**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP – FEA – IEE - IF**

NATÁLIA OLIVEIRA DOS SANTOS BOTELHO

**CONTRIBUIÇÕES DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO PARA AS
EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA À LUZ DAS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS: UMA ANÁLISE DO PERÍODO 2005-2021**

**SÃO PAULO
2014**

NATÁLIA OLIVEIRA DOS SANTOS BOTELHO

CONTRIBUIÇÕES DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO PARA AS EMISSÕES DE GASES
DE EFEITO ESTUFA À LUZ DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA ANÁLISE DO
PERÍODO 2005-2021

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica /Faculdade de Economia e Administração /Instituto de Eletrotécnica de Energia /Instituto de Física) para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. José Goldemberg

Versão Original

(versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO
2014

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL
DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU
ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE
CITADA A FONTE.**

FICHA CATALOGRÁFICA

Botelho, Natália Oliveira dos Santos.

Contribuições do setor elétrico brasileiro para as emissões de gases de efeito estufa à luz das mudanças climáticas: uma análise do período 2005-2021./ Natália Oliveira dos Santos Botelho; orientador José Goldemberg. – São Paulo, 2014.

95 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia)
EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Mudança climática 2. Efeito estufa I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, dono de todo o conhecimento e sabedoria, que me capacita e me inspira todos os dias.

Ao meu marido Marcos, meu maior incentivador e companheiro. Obrigada por acreditar em mim sempre e pela compreensão em todos os momentos em que estive dedicada a este projeto.

À minha querida família, meus pais Jorge e Rita e minha irmã Sara, por serem a minha base e por me ensinarem que o estudo é a maior riqueza que alguém pode ter.

Aos meus professores José Goldemberg e Virgínia Parente, obrigada pela paciência, pelos ricos ensinamentos e por me inspirarem com o legado acadêmico e profissional de vocês.

Ao colega e amigo Alexandre Uhlig, pelo enorme incentivo, desde o início deste curso até a sua conclusão. Obrigada pelas horas de estudo, pela paciência e por ter contribuído de forma tão especial para este trabalho.

Ao Banco Itaú BBA, pelas horas investidas na minha formação e por me proporcionar experiências de tão alto nível, sem as quais a motivação para concluir este curso não teria sido a mesma.

RESUMO

BOTELHO, N.O.S. Contribuições do setor elétrico brasileiro para as emissões de gases de efeito estufa à luz das mudanças climáticas: uma análise do período 2005-2021. 2014.95 p. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

Este trabalho tem como objetivo analisar a participação do setor elétrico brasileiro nas emissões de gases de efeito do país durante o período de 2005 a 2021, de acordo com o Plano Decenal de Energia – PDE 2021, documento oficial do governo elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética. Para isso, inicialmente é feita uma contextualização sobre a importância internacional da discussão sobre as emissões à luz das mudanças climáticas. A dissertação prossegue com a apresentação de um breve sumário da evolução do setor elétrico brasileiro, desde 1960, a partir da criação da Eletrobras, até sua trajetória recente, configurando a matriz elétrica brasileira de forma tão distinta da matriz média mundial. Adicionalmente são apresentadas as projeções oficiais do governo para a oferta e a demanda de eletricidade até 2021. Com base no passado recente e na formação de matriz brasileira projetada até 2021, é feito um levantamento dos dados de emissões de gases de efeito estufa, no contexto da discussão sobre mudança do clima, seus marcos históricos e paradigmas conceituais. Por fim, é feita uma análise das emissões oriundas da geração de eletricidade, a fim de avaliar as tendências do setor para 2021 e os planos de ação para mitigação e redução das emissões. Os principais resultados dessa análise indicam que a preocupação em torno das emissões do setor elétrico vai além da questão quantitativa. Ela abrange também um dos pilares do atual modelo regulatório do setor, que é a segurança energética do país. A matriz elétrica fundamentada em fontes hídricas, como é a brasileira, é excelente do ponto de vista de emissões, mas desperta preocupação em relação às escolhas para sua complementaridade.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Emissões de gases de efeito estufa. Setor elétrico. Plano decenal de energia.

ABSTRACT

BOTELHO, N.O.S. Contributions of the Brazilian electric sector to greenhouse gases emissions in the light of climate change: an analysis of the period 2005-2021. 2014.94 p. Master's Dissertation – Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

This study aims to analyze the participation of the Brazilian electric sector greenhouse gases emissions in the country during the period 2005-2021, according to the Ten Year Energy Plan - PDE 2021, official government document prepared by the Energy Research Company. For this, we contextualize about the global importance of the discussion of issues in the light of climate change. The paper continues with a literature review on the Brazilian electricity sector since 1960 with the creation of Eletrobras until its recent trajectory, and also compares the Brazilian energy matrix with the global electric matrix. Also featured are official government projections for the sector (supply and demand of electricity) by 2021. Then an overview of emissions of greenhouse gases in the discussion on climate change, its landmarks and conceptual paradigms is presented. The Brazilian total emissions, as well as the specific of the electricity sector, and their projections through 2021 are also presented. Finally, we make a brief analysis of emissions from electricity generation in order to evaluate industry trends for 2021 and action plans to mitigate and reduce emissions. The major findings indicate that concerns over emissions from the electricity sector goes beyond the quantitative question. It also covers one of the pillars of the current regulatory framework of the sector, which is the country's energy security. The energy matrix based on water sources, as is Brazilian, is excellent in terms of emissions, raising concern about choices for their complementarity.

Keywords: Climate change. Greenhouse gases emissions. Electricity sector. Ten-year energy planning.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dez maiores geradores de eletricidade a partir de fontes fósseis em 2011	26
Tabela 2 – Dez maiores produtores de hidroeletricidade, capacidade instalada e maiores produtores internos de hidroeletricidade do mundo, em 2011.	28
Tabela 3 – Impactos Socioambientais da Geração de Energia Elétrica	29
Tabela 4 – Empreendimentos em operação no Brasil em 2013	37
Tabela 5 – Empreendimentos em construção no Brasil em 2013.....	39
Tabela 6 – Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (MW	40
Tabela 7 – Taxas de crescimento do nível de atividade (médias no período)	43
Tabela 8 – Brasil: Consumo de eletricidade na rede por classe (GWh)	43
Tabela 9 – Estimativa de investimentos em geração de energia até 2021.....	44
Tabela 10 – Lista dos Gases de Efeito Estufa – Anexo A do Protocolo de Quioto	49
Tabela 11 – Emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito em 2005	57
Tabela 12 – Brasil: evolução das emissões de GEE na produção e no uso de energia	66
Tabela 13 – Emissões da geração elétrica, por fonte, até 2030 (MtCO ₂ e)	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Concentração de Dióxido de Carbono, Mudanças na Temperatura, no Nível do Mar e na Cobertura de Neve do Hemisfério Norte	15
Figura 2 – Dez maiores emissores de GEEs em 2005, em MtCO ₂ e.....	18
Figura 3 – Geração de eletricidade no mundo em 2011, por fonte.	25
Figura 4 – Geração de eletricidade do mundo, por fonte, em 1973 e 2011, respectivamente.....	27
Figura 5 – Emissões de gases de efeito estufa (gramas de Carbono equivalente/KWh).....	30
Figura 6 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2012.	31
Figura 7– Participação de fontes renováveis no total de geração de eletricidade em 2011.	32
Figura 8 – Potência vendida nos últimos leilões de energia nova, em MW.....	35
Figura 9 – Energia Natural Afluente no Brasil de 2000 a 2013	36
Figura 10 – Evolução da Capacidade Instalada de Geração Elétrica de 1974 a 2012.....	38
Figura 12 – Reservas provadas de gás natural – 1965 – 2010.....	42
Figura 13 – Gráfico da Geração de energia elétrica por fonte no Brasil em 2005 e 2030.	45
Figura 14 – Pegadas desiguais: emissões per capita em países de renda baixa, média e alta, em 2005	51
Figura 15 – Emissões globais de CO ₂ e por setor: energia, mas também agricultura e silvicultura são as principais fontes	52
Figura 16 – Contribuição dos GEE para as emissões totais brasileiras em 2005 (%).....	54
Figura 17 – Participação por setor produtivo nas emissões de GEE globais e brasileiras em 2005.	55
Figura 18 – Estrutura do Consumo no Setor de Transportes.....	59
Figura 19 – Taxa de desmatamento anual da Amazônia Legal brasileira	61

Figura 20 – Histórico das emissões de mudança de uso do solo e florestas (Mt CO ₂ e)	63
Figura 21 – Perfil das emissões do setor elétrico em 2008	65
Figura 22 – Geração de Energia Hidráulica no Brasil em 2012 e 2013	67
Figura 23 – Geração de Energia Termelétrica no Brasil em 2012 e 2013.....	68
Figura 24 – Emissões de CO ₂ de térmicas convencionais (tCO ₂ /MWh).....	68
Figura 25 – Evolução das emissões de CO ₂ (em milhões de toneladas) entre 2005 e 2030.....	71
Figura 26 – Emissões de GEE do setor elétrico de 2005 a 2021 (tCO ₂ /MWh).....	74
Figura 26 – Oferta Interna de Energia em 2012 – Brasil.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
BEN	Balanço Energético Nacional
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
EDGAR	<i>Emission Database for Global Atmospheric Research</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEA	Agência Internacional de Energia
IDS	Indicadores de Desenvolvimento Sustentável
INPA	Instituto Nacional de Pesquisa Aeroespacial
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
N ₂ O	Óxido Nitroso
NF ₃	Trifluoreto de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDE	Plano Decenal de Expansão Energia
PNE	Plano Nacional de Energia
PNLT	Plano Nacional de Logística e Transportes

PNMC	Política Nacional sobre Mudanças do Clima
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPM	Partes por milhão
PPT	Programa Prioritário de Termoelectricidade
PROINFA	Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia
RTE	Recomposição Tarifária Extraordinária
RIMC	Regime Internacional de Mudanças Climáticas
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SEGG	Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa
SIN	Sistema Interligado Nacional
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
WRI	<i>World Resources Information</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	17
1.2	Metodologia	19
2	PANORAMA DO SETOR ELÉTRICO	20
2.1	Histórico de consolidação do setor elétrico brasileiro a partir de 1960	20
2.2	A matriz elétrica mundial	25
2.3	A matriz elétrica brasileira	31
2.4	As Projeções para o setor elétrico brasileiro até 2021	39
3	PANORAMA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO BRASIL E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	47
3.1	As mudanças climáticas e suas consequências	47
3.2	As emissões brasileiras de GEEs no contexto mundial	53
3.3	As emissões do setor elétrico brasileiro de 2005 a 2021.	64
4	ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO DE 2005 A 2021	73
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
	ANEXO A – Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC.....	90
	ANEXO B – Reportagens sobre o setor elétrico brasileiro	95

1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre a questão ambiental está presente em todas as esferas da sociedade. Não é recente o fato de que o meio ambiente está em crise, mas há alguns anos as atenções estão voltadas para este problema e muito está sendo discutido dentro da academia, pelos órgãos governamentais, grandes corporações, terceiro setor e, cada vez mais frequentemente, pela mídia (MARCOVITCH, 2006).

Não faltam exemplos para atestar que o meio natural está respondendo drasticamente à ação antrópica. Além dos eventos catastróficos ocorridos em diversos lugares do mundo, outros sérios problemas afetam diretamente a sociedade, como a diminuição da camada de ozônio e o aumento dos gases que produzem o efeito estufa, a poluição do ar e das águas, a perda de produtividade dos solos, a devastação de florestas, a perda da biodiversidade, entre vários outros. Muitos desses danos já são irreversíveis e outros podem se agravar ainda mais (LOVELOCK, 2006).

