de Síntese”) *Energy Conversion and Management* 47(5): 560–9.
- SOSMA (Fundação SOS Mata Atlântica). 2005. *Atlas de Remanescentes*. Disponível em www.sosma.org.br.
- Sousa, E. L. 2008. “A importância do etanol e da cogeração na atual matriz energética brasileira.” Apresentação durante reunião do Tribunal de Contas da União (TCU), Brasília, 12 de novembro.
- Sousa-Aguiar, E. F., L. G. Appel e C. Mota. 2005. “Natural Gas Chemical Transformations: The Path to Refining in the Future.” (“Transformações Químicas do Gás Natural: O Caminho do Refino no Futuro.”) *Catalysis Today* 101(1): 3–7.
- Souza, Z. J. 2009. “A Importância da Bioeletricidade para a Indústria da Cana-de-Açúcar.” Apresentação na Cúpula do Etanol, 18 de junho.
- Stacey, A. e J. V. Sharp. 2007. “Safety Factor Requirements for the Offshore Industry.” (“Requisitos de Fator de Segurança para a Indústria Offshore.”) *Engineering Failure Analysis* 14(3): 442–58.
- Stelmachowski, M. e L. Nowicki. 2003. “Fuel from the Synthesis Gas: The role of Process Engineering.” (“Combustível do Gás de Síntese: O Papel da Engenharia de Processo.”) *Applied Energy* 74(1–2): 85–93.
- Stern, Nicholas. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review. (A Economia da Mudança Climática: A Análise Stern.)* Cambridge: Cambridge University Press.
- . 2009. *The Global Deal: Climate Change and the Creation of a New Era of Progress and Prosperity. (O Acordo Global: Mudança Climática e a Criação de uma Nova Era de Progresso e Prosperidade.)* Nova Iorque: Public Affairs Books.
- Stiegel, G. J. e R. C. Maxwell. 2001. “Gasification Technologies: The Path to Clean, Affordable Energy in the 21st Century.” (“Tecnologias de Gaseificação: O Caminho para Energia Limpa e Acessível no Século XXI.”) *Fuel Processing Technology* 71(1–3): 79–97.
- Suzigan, W. e J. Furtado. 2006. “Política industrial e desenvolvimento.” *Revista de Economia Política* 26(2): 169–79.
- Symonds, G. 1995. *Linear Programming: The Solution of Refinery Problems.* (Programação Linear: A Solução para os Problemas das Refinarias.) Nova Iorque: Esso Standard Oil Company.
- Syntroleum. 2006. “Syntroleum Analyst Day.” Disponível em www.syntroleum.com/Presentations/Analyst-Day-June-2006-Final.pdf.
- Szklo, A. S. 2005. *Fundamentos do refino de petróleo.* Rio de Janeiro: Editora Interciência.
- Szklo, A. S., J. B. Soares e M. T. Tolmasquim. 2004. “Economic Potential of Natural Gas-fired Cogeneration: Analysis of Brazil’s Chemical Industry.” (“Potencial Econômico da Cogeração com Queima de Gás Natural: Análise da Indústria Química Brasileira.”) *Energy Policy* 32(12): 1415–28.
- Szklo, A. e R. Schaeffer. 2006. “Alternative Energy Sources or Integrated Alternative Energy Systems?: Oil as a Modern Lance of Peleus for the Energy Transition.” (“Fontes Alternativas de Energia ou Sistemas Alternativos Integrados de Energia? O Petróleo como a Moderna Lança de Peleu para a Transição Energética.”) *Energy* 31(14): 2513–22.