Nesse contexto, o debate sobre mudanças climáticas vem se intensificando ao longo das últimas duas décadas. Em 2008, com o alerta divulgado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) sobre as conseqüências do aumento da temperatura da Terra, o tema ganhou dimensões mais robustas, tanto na mídia como, nas discussões acadêmicas.

Nesse sentido, a comunidade científica tem sustentado a hipótese de que o aumento da concentração de gases de efeito estufa¹ (GEE) na atmosfera é a principal razão para as mudanças no clima da Terra. Segundo o IPCC (2008), a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou de 280 ppm, no período pré-industrial, para 380 ppm em 2005, conforme indica a figura 1. E o melhor cenário previsto, limite para alterações climáticas suportáveis ou adaptáveis, é que o aumento da temperatura não seja maior que 2°C. Para tanto, será necessário estabilizar as concentrações de CO₂ entre 400 a 450 ppm, com 75% e 50% de probabilidade de controlar eventos extremos, respectivamente.

¹ Os gases de efeito estufa são gases presentes na atmosfera terrestre que têm a propriedade de bloquear parte da radiação infravermelha. Os principais são: Dióxido de Carbono (CO₂), Ozônio (O₃), Óxido Nitroso (N₂O), Metano (CH₄) e Trifluoreto de Nitrogênio (NF₃).

Figura 1– Concentração de Dióxido de Carbono, Mudanças na Temperatura, no Nível do Mar e na Cobertura de Neve do Hemisfério Norte

Fonte: IPCC, 2008.

Ao longo de toda a sua história, o planeta Terra tem passado por enormes variações climáticas, em diferentes eras. Segundo Goldemberg e Lucon (2007), a biosfera² está sujeita a um processo contínuo de transformação, oriundo de causas naturais das quais o homem não tem

² Biosfera é o conjunto de todos os ecossistemas terrestres.

controle. Porém, quando as mudanças são naturais, elas ocorrem de forma lenta, permitindo que a vida sobre a Terra se adapte em seu ritmo.

No entanto, há evidências científicas cada vez mais fortes de que as recentes mudanças climáticas estão relacionadas com o aumento da temperatura da Terra, causado, sobretudo, por atividades antrópicas (IPCC, 2008). A maior parcela das emissões antropogênicas tem origem na queima de combustíveis fósseis, resultante dos mais variados processos produtivos da economia, como atividades industriais, sistemas de transportes, comércio, serviços, etc. Ou seja, este debate sobre mudanças climáticas, em nível global, está diretamente ligado às questões energéticas (ANDRADE E MATTEI, 2012).

Portanto, um caminho que parece ser eficaz para tentar desacelerar as mudanças no clima é reduzir o consumo de combustíveis fósseis e investir na maior participação das energias renováveis na matriz energética, assim como buscar maior eficiência na produção e no consumo de energia.

Por outro lado, é importante destacar que, ao mesmo tempo em que as fontes renováveis de energia representam uma alternativa para mitigação das mudanças climáticas, por serem dependentes das condições climáticas, acabam ficando sujeitas aos impactos do fenômeno que pretendem evitar (PINGUELLI, 2008).

O Brasil, acompanhado de outros países em desenvolvimento, como China e Índia, teve um acelerado crescimento econômico, especialmente nos últimos dez anos. Consequentemente tal crescimento trouxe consigo o aumento das emissões de GEEs. Segundo o Relatório de Desenvolvimento Humano publicado em 2011 pela Organização das Nações Unidas (ONU), desde 1970 as emissões globais de CO₂ aumentaram 248% nos países com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) baixo, médio e elevado e 42% nos países com IDH muito elevado. Tal fato pode ser explicado por diversos fatores e é possível destacar como principais os seguintes: acelerado crescimento populacional, aumento do consumo e produção intensiva em carbono.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) recentemente divulgou os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – IDS 2012. Este relatório mostra que, em 2010, o consumo de energia *per capita* alcançou 52,9 GJ/hab no Brasil. Foi o maior índice desde 1992, ultrapassando 2008, até então o maior: 50 GJ/hab.

Para o IBGE, este aumento está relacionado ao grau de desenvolvimento do país e ao maior acesso a bens de consumo essenciais e a serviços de infraestrutura. A eficiência no uso da energia na economia brasileira tem se mantido estável, devido ao crescimento quase em paralelo do consumo de energia e do PIB ao longo dos anos (IBGE, 2012).

Segundo o Relatório sobre o desenvolvimento mundial e mudanças climáticas, elaborado pelo Banco Mundial (BANCO MUNDIAL, 2010, p. 5):

[...] Os países em desenvolvimento suportarão o peso dos efeitos da mudança climática, mesmo que lutem para superar a pobreza e impulsionem o crescimento econômico. Para esses países, a mudança climática ameaça aprofundar as vulnerabilidades, minar os ganhos conquistados com dificuldade e prejudicar seriamente as perspectivas de desenvolvimento.

Diante do exposto, a questão central que este trabalho buscará responder é: quais são as contribuições do setor elétrico para as emissões de gases de efeito estufa no Brasil e as perspectivas para os próximos anos, até 2021?

A hipótese a ser investigada na dissertação é que as emissões de gases de efeito estufa oriundas do setor elétrico brasileiro são baixas, quando comparadas com os outros setores da economia. Este cenário é o inverso ao do restante do mundo, em que a geração de eletricidade está entre as principais fontes de emissões de GEEs. Para proceder esta investigação, será traçado um panorama atual das emissões brasileiras e serão verificadas as projeções de tais emissões, para assim, mapear onde estão os maiores desafios e oportunidades de redução das emissões.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar a participação do setor elétrico no volume de emissões de GEEs do país, bem como as projeções oficiais do governo brasileiro para o setor no horizonte até 2021.

1.1 Justificativa

Segundo dados da *Energy International Agency* (EIA), em 2005 o Brasil ocupava a terceira posição no *ranking* dos maiores emissores de gases de efeito estufa, atrás apenas da China e dos Estados Unidos, como mostra a figura 2 (EIA, 2005). Esta situação faz com que o país tenha que agir como um importante agente no contexto global de combate às mudanças climáticas; fato que traz grande impacto socioeconômico e político e por isso precisa ser cuidadosamente conduzido e analisado.

Figura 2 – Dez maiores emissores de GEEs em 2005, em MtCO₂e.

Fonte: EIA, 2005.

Nesse sentido, para a adequada condução dos fóruns e acordos globais, faz-se necessário que haja um claro entendimento sobre a origem das emissões de cada país a fim de que os planos de ação sejam eficientes e contextualizados. Padronizar as medidas que devem ser adotadas para reduzir as emissões em nível global não parece ser a solução mais eficiente.

Desde 2008, o Brasil vem avançando em relação ao tema “mudanças climáticas”. Neste mesmo ano criou o Plano Nacional sobre Mudança do Clima e no ano seguinte aprovou a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), que foi regulamentada através do decreto 7.390 de dezembro de 2010. Uma das previsões desta Política é o compromisso voluntário de redução entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020 (ANEXO A).

O PNMC definiu metas para a redução de emissões dos gases de efeito estufa, mas não apresentou todos os planos de ação setoriais para alcançar os objetivos. Assim como também não mensurou a estimativa dos custos, ou seja, não foi divulgado oficialmente qual é o custo para reduzir as emissões do setor de transportes ou do setor elétrico, por exemplo. Tal fato dificulta

bastante a tomada de decisão dos diversos setores em relação à redução das emissões, assim como torna obscura a discussão sobre o tema.

1.2 Metodologia

A metodologia utilizada no desenvolvimento do presente trabalho foi baseada em uma ampla revisão bibliográfica, que permitiu encontrar meios para auxiliar na definição de problemas já conhecidos, bem como explorar diferentes abordagens e perspectivas, produzindo, assim, novas conclusões. Além disso, este método possibilita a cobertura de uma gama de fenômenos bastante ampla, especialmente quando o objeto a ser investigado exige a análise de dados dispersos, como é o caso.

Com estes resultados, foi possível analisar (i) as verdadeiras razões que levam o Brasil ao *ranking* dos maiores emissores de GEEs, (ii) as estratégias do governo brasileiro para reduzir as emissões do setor elétrico e (iii) as perspectivas de tais emissões para o período até 2021.

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. Além desta introdução, o capítulo seguinte trata de revisão da literatura sobre o setor elétrico brasileiro, suas características atuais e as projeções oficiais do governo.

Em seguida, o capítulo três aborda a literatura sobre mudanças climáticas, seus marcos históricos, definições conceituais e trajetória recente.

O capítulo quatro, por sua vez, traz uma análise do setor elétrico brasileiro e suas emissões de gases de efeito estufa, à luz da teoria revisada nos capítulos anteriores. Por fim, o capítulo cinco contempla um resumo das principais conclusões do trabalho e considerações finais.

2 PANORAMA DO SETOR ELÉTRICO

Este capítulo procura fazer uma revisão da literatura, começando pela trajetória histórica de consolidação do setor elétrico brasileiro, a partir da década de 1960 até o momento atual, ano 2013. Em seguida, aborda o estudo das matrizes elétricas mundial e brasileira, suas composições e características.

Por fim, são apresentadas as projeções para o setor elétrico brasileiro, revisando a bibliografia sobre o planejamento energético, especialmente a partir dos documentos oficiais do governo, como o Plano Decenal de Expansão de energia 2012- 2021 (PDE) e o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE).

2.1 Histórico de consolidação do setor elétrico brasileiro a partir de 1960

O setor de energia sempre teve lugar de destaque nos programas de desenvolvimento econômico do Brasil, que buscou colocar a produção de energia elétrica como insumo prioritário nas metas governamentais. Para Tolmasquim (2007, p.68):

[...] A disponibilidade de energia nas condições de quantidade e qualidade adequadas, a custos competitivos, tem-se constituído em um dos mais importantes pré-requisitos para o desenvolvimento econômico das nações. Em vista disso, a energia tem sido tratada como um bem de natureza estratégica, e não por acaso a segurança energética tornou-se um dos temas mais relevantes da agenda mundial.

Sendo assim, a criação da Eletrobrás, na década de 1960, foi uma das formas de materialização desta preocupação com o desenvolvimento econômico do país, que começou na Era Vargas (1954) e se concretizou com o presidente João Goulart, em 1962. Segundo Pagliardi e Sobreiro (2011, p.79):

[...] A Eletrobrás, criada em 1962, assumiu a coordenação do desenvolvimento da indústria de energia elétrica, e criou taxas e buscou recursos nos fundos multilaterais de investimento para financiar a expansão da capacidade de geração. O monopólio, sob controle, federal, e a integração vertical do setor promoveram a economia de escala, aumentando a produtividade das empresas e consequentemente reduzindo custos.

Até meados da década de 1970 o setor elétrico brasileiro apresentou um crescimento consistente, ampliando o acesso à energia elétrica e melhorando a qualidade dos serviços prestados. A forte industrialização, aliada ao alto incremento das atividades energo-intensivas,

como a produção de alumínio e aço, e o aumento da oferta de serviços de energia aos setores comercial e residencial são as principais causas da ampliação do uso e da intensidade da energia (TOMALSQUIM et al., 1998).

O principal objetivo da política energética brasileira nas últimas três décadas foi a redução da dependência externa de suprimento e o estímulo ao desenvolvimento de potenciais domésticos. No período, o uso da hidroeletricidade, do bioetanol e, mais recentemente, de gás natural experimentaram crescimento constante; o petróleo diminuiu sua participação na década de 1980, mas desde o choque de 1986 tem se recuperado; o carvão cresceu essencialmente na proporção do setor metalúrgico e a biomassa foi impulsionada pelo uso de fontes modernas em setores industriais e decresceu pela substituição da lenha no setor doméstico (ESPARTA, 2008).

Durante esse período, o setor recebeu grandes investimentos, principalmente na geração. Essa estrutura se mantinha, sobretudo, devido ao modo de organização do setor elétrico brasileiro, cuja estrutura básica se apoiava em três pilares: i) autofinanciamento; ii) financiamento interno; e iii) financiamento externo (PINTO JR. et al., 2007).

Porém, no começo da década de 1980, o histórico de crescimento sustentado começou a ficar comprometido, devido à utilização do setor elétrico em políticas para captação de recursos externos e para o controle da inflação através da forte contenção tarifária. Dessa forma, a capacidade de autofinanciamento do setor foi abalada e, conseqüentemente os investimentos passaram a depender cada vez mais de *funding* externo.

No entanto, o contexto econômico da época, com juros crescentes, favoreceu a deterioração das contas externas do país, de modo que a disponibilidade de crédito dos organismos internacionais foram interrompidos e o setor passou a ter fluxo negativo entre os empréstimos externos e o pagamento da dívida (GOMES et al., 2002).

As discussões sobre a situação de esgotamento do modelo até então vigente levaram ao estabelecimento de um novo paradigma para o setor. Durante a década de 1990, as Leis 8.031/1990³, 8.987/1995⁴ e 9.074/1995⁵ estabeleceram os marcos de um novo modelo, baseado na criação de um mercado competitivo de energia elétrica. Para tanto, foi necessário desverticalizar a cadeia produtiva, separando as atividades de geração, transmissão, distribuição e

³ Criou o Programa Nacional de Desestatização.

⁴ Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no art. 175 da Constituição Federal.

⁵ Estabeleceu normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos.

comercialização de energia elétrica.

Nesse novo contexto, em 1996 foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador, vinculado do Ministério de Minas e Energia (MME), que tem como objetivo supervisionar as atividades no mercado de energia elétrica, inclusive celebrar os contratos de concessão do serviço público de energia e fiscalizar a execução desses serviços.

Para Esparta (2008, p.41):

[...] Caberá a ANEEL realizar a licitação da demanda prevista, enquanto o MME monitorará os preços, eventualmente definindo tetos, que serão estabelecidos através de estudos a serem realizados pela EPE. De qualquer forma, ao definir-se o VR (valor de referência) que poderá ser repassado para os consumidores cativos, estabelece-se um instrumento de incentivo através do qual o ganho da distribuidora será maior se limitar a compra de energias mais caras. Espera-se, portanto, reduzir as pressões políticas de diferentes interesses tentando produzir alternativas de geração mais caras, com custos a serem repassados integralmente aos consumidores cativos [...]

A partir do ano de 1995, com o início do governo Fernando Henrique Cardoso e a criação do Programa Nacional de Desestatização (PND), começaram as privatizações de grande parte das empresas do setor de eletricidade no Brasil, especialmente as distribuidoras. “A participação do capital estrangeiro foi bastante significativa no período 1995-2002, atingindo 53% do total arrecadado com todas as desestatizações realizadas no Brasil” (BNDES, 2002, p.15).

Para Goldemberg e Lucon (2007, p.14):

[...] A desestatização do setor elétrico foi apenas parcialmente realizada: ocorreu em cerca 70% da capacidade de distribuição, mas em apenas 30% da geração. Isso levou a um colapso parcial do planejamento e à crise do “apagão” de 2001, uma vez que os investidores privados preocupados com incertezas regulatórias se mantiveram arredios a novos investimentos. A partir de 2000, um novo modelo foi adotado pelo governo federal a fim de tentar reduzir o risco dos investidores.

De acordo com Costa (2006), a ineficiência do sistema de privatização instituído na década de 1990, bem como as dificuldades do setor em alavancar investimentos, motivou o novo governo eleito em 2002 a discutir um novo marco regulatório com os principais agentes do setor. Em meio à crise pela qual o setor elétrico vivenciava, que culminou no “apagão” de 2001, o governo foi forçado a reestruturar o setor de forma prioritária.

Conforme aponta Silva (2011, p.89): [...]“o governo percebeu que os níveis dos reservatórios hídricos das grandes usinas estavam significativamente baixos e, sendo o Brasil um país com geração predominantemente hídrica no período, a falta de energia elétrica deveria

ocorrer em um curto prazo”.

Com este racionamento, consequentemente houve uma significativa redução no consumo de energia elétrica no país, o que levou à redução das receitas financeiras das empresas do setor. Mantendo-se os custos e com receitas reduzidas, as empresas também começaram a enfrentar uma crise. Por isso, o governo estabeleceu o Acordo Geral do Setor Elétrico, que visava o reequilíbrio financeiro dos contratos de concessão utilizando uma Recomposição Tarifária Extraordinária (RTE). Dessa forma, foram reajustadas as tarifas de consumo, tanto residenciais como industriais.

Após este período crítico, em 2004 a Lei 10.848 instituiu o novo modelo do setor elétrico, cujos objetivos fundamentais são baseados nos seguinte tripé:

- Promover a modicidade tarifária, ou seja, menor custo para o consumidor;
- Garantir a segurança energética;
- Estabilidade do marco regulatório.

Segundo Pinto Jr. et al. (2007), depois das mudanças ocorridas em 2004, a situação do setor elétrico brasileiro ficou mais estável, possibilitando um foco mais definido com relação aos seus problemas estruturais e desafios. Além disso, o novo modelo institucional do setor buscou ferramentas para coordenar de forma mais eficiente o mercado elétrico brasileiro, especialmente dentro do contexto mais amplo de investimentos em infra-estrutura do país.

No entanto, o ano de 2012 foi um ano marcante para o setor elétrico brasileiro, quando entrou em pauta a discussão da renovação das concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que começariam a vencer a partir de 2015 (em 1995 a Lei nº 9.074 prorrogou por 20 anos as concessões de serviços de eletricidade cujo prazo de 35 anos venceria naquele ano). Além das renovações, a Medida Provisória 579/2012, que em janeiro de 2013 transformou-se na Lei nº 12.783, dispôs sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária.

Para Castro et.al. (2013, p.16):

[...] Por meio da MP 579, o governo optou pela alternativa da renovação das concessões, mas dentro de uma postura estritamente legalista: a reversão dos ativos para a União com a opção das atuais concessionárias manterem a concessão dos ativos, desde que aceitassem a antecipação do vencimento do contrato e passagem à condição simples operadores e mantenedores das usinas hidroelétricas, passando a receber uma tarifa pelo custeio destas atividades.

Os impactos deste novo marco regulatório foram diversos, mas especialmente o impacto financeiro para as geradoras de energia elétrica foi mais acentuado, já que o governo procurou reduzir o custo da eletricidade, atuando diretamente sobre dois componentes de custos da estrutura tarifária: encargos e indústria de energia elétrica. Para Losekann (2012, p.1):

[...] Uma primeira implicação da MP 579 é que parcela da capacidade de geração brasileira deixa de ter seu preço definido através de mercado e passa a ser regulado. As usinas de geração que optarem pela prorrogação das concessões passam a ter sua tarifa determinada pela ANEEL. Ou seja, ao optar por prorrogar as concessões sem recorrer a licitações, o governo brasileiro retomou a regulação tarifária na atividade de geração, revertendo uma tendência de liberalização que parecia consolidada no setor.

Ou seja, as empresas de geração e transmissão de energia elétrica começaram a figurar apenas como prestadoras de serviço, já que seus ativos passaram a pertencer a União, além de terem perdido o direito de comercializar a energia ao preço de mercado. Segundo Castro et al. (2013, p.17) a redução foi expressiva: “saindo de uma posição da ordem de R\$ 95,00 por MWh para valores inferiores a R\$ 30,00 por MWh”.

Com isso, as empresas do setor elétrico listadas em bolsa, que até então apresentavam forte geração de caixa e, conseqüentemente eram grandes distribuidoras de dividendos, perderam bastante valor de mercado ao longo dos anos de 2012 e 2013: “[...] as ações da Eletrobrás perderam metade do valor (baixa de 49,7%), enquanto as ações da CESP caíram 40% e as da CEMIG 33% [...]” (Castro et al., 2013, p.17). Além disso, a solidez do setor elétrico ficou comprometida pela insegurança jurídica que surgiu neste contexto.

Por outro lado, com o passar do tempo, a tendência é que a percepção do risco regulatório em relação aos potenciais investimentos novos seja diluída, à medida que o governo consiga assegurar que as mudanças no modelo do setor elétrico se limitem a empreendimentos já amortizados. Um indicador que demonstra que esta percepção já está se consolidando é o sucesso dos leilões de energia nova e de transmissão realizados em 2012 e 2013, mesmo após a polêmica MP 579.

2.2 A matriz elétrica mundial

Em termos globais, a produção de eletricidade em 2011 alcançou 22.126 TWh, sendo 16% de origem hidrelétrica, conforme figura 3 (IEA, 2103). A predominância do carvão como principal fonte de geração elétrica é impulsionada pela China, que em 2011 foi responsável por 40,7% da geração a carvão do mundo todo, com 3.723 TWh gerados. Em segundo lugar estão os Estados Unidos, responsáveis por 20,5% de toda energia elétrica produzida a partir do carvão.

*Inclui geotermal, solar, eólica, biomassa e resíduos.

Figura 3 – Geração de eletricidade no mundo em 2011, por fonte.

Fonte: IEA, 2013

Historicamente a participação das fontes fósseis na matriz elétrica mundial é majoritária, sendo liderada pelo carvão, seguido do gás natural. Pode-se dizer que a base da matriz elétrica global é de origem fóssil, já que sua participação representa 80% de toda eletricidade gerada no mundo.

A tabela 1 mostra os dez maiores produtores mundiais de energia elétrica a partir de fontes fósseis no ano de 2011, de acordo com a Agência Internacional de Energia. A China lidera o ranking dos geradores a partir de carvão, o Japão o de óleo combustível, e 20% do volume de gás natural utilizado para geração de eletricidade no mundo é de responsabilidade dos Estados Unidos (IEA, 2013).

Tabela 1 – Dez maiores geradores de eletricidade a partir de fontes fósseis em 2011

Carvão	TWh	Óleo	TWh	Gás Natural	TWh
China	3.723	Japão	153	EUA	1.045
EUA	1.875	Arábia Saudita	142	Rússia	519
Índia	715	Irã	67	Japão	374
Japão	281	México	48	Irã	160
Alemanha	272	Indonésia	42	México	156
África do Sul	243	EUA	40	Reino Unido	147
Coreia	225	Kwait	36	Itália	145
Austrália	173	Paquistão	34	Egito	117
Rússia	164	Rússia	27	Coreia	116
Polónia	141	Egito	25	Índia	109
Resto do mundo	1.332	Resto do mundo	444	Resto do mundo	1.964
Mundo	9.144	Mundo	1.058	Mundo	4.852

Fonte: IEA, 2013

Ao longo dos anos, a energia nuclear foi ganhando espaço na matriz elétrica mundial, ao passo que as hidrelétricas tiveram sua participação diminuída, como mostra a figura 4. É interessante perceber que as fontes alternativas de energia elétrica também aumentaram sua participação na matriz global ao longo dos últimos quarenta anos.

Na década de 1970 as fontes alternativas como a eólica, solar e biomassa possuíam uma representatividade muito pequena no total de eletricidade gerada, porém em 2011 elas tiveram quase a mesma participação do óleo combustível. Este, por sua vez, chegou a representar 25% do total da geração e por muitos anos teve uma grande importância na matriz elétrica mundial, e em 2011 não passou de 5%.

Também é importante observar o crescimento expressivo da participação do gás natural, que foi aos poucos substituindo o petróleo na geração termelétrica, liderado principalmente pelos Estados Unidos, Rússia e Japão (IEA, 2013).

Vale destacar o incremento da participação da fonte nuclear na matriz mundial no período de 1973 a 2011 (Figura 4). As perspectivas da energia nuclear tornaram-se mais relevantes a partir da Crise do Petróleo na década de 1970. O acidente de Chernobyl causou uma drástica parada nos investimentos em centrais nucleares, que foram retomados de forma bastante consistente no início do século XXI em função da aceleração dos preços do petróleo.