- . 2007. “Fuel Specification, Energy Consumption and CO₂ Emission in Oil Refineries.” (“Especificações de Combustível, Consumo de Energia e Emissão de CO₂ em Refinarias de Petróleo.”) *Energy* 32(7): 1075–92.
- Szklo, A., D. Castelo Branco e G. Gomes. 2007. “Desafios e Oportunidades Tecnológicas para o Refino de Petróleo: o Caso de uma Refinaria no Brasil.” 4º PDPetro, Campinas. Disponível em www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_7_2_0157-1.pdf.
- Szklo, A. S., J. T. G. Carneiro e G. Machado. 2008. “Break-even Price for Upstream Activities in Brazil: Evaluation of the Opportunity Cost of Oil Production Delay in a Non-mature Sedimentary Production Region.” (“Preço de Equilíbrio para Atividades A Jusante no Brasil: Avaliação do Custo de Oportunidade do Atraso na Produção de Petróleo em Uma Região Sedimentar Não Madura de Produção.”) *Energy* 33(4): 589–600.
- Szklo, A. e V. Uller. 2008. *Fundamentos do Refino de Petróleo Tecnologia e Economia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência.
- Tavares, W. 2005. *O descompasso entre a aplicação e a arrecadação de recursos do Fundo Setorial de Petróleo*. 9ª ed. Campos dos Goytacazes, RJ, Universidade Cândido Mendes. Disponível em www.royaltiesdopetroleo.ucam-campos.br.
- Tehrani, N. M. 2007. “Allocation of CO₂ Emissions in Petroleum Refineries to Petroleum Joint Products: A Linear Programming Model for Practical Application.” (“Alocação de Emissões de CO₂ em Refinarias de Petróleo para Produtos Conjuntos do Petróleo: Um Modelo Linear de Programação para Aplicação Prática.”) *Energy Economics* 29(4): 974–97.
- Teixeira, A. M., B. S. Soares-Filho, S. R. Freitas e J. P. Metzger. 2009. “Modeling Landscape Dynamics in the Atlantic Rainforest Domain: Implications for Conservation.” (“Modelando a Dinâmica do Cenário no Domínio da Floresta Tropical Atlântica: Implicações para Conservação.”) *Forest Ecology and Management* 257: 1219–30.
- Thackeray, F. e G. Leckie. 2002. “Stranded Gas: A Vital Resource.” (“Gás Desperdiçado: Um Recurso Vital.”) *Petroleum Economist* 69(5): 10–12.
- Thakkar, V. P., S. F. Abdo, V. A. Gembicki e J. F. McGehee. 2005. “A Novel Approach for Greater Added Value and Improved Returns.” (“Uma Nova Abordagem para Maior Valor Agregado e Melhores Retornos.”) Des Plaines, IL: UOP LLC. Disponível em www.uop.com/objects/AM-05-53-LCO.pdf.
- Theodore, L. e J. Reynolds. 1987. *Introduction to Hazardous Waste Incineration (Introdução à Incineração de Resíduos Perigosos)*, 6ª edição. Nova Iorque: John Wiley & Sons.