Figura 4 – Geração de eletricidade do mundo, por fonte, em 1973 e 2011, respectivamente
 Fonte: IEA, 2013

Com relação às fontes renováveis, as hidrelétricas representam praticamente a totalidade do percentual gerado no mundo, ou seja, 16% de um total de 20%. A China é a principal geradora de eletricidade a partir de hidrelétricas, com quase 20% do total gerado no mundo, no entanto, esta fonte representa apenas 15% do total de geração de hidroeletricidade interno do país, conforme tabela 2.

Com o desenvolvimento econômico acelerado da China, especialmente nas três últimas décadas, a demanda por energia elétrica no país aumentou significativamente, crescendo a uma taxa média anual de 9,02%, entre 1990 e 2005, e em 2007 gerou 3.277 TWh (BP, 2008). Isto faz com que o país apareça sempre no topo dos *rankings* do setor elétrico, seja pela capacidade instalada ou pela geração de eletricidade e, conseqüentemente, pelas suas emissões de GEE, já que sua matriz elétrica é muito dependente do carvão.

O fato de a matriz elétrica mundial ser predominantemente térmica, de origem fóssil ocasiona duas grandes preocupações: (i) uma oferta de energia elétrica poluidora e (ii) uma forte exposição à volatilidade do preço internacional do petróleo. Juntamente com estes problemas, há um agravante, que é a concentração dos recursos fósseis em poucos países, gerando uma dependência energética por parte da União Européia, EUA e Japão, por exemplo, que são os maiores importadores de petróleo e gás natural do mundo.

Para Castro et al. (2011, p.14):

[...] Esta característica geoeconômica coloca a variável do suprimento energético dentro de um contexto estratégico de segurança energética que explica, em grande medida, a forte instabilidade política do Oriente Médio onde estão localizadas as principais reservas mundiais destes insumos.

Tabela 2 – Dez maiores produtores de hidroeletricidade, capacidade instalada e maiores produtores internos de hidroeletricidade do mundo, em 2011.

Produtores	TWh	%	Capacidade Instalada	GW	Top 10 Produtores	% hidro do total de geração doméstica
China	699	19,6%	China	194	Noruega	95,3%
Brasil	428	12,0%	EUA	101	Brasil	80,6%
Canadá	376	10,5%	Brazil	81	Venezuela	68,6%
EUA	345	9,7%	Canadá	75	Canadá	59,0%
Russia	168	4,7%	Japão	48	Suécia	44,3%
India	131	3,7%	Russia	47	Russia	15,9%
Noruega	122	3,4%	India	38	China	14,8%
Japão	92	2,6%	Noruega	30	India	12,4%
Venezuela	84	2,3%	França	25	Japão	8,7%
Suécia	67	1,9%	Itália	22	EUA	7,9%
Resto do mundo	1.054	29,6%	Resto do mundo	338	Resto do mundo	13,6%
Mundo	3.566	100%	Mundo	999	Mundo	100%

Fonte: IEA, 2013

Contudo, os impactos ambientais do setor energético não se restringem somente às alterações climáticas, mesmo que estes sejam os mais relevantes atualmente devido ao seu caráter global. Também é preciso considerar os impactos locais e regionais de cada fonte energética. A Tabela 3 esquematiza as informações sobre os impactos ambientais originados por diferentes fontes de geração de energia elétrica.

Este quadro indica que, em condições normais de funcionamento, a energia nuclear é aquela que apresenta os menores impactos ambientais. Porém, no cenário onde ocorre um acidente, os impactos ambientais atingem proporções imprevisíveis, como no Japão com o acidente de Fukushima em 2011.

Tabela 3 – Impactos Socioambientais da Geração de Energia Elétrica

Fontes	Impactos Socioambientais
Termoeletricidade	Emissão de Gases do Efeito Estufa Emissão de Material Particulado Emissão de SOx Emissão de NOx
Hidroeletricidade	Alagamento para Construção de Barragens Alteração nos Regimes dos Rios a Jusante Assoreamento a Montante da Barragem Barreiras à Migração dos Peixes Proliferação de Algas Perda de Patrimônio Histórico, Arqueológico e Turístico Remoção das Populações Locais
Bioeletricidade	Perda da Biodiversidade Poluição Atmosférica Mortandade de Peixes Contaminação de Aquíferos Freáticos
Energia Eólica	Poluição Sonora Poluição Estética Morte de Pássaros
Energia Solar	Acúmulo de Resíduos Tóxicos no Ambiente
PCH	Interferência na Fauna e Flora locais Conflitos com o turismo
Energia Nuclear	Risco de Acidentes Incertezas no Gerenciamento dos Resíduos

Fonte: Goldemberg e Lucon, 2007

Uma análise feita pela Agência Internacional de Energia em 2004 mostra que dentre as fontes termelétricas, as movidas a gás natural são menos poluentes que as a óleo combustível, conforme figura 5. Estas, por sua vez, menos poluentes que as termelétricas a carvão. Ou seja, em relação às emissões de GEE, o carvão é a pior escolha.

Figura 5 – Emissões de gases de efeito estufa (gramas de Carbono equivalente/KWh)

Fonte: IEA, 2004

Com relação ao aumento da oferta de energia elétrica mundial, os países desenvolvidos terão aumentos marginais na demanda de energia elétrica, já que possuem patamares de consumo bastante elevados, baixas elasticidades renda da demanda de energia elétrica e pequeno crescimento do PIB, em especial depois da crise de 2008.

No entanto, existem compromissos assumidos para a redução dos seus níveis absolutos de emissões de gases do efeito estufa. Tais compromissos tornam necessária a redução da utilização de combustíveis fósseis. Como o setor elétrico é regulado, logo, ele acaba se tornando um alvo prioritário das políticas de redução de emissões no mundo todo.

Os países em vias de desenvolvimento possuem reduzidos níveis de consumo de energia em relação às nações desenvolvidas. Por isso, é de se esperar que o consumo de energia cresça de forma significativa nos próximos anos, especialmente na Índia e na China.

2.3 A matriz elétrica brasileira

Historicamente a matriz elétrica brasileira, ao contrário do restante do mundo, é predominantemente renovável, conforme pode ser observado na figura 6. No ano de 2012, somente a hidroeletricidade representou 76,9% da oferta interna de eletricidade (considerando 6,8% de importação do Paraguai, sócio do Brasil na hidrelétrica de Itaipu). Se forem consideradas as outras fontes renováveis, biomassa e eólica, este volume passa dos 85% da oferta.

Notas:

¹ Inclui gás de coqueria

² Inclui importação de eletricidade

³ Biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

Figura 6 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2012.

Fonte: EPE, 2013a.

O sistema elétrico brasileiro é nacionalmente interligado, sendo composto por empresas das cinco regiões geográficas do país. Porém, na região Norte existem alguns sistemas isolados fora do SIN – Sistema Interligado Nacional, devido às dificuldades logísticas.

O Brasil apresenta a terceira maior capacidade instalada de energia hidrelétrica no mundo, 81 GW, atrás da China, que apesar de liderar este ranking, tem a fonte termelétrica como a principal geradora de eletricidade, representando 79% de seu total, e dos Estados Unidos, que possui 101 GW de capacidade hidrelétrica instalada (EIA, 2013).

Em termos de comparação, a participação de fontes renováveis na geração de eletricidade do Brasil é a segunda maior do mundo, perdendo apenas para a Noruega. A figura 7 ilustra esta realidade, comparando o Brasil com países como China, Índia e Estados Unidos, grandes geradores de eletricidade e também fortes emissores de GEE.

Figura 7– Participação de fontes renováveis no total de geração de eletricidade em 2011.
Fonte: EIA, 2012.

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2013), em 2012, o Brasil contou com um aumento de aproximadamente 3,8 GW em sua capacidade instalada, fazendo com que o somatório das centrais de geração de energia elétrica alcançasse 120.973 MW, incluindo as centrais de serviço público e as autoprodutoras.

Deste total, o acréscimo em centrais hidrelétricas correspondeu a 47,8%, enquanto as centrais térmicas responderam por 40% da capacidade adicionada. Já as usinas eólicas foram responsáveis pelos 12,2% restantes de aumento do *grid* nacional (EPE, 2013a).

Existe uma correlação direta entre a geração de energia e o PIB, conforme já exposto anteriormente. Em 2012, o Brasil gerou 552,5 TWh de energia elétrica, o que correspondeu a 2,60% da energia gerada em todo mundo (IEA, 2012), e neste mesmo ano, o PIB brasileiro representou 3,1% do PIB global (BANCO MUNDIAL, 2013).

Em termos de dimensão e diversificação, o parque gerador brasileiro está atualmente dividido da seguinte forma: 1.086 usinas hidrelétricas, 1.767 termelétricas, 2 usinas termonucleares, 104 eólicas e 35 usinas solares fotovoltaicas (ANEEL, 2013).⁶

Apesar destas características, em sua maioria positivas, o setor elétrico brasileiro passou por uma forte crise em 2001, quando o nível dos reservatórios baixou consideravelmente, devido à diminuição das chuvas e à falta de investimentos na área de geração e transmissão de energia elétrica.

Com o intuito de minimizar os efeitos da crise elétrica e reduzir a dependência da fonte hídrica, o governo brasileiro criou diversas iniciativas. Uma delas foi o Programa Prioritário de Termoeletricidade (PPT) lançado no ano 2000, cujo objetivo era a instalação de 37 termelétricas com 113.926 MW até o ano de 2004.

Entretanto, o esforço não atingiu os objetivos desejados, e apenas algumas termelétricas foram construídas. Os principais motivos do fracasso do PPT tem origem na inexistência de logística adequada para transporte do gás e na ausência de subsídios necessários diante do custo muito mais elevado da termoeletricidade.

Alguns anos depois houve outra decisão estratégica importante no tocante ao planejamento energético de curto e médio prazo: a tentativa de diversificação da matriz elétrica, a partir do Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), em 2004. O foco do Programa era a instalação de 3,3 GW, até o ano de 2008, de fontes não convencionais como as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), eólicas e usinas de biomassa (bagaço de cana, cavaco de madeira e resíduos). No entanto, apenas 2,6 GW foram instalados até 2011, ou seja, menos do que o governo esperava e num prazo muito mais longo.

Infelizmente, assim como o PPT, o PROINFA não teve o sucesso esperado em relação à capacidade instalada e, o sistema elétrico brasileiro continuou correndo risco de falta de energia, além de permanecer dependente da fonte hídrica. Um dos aspectos que contribuiu para o não sucesso do PROINFA foi o baixo valor de compra dessa energia no leilão, que para os investidores tornou difícil viabilizar os projetos. Além disso, um grande obstáculo à época foi a dificuldade de cumprir a obrigação do índice mínimo de 60% de nacionalização dos componentes para as centrais eólicas. Praticamente não havia fornecedor local para suprir a indústria que deveria nascer e crescer.

⁶ Posição em 18/11/2013.

Após este período de tentativas e incertezas, em 2005 foi realizado o primeiro leilão de energia nova, incentivando a construção de novas usinas a partir da concorrência entre consórcios e empresas. Ao definir o preço dos contratos de fornecimento e a participação das fontes de energia que serão utilizadas, os leilões exercem influência direta sobre o valor das tarifas pagas pelos consumidores e também sobre a intensidade das emissões de gases de efeito estufa da matriz elétrica do país.

Nesse sentido, não se pode deixar de citar os leilões de energia nova de 2007 e 2008, onde a maior parte da energia contratada foi a de termelétricas a óleo combustível/diesel e gás natural. Os efeitos dessa escolha serão percebidos entre os anos de 2011 e 2015, quando estas usinas entrarão em operação. Além de aumentar o custo da energia para os consumidores finais, durante este período, as emissões do setor elétrico poderão alcançar volumes altos, caso as usinas sejam chamadas a despachar energia.

Em contrapartida, presume-se que o governo percebeu a necessidade de intervir para que as fontes fósseis não aumentassem sua penetração na matriz elétrica e, portanto, nos últimos leilões (2009, 2010, 2011, 2012 e 2013) predominaram as fontes renováveis: PCH, UHE, Eólica e Biomassa, como mostra a figura 8.

Vale destacar a importância e a peculiaridade dos últimos leilões, A-5 e A-3 de 2013, quando apenas fontes renováveis foram contratadas. Pela primeira vez a biomassa de cavaco de madeira foi negociada em leilão, com 300 MW de potência vendida no 1º leilão A-5/2013 (EPE, 2013b). E no leilão de energia nova A-3/2013, realizado em novembro de 2013, apenas a fonte eólica foi vencedora, com 39 projetos sendo viabilizados, nas regiões Nordeste e Sul do país. No entanto, é importante ressaltar que neste mesmo leilão, pela primeira vez, a fonte solar fotovoltaica participou de um leilão regulado, com 813 MW de potência instalada habilitados.

No último leilão de energia nova realizado em dezembro de 2013, o 2º leilão A-5/2013 apenas fontes renováveis foram negociadas, sendo contratados 3.507 MW através de 119 empreendimentos de geração. Deste total, 97 projetos são de origem eólica, 16 PCHs, 5 termelétricas a biomassa e 1 UHE (EPE, 2013c).

A predominância das eólicas nos últimos leilões de energia nova mostra que a geração através dos ventos é atualmente a fonte mais competitiva de geração de energia elétrica no país. Para o atual presidente da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Mauricio Tolmasquim: “este é o momento da eólica, não há dúvidas, mas em um cenário de médio prazo a solar terá o seu

espaço. O preço está caindo e o Brasil possui uma ótima insolação, então a tendência é a solar fotovoltaica ficar naturalmente mais competitiva” (EPE, 2013a, p.2).

Figura 8 – Potência vendida nos últimos leilões de energia nova, em MW.

Fonte: Elaboração Própria. (CCEE, 2013)

Desde a configuração do “novo modelo do setor”, faz parte do planejamento energético do país que determinada parcela da matriz elétrica brasileira seja composta por termelétricas para garantir a segurança do sistema com menor custo global (EPE, 2007). Dependendo apenas de fontes renováveis como a hidrelétrica, eólica ou biomassa, pode gerar a necessidade de maior capacidade instalada com maiores reservatórios e modelos de armazenagem de energia, o que não é uma estratégia sustentável para um país das dimensões e potenciais do Brasil, que pode e deve manter sua matriz diversificada.

Segundo Marcovitch et al. (2010, p.30):

[...] O impacto mais relevante é a perda de confiabilidade na geração de hidroeletricidade, por uma combinação de efeitos climáticos desfavoráveis com uma grande dependência desse recurso no Brasil. Projeta-se maior vulnerabilidade no norte e no nordeste, as regiões menos desenvolvidas do país. (...) A confiabilidade do sistema de geração de eletricidade dependerá de uma capacidade instalada maior, que poderá ficar ociosa grande parte do tempo. O setor energético deve buscar a flexibilização de opções de geração, abrangendo não só aspectos operacionais e institucionais, mas também a diversificação da matriz para reduzir a dependência de uma única fonte de energia. além

da geração a gás natural, a energia eólica e a geração a bagaço de cana podem ser alternativas interessantes, ainda que a geração a gás tenha a vantagem de apresentar maior flexibilidade operacional.

Prova disto é que no final de 2012 os níveis dos reservatórios atingiram um patamar muito baixo, resultante dos seguintes fatores: (i) chuvas abaixo da média histórica, reduzindo a capacidade de armazenamento dos reservatórios (figura9); (ii) crescimento do consumo de energia elétrica próximo de 4% (mesmo com baixo crescimento do PIB, que em 2012 foi de 0,9%) e (iii) possíveis restrições e ineficiências no parque energético, especialmente na transmissão.

Figura 9 – Energia Natural Afluyente no Brasil de 2000 a 2013

Fonte: Elaboração própria (ONS, 2013)

Com o aumento da capacidade das usinas térmicas e a ampliação das linhas de transmissão, o Brasil está menos dependente das hidrelétricas do que no passado. Na tabela 4 é possível observar os empreendimentos de geração de eletricidade em operação no ano de 2013 e a predominância da fonte hidroelétrica, tanto em número de usinas como em capacidade instalada. Também merece destaque a relevância da fonte biomassa, representando mais de 8%

da capacidade instalada em operação no país.

Tabela 4 – Empreendimentos em operação no Brasil em 2013

Empreendimentos em Operação			
Tipo	Capacidade Instalada		%
	N.º de Usinas	(kW)	
Hidro	1.086	85.655.258	63,95
Gas	151	13.797.572	10,30
Petróleo	1.127	7.456.308	5,57
Carvão	13	3.389.465	2,53
Biomassa	473	11.336.962	8,46
Nuclear	2	1.990.000	1,49
Eólica	104	2.140.372	1,60
Importação		8.170.000	6,10
Total	2.991	133.943.067	100

Fonte: ANEEL (Posição em 19/11/2013).

Em termos de capacidade instalada, em 2012 o país possuía 120.973 MW, dos quais, 84.294 MW são de origem hidrelétrica, 32.778 MW termelétricas, 1.894 MW eólica e 2.007 MW nuclear, conforme ilustra a figura 10 (BEN, 2013). Vale destacar o aumento expressivo de 86,3% na capacidade de geração térmica instalada, impulsionada principalmente pelo gás natural.

Pelas projeções oficiais do Ministério de Minas e Energia (MME), a inclinação da curva de capacidade instalada de origem térmica que aparece nos últimos dez anos, tende a diminuir de forma acentuada, considerando que desde 2009 apenas fontes renováveis tem sido contratada nos leilões de energia nova e a matriz elétrica brasileira tem buscado a diversificação.

No entanto, se o potencial de biomassa de fato se concretizar em eletricidade, poderá haver uma substituição apenas de insumo e não de fonte, ou seja, a capacidade instalada das térmicas continuará relevante, mas em vez de carvão e óleo combustível, haverá incremento de biomassa de cana e cavaco de madeira.

Figura 10 – Evolução da Capacidade Instalada de Geração Elétrica de 1974 a 2012

Fonte: EPE, 2013a.

No período de sete anos, entre 2005 e 2013, o Brasil realizou 50 leilões, sendo 17 de energia nova, contratando aproximadamente 40.615 MW em nova capacidade para a entrada em operação no decênio 2008 – 2018. Do total contratado nestes leilões, 64% tem origem hidrelétrica. As termelétricas a carvão, óleo combustível e gás natural representam 22%, as eólicas correspondem a 11% e a biomassa de cavaco de madeira e de bagaço de cana 3%.

É possível notar que a expansão de energia no Brasil através dos leilões viabilizou a contratação de fontes pouco competitivas até então, e que nos últimos anos tem liderado as vendas de energia, como as usinas eólicas e a biomassa. A curva de aprendizado do setor mostra-se cada vez mais madura e a economia de escala tem permitido a competitividade dos novos projetos.

Na tabela 5 verifica-se que dos 152 empreendimentos elétricos em construção no país em 2013, quase 70% é de origem hidrelétrica. Também é possível observar o elevado número de usinas eólicas, cuja potência corresponde por mais de 11% do total em construção atualmente e já ultrapassa a fonte termelétrica. Apenas em 2013 foram contratados 4.711 MW em novas usinas eólicas, que entrarão em operação entre os anos de 2016 e 2018.

Tabela 5 – Empreendimentos em construção no Brasil em 2013

Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	1	848	0
Eólica	92	2.316.066	11,52
Pequena Central Hidrelétrica	32	338.961	1,69
Hidrelétrica	7	14.060.800	69,95
Termelétrica	19	2.034.020	10,12
Nuclear	1	1.350.000	6,72
Total	152	20.100.695	100

Fonte: Elaboração própria (ANEEL – Posição em 19/11/2013).

2.4 As Projeções para o setor elétrico brasileiro até 2021

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) faz seu planejamento da oferta de energia considerando as projeções de crescimento demográfico, e da atividade econômica (utilizando principalmente o indicador do PIB). Após realizar o diagnóstico dos potenciais energéticos do país, o governo elabora dois planos de energia, um de curto e outro de longo prazo. O plano de curto prazo considera um horizonte de dez anos, o chamado Plano Decenal de Energia (PDE). O mais longo, o Plano Nacional de Energia (PNE) projeta os próximos vinte e cinco anos.

A principal diferença entre os Planos é que o de curto prazo tem o foco nas ações necessárias para viabilizar a expansão da oferta de energia, além de ser também o documento oficial utilizado como “Plano setorial de mitigação e adaptação às mudanças climáticas”, conforme estabelecido no Decreto 7.390 de 2010. É com base no planejamento decenal que o governo orienta e dá subsídio aos leilões de compra de energia de novos empreendimentos de geração e transmissão.

Já o Plano Nacional de Energia tem como objetivo definir estratégias para expansão da oferta de energia, considerando diferentes cenários de evolução da demanda. Uma das metas do governo brasileiro é a expansão da matriz elétrica utilizando fontes menos poluidoras.

No último PDE divulgado até o momento, o Plano Decenal de Expansão de Energia – 2012-2021, está prevista maior participação das fontes renováveis na matriz elétrica a partir de

2015, quando entrarão em operação diversas usinas contratadas nos leilões de 2009 em diante. Segundo este planejamento, a fonte hidrelétrica e as fontes alternativas conseguirão suprir todo o aumento de demanda de energia elétrica no país até 2021 (EPE, 2012b).

A evolução da capacidade instalada para diferentes fontes de geração até o ano 2021 (tabela 6) mostra que haverá uma priorização das fontes renováveis no horizonte do planejamento, sendo indicada, apenas no último ano do estudo, expansão de termelétricas movidas a gás natural.

Observa-se que a expansão de outras fontes renováveis de energia – biomassa, PCH e eólica – faz a sua participação no parque de geração do SIN passar de 16%, em 2015, para 20%, em 2021, distribuídos basicamente entre as regiões Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Sul. Em contrapartida, as usinas termelétricas perdem participação perante as demais fontes, caindo de 18% para 14%, no ano final (EPE, 2012b).

Com relação a participação de hidrelétricas de grande porte, houve uma redução da sua participação em apenas 1% ao longo do período decenal, em relação ao montante total de oferta de geração, apesar do aumento significativo de capacidade instalada, de aproximadamente 23 GW. As usinas nucleares manterão sua representatividade, variando de 1% a cerca de 2% do SIN, percentual assegurado com a entrada em operação da usina de Angra 3, prevista para entrar em operação em 2016.

Tabela 6 – Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (MW)

Fonte	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Renováveis	107.230	111.118	116.553	122.616	128.214	134.151	139.172	144.889	152.952
Hidro	81.517	83.184	87.576	92.352	97.337	101.223	103.476	106.499	111.723
Importação	6.120	6.032	5.935	5.829	5.712	5.583	5.441	5.285	5.114
PCH	5.221	5.247	5.388	5.448	5.578	5.858	6.168	6.688	7.098
Biomassa	9.164	9.504	9.554	9.604	9.704	10.454	11.404	12.304	13.454
Eólica	5.208	7.151	8.100	9.383	9.883	11.033	12.683	14.113	15.563
Não Renováveis	20.766	27.351	27.351	28.756	28.756	28.756	28.756	28.756	29.456
Urânio	2.007	2.007	2.007	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412
Gás Natural	11.362	12.055	12.055	12.055	12.402	12.402	12.402	12.402	13.102
Carvão	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205
Óleo Combustível	4.739	8.002	8.002	8.002	8.002	8.002	8.002	8.002	8.002
Óleo Diesel	1.395	1.395	1.395	1.395	1.048	1.048	1.048	1.048	1.048
Gás de Processo	687	687	687	687	687	687	687	687	687
TOTAL	130.625	138.469	143.904	151.372	156.970	162.907	167.928	173.645	182.408

Fonte: EPE, 2012b.