- Thomas, C. P., T. C. Doughty, J. H. Hackworth, N. B. North e E. P. Robertson. 1996. “Economics of Alaska North Slope Gas Utilization Options.” (“Economia das Opções de Utilização do Gás das Montanhas do Norte do Alaska.”) Idaho Falls: Idaho National Engineering Laboratory.
- Thomas, J. E., A. A. Triggia e C. A. Correia. 2001. *Fundamentos de engenharia de petróleo*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência.
- Thomas, S. e R. A. Dawe. 2003. “Review of Ways To Transport Natural Gas Energy from Countries Which Do Not Need the Gas for Domestic Use.” (“Análise das Formas de Transporte da Energia de Gás Natural de Países que Não Necessitam do Gás para Uso Doméstico.”) *Energy* 28(14): 1461–77.
- Tiba, C. 2000. *ATLAS Solarimétrico do Brasil: Banco de dados terrestres*. Recife: Editora Universitária da UFPE.
- Timilsina, G. R. e R. M. Shrestha. 2006. “General Equilibrium Effects of a Supply Side GHG Mitigation Option under the Clean Development Mechanism.” (“Efeitos Gerais do Equilíbrio de Uma Opção de Mitigação de GHG do Lado da Oferta, de Acordo com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.”) *Journal of Environmental Management* 80: 327–41.
- Timmons, C., J. Jackson e D. White. 2000. “Distinguishing Online Optimization Benefits from Those of Advanced Controls.” (“Distinção de Benefícios Online de Otimização dos Gerados por Controles Avançados.”) *Hydrocarbon Processing* 6: 69–77.
- Tonkovich, A. L. et al. 2008. “Methanol Production FPSO Plant Concept Using Multiple Microchannel Unit Operations.” (“Conceito de Planta FPSO de Produção de Metanol Utilizando Múltiplas Operações de Unidades Microcanal.”) *Chemical Engineering Journal* 135(Supplement 1): S2–8.
- Tonkovich, A.Y., S. Perry, Y. Wang, D. Qiu, T. LaPlante, and W. A. Rogers. 2004. “Microchannel Process Technology for Compact Methane Steam Reforming.” (“Tecnologia de Processo com Microcanal para Reformação Compacta de Vapor de Metano.”) *Chemical Engineering Science* 59(22–23): 4819–24.
- Torre, Augusto de la, Pablo Fajnzylber e John Nash. 2009. *Low carbon, high growth: Latin America responses to climate change. (Baixo Carbono, Alto Crescimento: Respostas da América Latina à Mudança Climática.)* Estudos do Banco Mundial América Latina e Caribe, Relatório nº 47604. Washington, DC: Banco Mundial.
- Treinamento de Gerentes de Energia. 2004. Refinaria de Guwahati, Guwahati, Assam: Indian Oil Corporation Limited. Disponível em www.energymanagertraining.com/eca2004/award2004/Refineries/Indian%20Oil%20Corporation%20Guwahathi%20Refinery.pdf.
- Tundisi, J. G. 2007. “Exploração do Potencial Hidrelétrico da Amazônia.” *Revista Estudos Avançados* 21(59): 109–17.
- Turner, R. K., D. W. Pearce e I. Bateman. 1993. *Environmental Economics: An Elementary Introduction*. (Economia Ambiental:

- Uma Introdução Elementar.) Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima) 2007. *Investment and Financial Flows To Address Climate Change. (Investimentos e Fluxos Financeiros para Tratar da Mudança do Clima.)* Bonn: UNFCCC. Disponível em http://unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanism/application/pdf/background_paper.pdf
- Universidade de Alberta. 2008. Flare Research Project. (Projeto de Pesquisa sobre Flare.) Disponível em www.mece.ualberta.ca/groups/combustion/flare/index.html.
- Unruh, G. C. 2000. "Understanding Carbon Lock-in." ("Entendendo o Impasse do Carbono.") *Energy Policy* 28(12): 817–30.
- Valor Econômico. 2008. Artigos sobre cogeração de biomassa, 12 e 14 de agosto.
- Valverde, Sebastião Renato. 2007. "Plantações de Eucalipto no Brasil." *Revista da Madeira*, nº 107, setembro.
- van den Wall Bake, J. D. 2006. "Cane as Key in Brazilian Ethanol Industry." ("A Cana como Produto Crucial na Indústria Brasileira do Etanol.") Tese de Mestrado, Universidade de Utrecht, Países Baixos.
- van der Laan, G. P. 1999. "Kinetics, Selectivity and Scale Up of the Fischer-Tropsch Synthesis." ("Cinética, Seletividade e Expansão da Síntese Fischer-Tropsch.") Tese de Doutorado, Universidade de Groningen, Países Baixos.
- Van Hamme, J., A. Singh e O. Ward. 2003. "Recent Advances in Petroleum Microbiology." ("Avanços Recentes em Microbiologia do Petróleo.") *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 67(4): 468, 503–49.
- Van Heerden, J., R. Gerlagh, J. Bignaut e M. Horridge. 2006. "Searching for Triple Dividends in South Africa: Fighting CO₂ Pollution and Poverty while Promoting Growth." ("Em Busca de Dividendos Triplos na África do Sul: Combatendo a Poluição por CO₂ e a Pobreza, e ao Mesmo Tempo Promovendo o Crescimento.") *The Energy Journal* 27(2): 113–42.
- Velocys. 2008. *Technology Platforms: Promising Applications.* (Plataformas Tecnológicas: Aplicações Promissoras.) Plain City, Ohio. Disponível em www.velocys.com/technology/platforms.php.
- Veloso, H. P., A. L. R. Rangel Filho e J. C. A. Lima. 1991. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal.* São Paulo: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
- Verstraete, J., V. Coupard, C. Thomazeau e P. Etienne. 2005. "Study of Direct and Indirect Naphtha Recycling to a Resid FCC Unit for Maximum Propylene Production." ("Estudo da Reciclagem Direta e Indireta de Nafta para uma Unidade Resid FCC para Máxima produção de Propileno.") *Catalysis Today* 106: 62–71.
- Von Sperling, M. 1998. *Lagoas de estabilização.* Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).
- Vose, R. S., R. L. Schmoyer, P. M. Steurer, T. C. Peterson, R. Heim, T. R. Karl e J. K. Eischeid. 1992. *The Global Historical Climatology Network: Long-term Monthly Temperature, Precipitation, Sea Level Pressure, and Station Pressure Data. (A Rede Global Histórica de Climatologia: Dados Mensais de Longo Prazo de Temperatura, Precipitação, Pressão ao Nível do Mar e Pressão na Estação.)* Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, Carbon Dioxide Information Analysis Center (Centro de Análise de Informações sobre Dióxido de Carbono).
- Vosloo, A. C. 2001. "Fischer-Tropsch: A futuristic View." ("Fischer-Tropsch: Uma Visão Futurista.") *Fuel Processing Technology* 71(1–3): 149–55.
- Wakamura, O. 2005. "Development of GTL (Gas to Liquid) Technology." ("Desenvolvimento da Tecnologia GTL.") *Nippon Steel Corporation Journal (Shinnittetsu Giho)* 382: 2–7.
- Walter, A. S., P. Dolzan, O. Quilodrán, J. Garcia, C. da Silva, E. Piacente e A. Segerstedt. 2008. "A Sustainability Analysis of the Brazilian Ethanol." ("Uma Análise de Sustentabilidade do Etanol Brasileiro.") Relatório apresentado à Embaixada do Reino Unido, Brasília.
- Walter, Arnaldo, F. Rosillo-Calle, Paulo Dolían, Eric Piacente e Kamyla Borges Cunha. 2008. "Perspectives on Fuel Ethanol Consumption and Trade." ("Perspectivas sobre o Consumo e o Comércio do Etanol como Combustível.") *Biomass and Bioenergy* 32(8): 730–48. Disponível em www.elsevier.com/locate/biombioe.
- Wang, M., H. Lee e J. Molburg. 2004. "Allocation of Energy Use in Petroleum Refineries to Petroleum Products: Implications for Life-Cycle Energy Use and Emission Inventory of Petroleum Transportation Fuels." ("Alocação do Uso de Energia em Refinarias de Petróleo Para Produtos de Petróleo: Implicações Quanto ao Uso de Energia Durante Todo o Processo e Inventário de Emissões dos Combustíveis para Transporte Derivados do Petróleo.") *The International Journal of Life Cycle Assessment* 9(1): 34–44.
- Ward, E. G., A. J. Wolford, M. B. Mick e L. Tapia. 2006. *Technology Assessment of Alternatives for Handling Associated Gas Produced from Deepwater Oil Developments in the GOM.* (Avaliação de Tecnologias para o Tratamento do Gás Associado Produzido para Desenvolvimentos Relacionados ao Petróleo em Águas Profundas no GM.) AMEC Paragon. Washington, DC: Departamento do Interior dos EUA, Serviço de Gestão de Minerais.
- Water Systems Analysis Group. 2007. *R-Hydronet: A Regional, Electronic Hydrometeorological Data Network for South America, Central America, and the Caribbean. (R-Hydronet: Uma Rede de Dados Hidrometeorológicos Eletrônicos para a América do Sul, América Central e o Caribe.)* Durham, NH: Universidade de New Hampshire.