Em contrapartida, não se pode ignorar o fato de que, com a exploração do Pré-Sal, tem-se a possibilidade de aproveitamento de grandes volumes de gás natural (gás associado⁷ à produção). E caso isto se viabilize, pode ser que haja uma expansão da geração termelétrica a gás, aumentando assim a participação desta fonte na matriz elétrica. Por enquanto, ainda não existem soluções competitivas para o aproveitamento deste gás, e sendo assim, há ainda uma incerteza sobre a participação efetiva de tal combustível na geração termelétrica brasileira.

Segundo consta no PDE 2021 (EPE, 2012b, p15):

[...] Reconhece-se, por outro lado, dada a possibilidade de oferta de grandes volumes de gás natural associado à produção petrolífera do Pré-Sal, que a expansão da geração termelétrica a gás poderia vir a ocupar um maior espaço na matriz energética, principalmente na eventualidade de dificuldades para o licenciamento ambiental de usinas hidrelétricas e de linhas de transmissão. Essa forma de expansão, contemplada neste Plano apenas no final do período decenal, poderá vir a ser considerada nos próximos ciclos do planejamento decenal de forma mais participativa, desde que as condições que venham a ser estabelecidas para o fornecimento do gás possibilitem a competitividade econômica da energia produzida.

Desde o início da década de 1980 a produção de gás natural no Brasil vem crescendo de forma exponencial, devido, principalmente, à exploração da Bacia de Campos (figura 12). E se consideradas as recentes descobertas do Pré-Sal, o país apresenta uma forte vocação para se tornar um dos maiores produtores de gás do mundo. Segundo dados da ANP (2011), a média diária da produção interna de gás natural, em janeiro de 2011, alcançou o montante de 66,3 milhões de m³/dia.

Até o ano de 2009 a evolução das reservas de gás natural estava muito ligada às reservas de petróleo, devido à ocorrência do gás associado. No entanto, as novas descobertas de reservas de gás natural modificaram esta tendência, pois em sua maioria, são de gás não associado, ou seja, campos que produzem apenas gás, como na Bacia do Parnaíba, por exemplo.

As proporções da origem de cada gás começaram a se modificar em 2010 e tendem a continuar nesta direção. Em 2009, cerca de 80,3% do total da produção foi proveniente de gás associado e 19,7% de gás não-associado. Já no ano seguinte, estes números foram 75,4% e 24,6%, respectivamente.

⁷ Gás associado é aquele que, no reservatório, se encontra dissolvido no petróleo ou sob a forma de uma capa de gás. O gás natural produzido no Brasil é predominantemente (73%) de origem associada ao petróleo.

Figura 11 – Reservas provadas de gás natural – 1965 – 2010

Fonte: ANP, 2011

Estes dados indicam que o Brasil deverá com urgência, investir em soluções de tecnologia e logística se quiser usufruir deste recurso internamente e até mesmo exportá-lo. É fundamental criar uma eficiente infra-estrutura de escoamento da produção de gás oriunda tanto dos campos *offshore* como das bacias *onshore*.

O desafio é imenso e proporcional às dimensões do país. Além de existirem barreiras logísticas, não se pode ignorar os demorados e burocráticos processos de licenciamento ambiental e a falta de planejamento integrado dos recursos energéticos no Brasil.

Como base para este trabalho de pesquisa optou-se pela utilização das projeções do Plano Decenal de Expansão de Energia 2021, cujas premissas básicas adotadas foram as demográficas, macroeconômicas e setoriais. O principal motivo desta escolha é o fato de o PDE ser também o Plano setorial de mitigação e adaptação às mudanças climáticas para o setor de energia. Os principais indicadores econômicos do cenário de referência utilizado no PDE 2021 estão descritos na tabela 7.

Porém, como o PDE abrange o setor de energia como um todo, foi feito um recorte setorial e apenas as informações e projeções relacionadas ao setor elétrico são analisadas. Nesse caso, existem outras premissas importantes que foram consideradas no planejamento setorial, específicas do mercado de eletricidade, como por exemplo, a eficiência energética. A projeção do consumo total de energia elétrica resultou num crescimento do consumo per capita de eletricidade de 52% no período 2011-2021, além de uma pequena elevação da intensidade elétrica da economia.

Tabela 7 – Taxas de crescimento do nível de atividade (médias no período)

Indicadores Econômicos	Histórico		Projeção	
	2001-2005	2006-2010	2012-2016	2017-2021
PIB mundial (% a.a.)	3,7	3,6	4,1	3,9
Comércio mundial (% a.a.)	5,5	4,1	5,6	5,1
PIB nacional (% a.a.)	2,8	4,4	4,4	5

Fonte: EPE, 2012b

As projeções apontam que, do início de 2012 ao fim de 2021, a taxa média de crescimento do consumo na rede elétrica é de 4,2% ao ano, sendo a classe comercial a que apresenta maior expansão, seguida da residencial. A indústria reduzirá a sua participação no consumo de energia na rede, apresentando taxa de crescimento pouco inferior à média, conforme pode ser observado na tabela 8.

Tabela 8 – Brasil: Consumo de eletricidade na rede por classe (GWh)

Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outros	Total
2012	117.088	192.206	77.388	62.985	449.668
2016	140.053	225.262	96.617	72.609	534.541
2021	173.706	266.546	128.876	86.962	656.090
Período	Variação (% a.a.)				
2011-2016	4,6	4,2	5,6	2,6	4,3
2016-2021	4,4	3,4	5,9	3,7	4,2
2011-2021	4,5	3,8	5,8	3,1	4,2

Fonte: EPE, 2012b

Os investimentos previstos para atender à expansão da geração de energia elétrica no Brasil, no período compreendido entre 2012 e 2021, são da ordem de R\$ 213 bilhões. A maior parte destes investimentos refere-se às usinas planejadas, que somam R\$ 117,4 bilhões, dos quais 99% serão destinados a fontes renováveis e apenas 1% a usinas térmicas movidas a gás natural.

O montante a ser investido em usinas já autorizadas, entre elas, as usinas com contratos assinados nos leilões de energia nova, é da ordem de R\$ 95,8 bilhões, sendo 43% em hidrelétricas e 34% em outras fontes renováveis (PCH + biomassa + eólica), conforme mostra a tabela 9.

Tabela 9 – Estimativa de investimentos em geração de energia até 2021.

TIPO DE FONTE	Usinas contratadas e autorizadas		Usinas Planejadas		TOTAL	
	Bilhões R\$	%	Bilhões R\$	%	Bilhões R\$	%
HIDRO	40,9	43%	67,3	57%	108,2	51%
TERMELÉTRICA	21,6	23%	1,3	1%	22,9	11%
- Nuclear	6,2	7%	0	0%	6,2	3%
- Gás Natural	3,0	3%	1,3	1%	4,3	2%
- Carvão	2,4	3%	0	0%	2,4	1%
- Óleo Combustível/diesel	10,0	10%	0	0%	10	5%
PCH+BIOMASSA+EÓLICA	33,3	34%	48,8	42%	82,1	38%
TOTAL	95,8	100%	117,4	100%	213,2	100%

Fonte: EPE, 2012b

Percebe-se, então, a forte tendência do governo em (i) continuar fomentando as fontes renováveis de energia e ao mesmo tempo (ii) diversificar a matriz elétrica brasileira. Porém, não se deve ignorar que, dos 23% previstos para investimentos em termelétricas já contratadas e autorizadas, o maior volume está destinado para usinas a óleo combustível/diesel (10%), o que do ponto de vista ambiental é escolha mais poluente.

Apesar de o foco deste trabalho ser o PDE, é importante analisar também as projeções do Plano Nacional de Energia 2030, que além de projetar a demanda de energia, analisou os efeitos dos cenários de expansão da oferta em relação às emissões de gases de efeito estufa. Segundo o documento, em 2030 o Brasil precisará de três vezes mais energia elétrica do que precisou em 2005, ano base. Além disso, a participação das fontes renováveis será de 81,4%, conforme mostra a Figura 13 (EPE, 2007).

Apesar de estar prevista uma queda relativa da participação da fonte hidráulica, nota-se um aumento da penetração de outras fontes renováveis, como eólica, biomassa (bagaço de cana e outras). Também se espera o aumento da participação de combustíveis fósseis na matriz elétrica,

que passará de 7,8% para 12,9% até 2030, sendo o gás natural o principal combustível responsável por este aumento (EPE, 2007).

Figura 12 – Gráfico da Geração de energia elétrica por fonte no Brasil em 2005 e 2030.
Fonte: EPE, 2007.

Segundo Castro (2012, p.4):

O Brasil possui condições de manter uma expressiva participação de fontes renováveis em sua matriz energética de forma competitiva porque possui um grande potencial a ser explorado e tecnologias dominadas, sobretudo no que se refere à produção de etanol e de hidroeletricidade. Portanto, as diretrizes de exploração dos recursos do pré-sal devem ser compatíveis com a busca da manutenção de uma matriz energética com reduzida intensidade em carbono, especialmente porque isso tende a ser um diferencial competitivo da economia brasileira. Por outro lado, os gastos com fontes que ainda não estão maduras devem ser direcionados essencialmente a programas de pesquisa e desenvolvimento, porque a prioridade da política energética brasileira deve estar centrada nas fontes alternativas com a garantia da segurança do suprimento a custos competitivos, de forma a não comprometer o consistente ciclo de desenvolvimento econômico e social brasileiro.

Em relação ao potencial hidrelétrico, o Brasil tem, hoje, uma potência instalada de aproximadamente 78 mil MW e o potencial passível de aproveitamento é estimado em 126 mil MW, de acordo com o Plano Nacional de Energia 2030, mais de 70% dele localizados nas Bacias do Amazonas e do Tocantins/Araguaia. (EPE, 2007).

3 PANORAMA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO BRASIL E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Este capítulo almeja traçar um panorama das emissões de gases de efeito estufa no Brasil, com o intuito de analisar a origem das emissões, especialmente as do setor elétrico, assim como as respectivas projeções oficiais. Além disso, será discutido o conceito de mudanças climáticas, seus marcos históricos e consequências prováveis para a sociedade e economia.

Para isso, buscou-se revisar a bibliografia específica sobre o tema, utilizando, sobretudo, as fontes oficiais do governo brasileiro, assim como outras ferramentas disponíveis em fontes internacionais ligadas ao tema.

3.1 As mudanças climáticas e suas consequências

Ao discutir a mudança do clima, é fundamental primeiramente defini-la conceitualmente e, segundo Albuquerque (2012, p.3), há duas definições possíveis:

[...]a primeira, do IPCC, que diz que mudança climática é qualquer mudança no clima ao longo do tempo, por variabilidade natural ou consequência de atividade antrópica; e a segunda, do UNFCCC, onde mudança climática refere-se a qualquer mudança no clima que possa ser atribuída direta ou indiretamente à atividade antrópica que altere a composição atmosférica global e seja adicional à variabilidade climática natural, ambas observadas em um período de tempo comparável.

Com o acelerado desenvolvimento econômico e social a partir da utilização de combustíveis fósseis como base da matriz energética, especialmente depois da Revolução Industrial no século XIX, é possível observar que a concentração dos GEEs na atmosfera tem aumentado progressivamente. Tal fato contribui de forma significativa para o efeito estufa, que por sua vez resulta no aumento da temperatura média global da Terra.