- Weck, J. 1970. "An Improved CVP-index for the Delimitation of the Potential Productivity Zones of Forest Lands of India." ("Um Melhor Índice CVP para a Delimitação das Potenciais Zonas de Produtividade das Terras Florestais da Índia.") *Indian Forester* 96: 565-72.
- Whitmore, T. C. 1984. *Tropical Rain Forests of the Far East. (Florestas Tropicais do Extremo Oriente.)* 2ª ed. Oxford: Clarendon Press, Oxford Science Publications.
- Wilhelm, D. J., D. R. Simbeck, A. D. Karp e R. L. Dickenson. 2001. "Syngas Production for Gas-To-Liquids Applications: Technologies, Issues and Outlook." ("Produção de Syngas para Aplicações GTL: Tecnologias, Aspectos e Panorama.") *Fuel Processing Technology* 71(1-3): 139-48.
- WMO (Organização Meteorológica Mundial). 1996. "Climatological Normals (Clino) for the Period 1961-1990." ("Normais Climatológicos (Clino) para o Período 1961-1990.") Genebra: Organização Meteorológica Mundial.
- . 2008. Global Gas Flaring Reduction. Available at <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTOGMC/EXTGGFR/0,,contentMDK:21022944~menuPK:828161~pagePK:64168445~piPK:64168309~theSitePK:578069,00.html>.
- . 2008. "Environmental Licensing for Hydroelectric Projects in Brazil: A Contribution to the Debate," Summary Report. World Bank Country Management Unit.
- Worley International. 2000. "Natural Gas Development Based on Non-Pipeline Options: Offshore Newfoundland." ("Desenvolvimento de Gás Natural Baseado em Opções Independentes de Dutos: Offshore em Newfoundland.") Relatório Final (dezembro). Houston: Worley International.
- Worrell, E. e C. Galitsky. 2004. "Profile of the Petroleum Refining Industry in California." ("Perfil da Indústria de Refino de Petróleo na Califórnia.") California Industries of the Future Program, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory. Disponível em <http://ies.lbl.gov/iespubs/55450.pdf>.
- . 2005. "Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Petroleum Refineries." ("Melhoria da Eficiência Energética e Oportunidades de Economia de Custos para Refinarias de Petróleo.") Um Manual da ENERGY STAR® para Gerentes de Energia e de Plantas. Berkeley: Universidade da Califórnia, Departamento de Análise Energética. Disponível em www.library.lbl.gov/docs/LBNL/561/83/PDF/LBNL-56183.pdf.
- Worrel, E., P. Phylipsen, D. Einstein e N. Martin. 2000. *Energy Use and Energy Intensity of the U.S. Chemical Industry. (Uso e Intensidade de Energia da Indústria Química dos EUA.)* US EPA/US DOE/ UCLA, Berkeley. Disponível em: <http://ies.lbl.gov/iespubs/44314.pdf>.
- Worrel, E., L. Price, N. Martin, C. Hendrics e L. O. Meida. 2001. "Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry." ("Emissões de Dióxido de Carbono da Indústria Global de Cimento.") *Annual Review of Energy and Environment* 26: 303-29.
- Worrel, E., L. Price, M. Neelis, C. Galitsky e Z. Nan. 2008. *World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors. (Melhores Práticas Mundiais Quanto a Valores de Intensidade de Energia para Setores Industriais Selecionados.)* Relatório nº LBNL 62806. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- WRI (World Resources Institute - Instituto Mundial de Recursos). 2007. "Climate Analysis Indicators Tool (CAIT)." ("Ferramenta de Indicadores de Análise Climatológica (CAITI).") Washington, DC: World Resources Institute. Disponível em <http://cait.wri.org>.
- Yang, H., Z. Xu, M. Fan, R. Gupta, R. B. Slimane, A. E. Bland e I. Wright. 2008. "Progress in Carbon Dioxide Separation and Capture: A Review." ("Progresso na Separação e na Captura do Dióxido de Carbono: Uma Análise.") *Journal of Environmental Sciences* 20(1): 14-27.
- Zapata, B., F. Pedraza e M. A. Valenzuela. 2005. "Catalyst Screening for Oxidative Desulfurization Using Hydrogen Peroxide." ("Triagem de Catalisadores para Dessulfurização Oxidativa Utilizando Peróxido de Hidrogênio.") *Catalysis Today* 106(1-4): 219-21.
- Zhang, B. e B. Hua. 2007. "Effective MILP Model for Oil Refinery-wide Production Planning and Better Energy Utilization." ("Modelo MILP Efetivo para Planejamento de Produção em Toda a Refinaria e para a Melhor Utilização da Energia.") *Journal of Cleaner Production* 15(5): 439-48.
- Zhang, Z., H. Jiang, S. Liu, Q. Wang e L. Xu. 2006. "Alkylation Performance of Tiophene and Its Derivatives during Olefinic Alkylation of Tiophenic Sulfur in Gasoline." ("Desempenho da Alquilação do Tiofeno e de Seus Derivados durante a Alquilação Olefínica do Enxofre Tiofênico na Gasolina.") *Chinese Journal of Catalysts* 27(4): 309-13.

Sites de Interesse na Internet

Australia Institute for Sustainable Resources – Instituto Australiano para Recursos Sustentáveis (ISR)

www.isr.qut.edu.au

Associação Brasileira da Indústria da Panificação e Confeitaria (ABIP)

www.abip.org.br

Serviço de Informação da Carne (SIC)

www.sic.org.br

Associação Brasileira de Bebidas (ABRABE)

<http://abrabe.org.br>

Associação Brasileira de Cerâmica (ABC)

www.abceram.org.br

Associação Brasileira da Indústria de Chocolates, Cacau, Amendoim, Balas e Derivados (ABICAB)

www.abicab.org.br

Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC)

www.abic.com.br

Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA)

<http://abia.org.br>

Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO)

www.abividro.org.br

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)

www.ibama.gov.br

Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias (ABIMA)

www.abima.com.br

Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)

www.abcp.org.br

Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel (ABICS)

www.abics.com.br

Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT)

www.abit.org.br

CompactGTL

www.compactgtl.com/index.php

Câmara de Comercialização da Energia Elétrica (CCEE)

www.ccee.org.br

Instituto Internacional de Ferro e Aço (IISI)

www.worldsteel.org

Sindicato da Indústria do Ferro de Minas Gerais (SINDIFER)

www.sindifer.com.br/inst.html

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)

www.agricultura.gov.br

Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (ANFACER)

www.anfacer.org.br

Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (SINDICERV)

www.sindicerv.com.br

Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER)

www.anicer.org.br

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)

www.mma.gov.br/port/conama/



Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA)

www.anda.org.br

Instituto Nacional de Meteorologia

www.inmet.gov.br

PatentStorm

www.patentstorm.us/

Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco (SINDUSGESSO)

www.sindusgesso.org.br

Revista o Mundo da Usinagem

www.omundodausinagem.com.br

União da Indústria da Cana-de-Açúcar (UNICA)

www.portalunica.com.br

Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais (SEMAD)

www.semad.mg.gov.br

www.mma.gov.br/port/conama/

National Fertilizer Association (ANDA)

www.anda.org.br

National Meteorological Institute.

www.inmet.gov.br

PatentStorm

www.patentstorm.us/

Pernambuco State Gypsum Industry Union (SINDUSGESSO)

www.sindusgesso.org.br

Revista o Mundo da Usinagem

www.omundodausinagem.com.br

São Paulo Sugarcane Agroindustry Union (ÚNICA)

www.portalunica.com.br

State Secretariat of Environment and Sustainable Development (SEMAD)

www.semad.mg.gov.br