Tem sido cada vez mais frequentes os casos de enchentes gravíssimas (além de outros fenômenos naturais drásticos) ao redor do mundo, com resultados desastrosos para diversas populações afetadas. Ainda não existem provas científicas de que tais fenômenos estejam sendo causados pelas mudanças no clima, mas o aumento e a constante ocorrência desses grandes eventos catastróficos são considerados como umas das principais evidências de que as mudanças climáticas são a principal causa de tais fenômenos (IPCC, 2007).

O aumento da temperatura da atmosfera implica na absorção de calor pelos oceanos, levando à expansão das águas e aumento do nível do mar. Nos últimos cem anos o nível do mar aumentou entre 10 e 20 cm (ALBRITTON, 2001). O IPCC prevê para 2080 um aumento do nível do mar de até 70 cm, em um cenário de emissões elevadas.

Isto pode resultar em alagamento de inúmeras áreas costeiras e ilhas ao redor do mundo, que já vêm sofrendo inundações nos últimos anos e em alguns casos já provoca a emigração de seus habitantes. Ecossistemas costeiros e oceânicos poderão ser afetados, como manguezais e recifes de corais alterando a produtividade biológica, disponibilidade de nutrientes e as funções dos ecossistemas. O avanço da água do mar também pode levar à contaminação da água doce inviabilizando atividades de produção e até a sobrevivência em algumas regiões (ALBUQUERQUE, 2012).

De fato as alterações no clima podem contribuir para que ocorram fenômenos como estes, pois alteram o regime de precipitação e, conseqüentemente o nível do mar. Além disso, o desmatamento potencializa as enchentes, já que uma floresta removida tem outras conseqüências como a perda de capacidade de absorção de água e umidade pela natureza (ALLEY, 2007).

Por ser uma ciência multidisciplinar, a ciência que estuda a mudança do clima é um dos maiores desafios enfrentados pela academia, governos e setor privado nas últimas décadas. Nesse sentido, no início dos anos 1990 houve uma forte mobilização mundial para discutir o tema e seus impactos. Durante a Conferência das Nações Unidas, Rio 92, teve origem o Regime Internacional de Mudanças Climáticas (RIMC), cujo objetivo foi promover a ação conjunta de Estados no combate ao aquecimento global através de medidas de mitigação e adaptação às suas conseqüências.

O principal desafio deste Regime é a redução das emissões de GEEs em nível global. Por isso, criou-se a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC), aberta a adesão dos Estados durante a Rio 92, que apesar de não ter estabelecido metas desde o início, sua criação pode ser considerada um passo diplomático para as negociações seguintes. A Convenção teve adesão de 192 países e seu objetivo principal é “a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático” (CQNUMC, Art.2).

Em 1994, com sua entrada de fato em vigor, a Convenção deu início ao processo de negociação utilizando uma estrutura de conferências anuais entre as partes. Tais reuniões são

conhecidas como Conferencia das Partes (COP) e são importantes espaços de negociação. Até o momento ocorreram dezenove reuniões da COP, sendo a última realizada na Polônia em novembro de 2013.

Outro marco muito importante para as discussões sobre mudanças climáticas foi a criação do Protocolo de Quioto, em 1997 no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, durante a COP-3 no Japão. O acordo foi ratificado somente em fevereiro de 2005, e no Brasil foi promulgado através do Decreto nº. 5.445, de 12 de maio de 2005. O principal objetivo do Protocolo era estabilizar a emissão de GEE na atmosfera a fim de tentar retardar os efeitos do aquecimento global.

Os principais gases de efeito estufa, considerados no Protocolo de Quioto, estão presentes na atmosfera de forma natural através dos ciclos biogeoquímicos, mas também podem surgir como consequência de determinadas atividades humanas, conforme pode ser observado na tabela 10.

Tabela 10 – Lista dos Gases de Efeito Estufa – Anexo A do Protocolo de Quioto

GEE	Principais fontes de emissões
CO ₂	Uso de combustíveis fósseis, deflorestação e alteração dos usos do solo
CH ₄	Produção e consumo de energia (incluindo biomassa), atividades agrícolas, aterros sanitários e águas residuais
N ₂ O	Uso de fertilizantes, produção de ácidos e queima de biomassa e combustíveis fósseis
Halogenados (HFCs, PFCs e SF ₆)	Indústria, refrigeração, aerossóis, propulsores, espumas expandidas e solventes
NF ₃	Indústria de semicondutores e fotovoltaica

Fonte: Albuquerque, 2012

Os países signatários do Protocolo foram divididos em dois grupos: Anexo I – países desenvolvidos e Não-Anexo I – países em desenvolvimento, onde se enquadra o Brasil. Cada grupo possuía compromissos e obrigações diferentes, de acordo com seus níveis de desenvolvimento econômico e potencial de crescimento para os próximos anos. Com isso, tanto a Convenção como o Protocolo formaram um forte arcabouço jurídico para o enfrentamento das

mudanças climáticas, ambos em nível internacional, mas com um importante legado interno, motivando o Estado brasileiro a atuar em relação ao tema.

Para orientar o cumprimento das metas de redução de emissões dos GEES dos países Anexo I, o Tratado de Quioto propôs três mecanismos de flexibilização: Implementação Conjunta (IC), Comércio de Emissões (CE) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os dois primeiros são apenas para os países desenvolvidos, já o MDL também pode ser usado pelos países Não-Anexo I. [...] “com relação à forma de operacionalização dos instrumentos, o CE baseia-se na comercialização de permissão de emissão, enquanto os outros dois instrumentos baseiam-se na elaboração de projetos que levem a uma redução de emissão” (ALBUQUERQUE, 2012, p.16).

A fim de fornecer à sociedade uma visão científica do conhecimento sobre as mudanças climáticas e os potenciais impactos ambientais e socioeconômicos, em 1988 foi criado o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), uma das instituições mais respeitadas no meio científico, cujos estudos tem sido utilizados como ferramenta de planejamento e gestão em nível global.

Após divulgação de muitos relatórios importantes para a comunidade científica, em 2007, o IPCC apresentou seu quarto relatório, indicando que desde a era pré-industrial até 2005, houve um aumento significativo no número de emissões dos principais gases, como dióxido de carbono, que saiu de 280 ppm para 379 ppm; metano, de 715 ppb para 1.774 ppb e óxido nitroso, de 270 ppb para 319 ppb. O documento ainda propõe uma redução de 25% a 40% das emissões a médio prazo em relação aos níveis de 1990.

A partir dos novos estudos e com o desenvolvimento do quarto relatório, o IPCC tem cada vez mais aperfeiçoado e aprofundando a compreensão das influências antrópicas no aquecimento global. Com isso, projeta-se um aquecimento de 0,2°C a cada dez anos pelas próximas duas décadas, segundo o Relatório Especial sobre Emissões do IPCC.

Tal documento também prevê que caso as emissões de GEEs continuem nas taxas atuais ou acima delas, aconteceria um aquecimento adicional que acarretaria várias outras mudanças no clima ao longo do século XXI, muito provavelmente⁸ maiores que as já observadas no século XX.

⁸ Define-se muito provavelmente como chance maior que 90% de ocorrer.

Segundo o Relatório de Desenvolvimento Econômico de 2010, feito pelo Banco Mundial, os países de renda elevada podem e devem reduzir suas pegadas de carbono. “[...] eles não podem continuar a utilizar uma parcela injusta e insustentável do patrimônio atmosférico” (BANCO MUNDIAL, 2010, p. 14).

Mas os países em desenvolvimento — cujas emissões médias *per capita* correspondem a um terço das emissões dos países de alta renda (figura 14) — precisam de expansões muito expressivas em energia, transporte, sistemas urbanos e produção agrícola. Se forem buscadas por meio de tecnologias tradicionais e intensas em carbono, essas tão necessárias expansões produzirão mais gases do efeito estufa e, portanto, mais mudanças climáticas.

Figura 13 – Pegadas desiguais: emissões per capita em países de renda baixa, média e alta, em 2005

Fonte: Banco Mundial, 2010.

Para conseguir a redução necessária de emissões será necessário transformar o sistema energético e a forma como a agricultura e o uso do solo e das florestas são gerenciadas (Figura 15). Mas essas transformações também devem incorporar as adaptações necessárias à mudança climática. Quer envolvam a decisão sobre qual colheita plantar ou quanto de energia hidrelétrica desenvolver, as decisões de gestão e investimento devem levar em conta as mudanças nas

condições hidrológicas e as temperaturas: em vez de se adaptarem idealmente ao clima do passado, as decisões terão que ser robustas para enfrentar a variedade de resultados climáticos que poderão surgir no futuro.

Figura 14 – Emissões globais de CO₂e por setor: energia, mas também agricultura e silvicultura são as principais fontes

Fonte: Banco Mundial, 2010 (apud IPCC, 2007)

A relação entre o crescimento econômico e a redução de emissões de GEEs é delicada e bastante complexa. Por isso, iniciativas como a busca pela eficiência energética, a gestão mais sólida da demanda e a implantação em grande escala das fontes de eletricidade existentes que emitem menos CO₂ poderiam produzir cerca de metade das reduções de emissões necessárias para colocar o mundo na direção da marca de 2°C (BANCO MUNDIAL, 2010, p. 14).

Para que isso aconteça é essencial a determinação apropriada dos preços de energia. O corte de subsídios e o aumento dos impostos de combustíveis são politicamente difíceis, mas a recente volatilidade nos preços internacionais do petróleo e da gasolina torna o momento oportuno para isso.

Na verdade, os países da Europa usaram o período da crise do petróleo pós- 1973 para adotar altas taxas de combustível. Como resultado, a demanda de combustível é cerca da metade do que provavelmente seria se os preços estivessem próximos daqueles praticados nos Estados Unidos⁹. Do mesmo modo, os preços da eletricidade são duas vezes mais elevados na Europa do que nos Estados Unidos e o consumo de eletricidade *per capita* é a metade¹⁰.

Os preços ajudam a explicar por que as emissões européias *per capita*, 10 toneladas de CO₂e, equivalem a menos da metade das emissões nos Estados Unidos, 23 toneladas (WRI, 2008). Os subsídios globais à energia nos países em desenvolvimento foram calculados em cerca de US\$ 310 bilhões em 2007¹¹, beneficiando desproporcionadamente as populações com renda mais elevada.

3.2 As emissões brasileiras de GEEs no contexto mundial

Em 2005, o Brasil foi o terceiro maior emissor de gases de efeito estufa do mundo, em volumes brutos, não *per capita* (WRI, 2005), sendo responsável pela emissão de 2,2 bilhões de tCO₂, o que representou 5% das emissões mundiais naquele ano, cuja importância relativa dos GEEs pode ser observada na figura 16.

Segundo estimativas do Banco de Dados de Emissões para a Pesquisa Atmosférica Global (*Emission Database for Global Atmospheric Research - EDGAR*), em 2012 as emissões globais de GEE atingiram 52 bilhões de toneladas de carbono equivalente (GtCO₂e). A participação do

⁹ Sterner 2007. O preço médio do combustível na área do Euro em 2007 era mais do que duas vezes o preço nos Estados Unidos (US\$ 1,54 o litro em oposição a US\$ 0,63 o litro). As variações em emissões não impulsionadas por

⁹ EA 2008; UNEP 2008. Um relatório de 2004 pela Agência Ambiental Européia (EEA 2004) avaliou subsídios europeus para energia em €30 bilhões em 2001, dois terços para combustíveis fósseis, o restante para fontes nucleares e renováveis.

renda podem ser obtidas pelos resíduos de uma regressão de emissões *per capita* em renda. Quando esses resíduos retornam ao preço da gasolina, a elasticidade é estimada em -0,5, significando que qualquer duplicação dos preços dos combustíveis reduziria pela metade a intensidade das emissões, mantendo a renda *per capita* constante.

¹⁰ Baseado no preço médio da eletricidade para domicílios em 2006-2007 da Agência de Informações sobre Energia dos EUA (<http://www.eia.doe.gov/emeu/international/elecprhi.html>)

¹¹ EA 2008; UNEP 2008. Um relatório de 2004 pela Agência Ambiental Européia (EEA 2004) avaliou subsídios europeus para energia em €30 bilhões em 2001, dois terços para combustíveis fósseis, o restante para fontes nucleares e renováveis.

Brasil neste montante foi de quase 3%, ou seja, 1,48 GtCO₂e, o que representou uma queda quando comparado com o ano de 2005 (EDGAR, 2013).

Porém, analisando o período compreendido entre os anos 1990 e 2012, o Brasil aumentou em 7% suas emissões brutas de GEE – no mesmo período, as emissões globais cresceram 37%. Em 2012, o país emitiu 1,48 bilhão CO₂e contra 1,38 bilhão t CO₂e, em 1990, sendo considerado, atualmente, o sétimo maior emissor do mundo, responsável por 2,8% da liberação global de gases poluentes na atmosfera (EDGAR, 2013).

Figura 15 – Contribuição dos GEE para as emissões totais brasileiras em 2005 (%)

Fonte: Brasil, 2010.

Tal fato coloca o país em posição de destaque no âmbito das negociações de acordos internacionais, assim como o impõe o dever de não abster-se da discussão sobre mudanças climáticas e continuar fomentando o uso de energias renováveis e a importância dos investimentos em eficiência energética.

Uma etapa importante na análise deste tema é a avaliação da participação setorial no total de emissões, o que possibilitará o entendimento das tendências de aumento das emissões de cada um, como também os respectivos potenciais de redução. Além das contribuições setoriais é importante analisar as perspectivas para redução ou captura de gases de efeito estufa, considerando os custos previstos e a relação custo x benefício para cada setor.

Com relação ao Brasil, o perfil das emissões é bastante diferente do padrão mundial, pois está primordialmente associado às mudanças no uso da terra, sobretudo, ao desmatamento, e não à geração de eletricidade, como é na maior parte do mundo.

O setor florestal brasileiro é o principal responsável por esta posição de destaque no *ranking* dos principais emissores mundiais: o desmatamento corresponde por quase 80% das emissões de GEEs brasileiras, como mostra a figura 17. Por ano, são emitidos no Brasil, 1,2 GtCO₂e na atmosfera através de queimadas para abertura de áreas agrícolas, de carvão para a indústria siderúrgica, ou para fornecer matéria-prima para produtos madeireiros (BRASIL, 2010).

Figura 16 – Participação por setor produtivo nas emissões de GEE globais e brasileiras em 2005.

Fonte: WRI, 2011 e BRASIL, 2010.

Ao comparar os dados de emissões de gases de efeito estufa no Brasil com dados socioeconômicos, como a população e o PIB, e comparando-os com dados de outros países, nota-

se que o nível de emissões no Brasil é bastante inferior aos dos países que mais contribuem com o aquecimento global.

Um cidadão norte americano emite cerca de 10 vezes mais GEE (20,5 tCO₂/habitante) que um cidadão brasileiro (2,0 tCO₂/habitante). Em termos de intensidade de carbono na economia, para produzir 1 milhão de dólares americanos de PIB, excluindo as emissões devido ao desmatamento, a China emite 1.052 tCO₂, os Estados Unidos emitem 473 tCO₂, e o Brasil emite 220 tCO₂ (EPE, 2011).

No âmbito da UNFCCC, o Brasil não está obrigado a fazer inventários e comunicações anuais de suas emissões, já que não faz parte da lista de países do Anexo I, que abrange os países desenvolvidos e as economias em transição. Apesar disso, o Brasil já produziu inventários, mas, como acontece com os demais países Não-Anexo I, os inventários brasileiros não têm periodicidade definida e os dados não são submetidos à revisão de uma equipe internacional.

O Brasil publicou sua Primeira Comunicação Nacional em 2004 contendo as estimativas do inventário nacional relativo aos anos de 1990 a 1994 (MCTI, 2012). Depois de seis anos, em 2010, o governo brasileiro publicou a Segunda Comunicação Nacional. Nesse documento, foram incluídas estimativas do inventário nacional até o ano de 2005 e envolveu importante parcela da comunidade científica e empresarial brasileira, além de diversos setores governamentais. Em 2013 foi publicada uma atualização dos dados e estimativas, com informações até o ano de 2010.

As emissões do inventário brasileiro foram classificadas de acordo com os seguintes setores:

- Energia
- Processos industriais
- Uso de solventes e outros produtos
- Agropecuária
- Mudança do uso da terra e florestas
- Tratamento de resíduos.

Os resultados apresentados no inventário publicado em 2010 evidenciam aumento de 65% das emissões antrópicas líquidas de CO₂ totais do Brasil no período de 1990 a 2005. Abaixo, a tabela 11 apresenta alguns resultados das emissões nacionais por tipo de GEE e sua participação em 2005.

Tabela 11 – Emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito em 2005

GEE	Gg em 2005	Participação % em 2005
CO ₂	1.637.905	74,7
CH ₄	380.241	17,3
N ₂ O	169.259	7,7
HFC-125	350	0
HFC-134a	2.966	0,1
HFC-143a	353	0
HFC-152a	24	0
CF ₄	805	0
C2F ₆	95	0
SF ₆	602	0
Total	2.192.601	100

Fonte: MCTI (2010)

Do total de 2.192 milhões de tCO₂e emitidos em 2005, 60% teve origem na rubrica “mudança do uso da terra e florestas”. Vale ressaltar também o expressivo aumento oriundo do bioma Amazônia, cujas emissões líquidas de CO₂ cresceram 83% no período compreendido entre 1990 e 2005 e da Mata Atlântica 256,9%. Em seguida está o setor de energia, que apresentou um aumento de 74% das emissões de CO₂ no período inventariado, causado, sobretudo pelas emissões da indústria e dos transportes (MCTI, 2012).

As emissões do modal rodoviário tiveram uma elevação de 72% entre 1990 e 2005, representando 41% das emissões do setor em 2005 e 92% das emissões de transportes. Já as emissões do setor industrial variaram 45% no mesmo período, sendo que em 2005 o setor representava 4% das emissões totais do país, com a produção de ferro-gusa e aço constituindo a maior parcela (58%). Os principais processos industriais que geram emissões de CO₂ no Brasil são a siderurgia, a produção de cimento, de cal, de alumínio e de amônia.

Em 2013, o Observatório do Clima, rede de organizações da sociedade civil que atua em mudanças climáticas e busca estimular políticas públicas no Brasil, lançou o Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa – SEEG, ferramenta disponível na internet para disponibilização de dados sobre as estimativas anuais das emissões de GEE no Brasil desde 1990

até o ano 2012.

A metodologia utilizada pelo SEEG segue as diretrizes do IPCC, e utiliza como base os dados do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa de 2010 e de outros relatórios governamentais. Mostra-se uma ferramenta importante para as discussões de emissões atmosféricas no Brasil, que carece de dados consolidados e informações coerentes com a realidade.

Segundo o SEEG, em 2012 o setor de energia foi responsável por 29,4% das emissões totais brasileiras. No entanto, é muito importante diferenciar os setores “energia” e “elétrico”. Dentro da rubrica energia estão contidos os setores não-elétricos, como a queima de combustíveis pelo setor de transportes (que responde por 13,8% das emissões totais), a energia proveniente da queima de combustíveis para viabilizar a produção industrial (6,1%), as refinarias (1,8%) e as residências (1,3%). As emissões oriundas da geração de eletricidade correspondem a 3,3% da rubrica “energia”.

Vale ressaltar o crescimento das emissões do setor de Energia, que cresceram 126%. O principal responsável por esse incremento expressivo é a rubrica “Transporte”, que teve aumento de 143% nas suas emissões, entre 1990 e 2012, sobretudo por conta do uso da gasolina.

Entre 2009 e 2012 o consumo de álcool no Brasil caiu 30% e o de gasolina subiu 34%. O principal responsável por esta distorção é o governo, que vem subsidiando o preço da gasolina e, conseqüentemente, induzindo a perda de competitividade do etanol. Além disso, no mesmo período, as emissões provenientes do uso de gás natural e óleo diesel – outros dois combustíveis fósseis – cresceram 64% e 23%, respectivamente.

Na figura 18 é possível observar a queda do consumo de álcool nos últimos cinco anos, na mesma proporção do aumento do consumo da gasolina no período. A histórica liderança do óleo diesel se mantém, mas aponta uma tendência de queda mais recentemente, ao passo que o gás natural conquistou espaço entre os anos 2000 a 2010, mas também tem caído nos últimos três anos (EPE, 2013a).

Figura 17 – Estrutura do Consumo no Setor de Transportes

Fonte: EPE, 2013a

Comparando-se os diversos setores da economia, verifica-se que o setor elétrico contribui muito pouco para as emissões de gases de efeito estufa. O principal vilão brasileiro é o desmatamento. Conforme é possível observar na figura 10, 79,6% das emissões são oriundas das mudanças no uso da terra (item composto por desmatamento, agricultura e pecuária).

Se por um lado o Brasil é reconhecido internacionalmente por sua matriz elétrica limpa, fundamentada em hidrelétricas, por outro é o principal responsável pelo desmatamento da Amazônia e de outros biomas importantes para o equilíbrio do planeta.

É possível notar que, dentro do setor de energia, os principais responsáveis pela emissão de GEE são os setores de transportes e industrial que responderam, em 2011, por 74% das emissões. Apesar do PDE 2021 prever uso mais intenso de etanol e biodiesel e ações para mitigar as emissões da indústria, ambos os setores permanecerão responsáveis pela maior parte das emissões no final do horizonte decenal, ainda que sua participação caia para 68%.

As emissões do setor de transportes, que em 2011 corresponderam a 49% do total, decorrem, em sua maior parte, do consumo de óleo diesel para transporte de cargas e passageiros no modal rodoviário, ainda predominante no Brasil. Embora no PDE 2021 sejam levadas em conta as iniciativas do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), que favorecem a

redução das emissões nesse setor como resultado da diversificação dos modais, o governo não tem a expectativa de que no horizonte decenal, essas ações alterem significativamente o perfil setorial de emissões.

A Política Nacional de Mudanças Climáticas, instituída através da Lei no 12.187/2009, estabelece o compromisso nacional voluntário de redução das emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% até o ano de 2020. A projeção das emissões nacionais para este período é de 3.236 MtCO₂e, compostas da seguinte forma:

I - Mudança de Uso da Terra: 1.404 MtCO₂e;

II - Energia: 868 MtCO₂e;

III - Agropecuária: 730 MtCO₂e; e

IV - Processos Industriais e Tratamento de Resíduos: 234 MtCO₂e.

Para alcançar o compromisso nacional voluntário serão implementadas ações no sentido de reduzir entre 1.168 MtCO₂e e 1.259 MtCO₂e do total das emissões estimadas para o período.

As principais ações previstas são:

- a) Redução de 80% dos índices anuais de desmatamento na Amazônia Legal em relação à média verificada entre os anos de 1996 a 2005;
- b) Redução de 40% dos índices anuais de desmatamento no Bioma Cerrado em relação à média verificada entre os anos de 1999 a 2008;
- c) Expansão da oferta hidroelétrica, da oferta de fontes alternativas renováveis (eólicas, PCHs e biomassa), da oferta de bicomcombustíveis e incremento da eficiência energética;
- d) Recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas;
- e) Expansão do plantio de florestas em 3 milhões de hectares;

O Plano Nacional de Energia - PNE 2030 – faz projeções focando somente a questão energética. Estima que emissões de CO₂ alcançarão aproximadamente 770 milhões de toneladas em 2030, acompanhando o crescimento do consumo total de energia primária, sob impulso principalmente dos setores de transporte e industrial.

Em 2030, estes dois segmentos deverão ser responsáveis por perto de 75% das emissões totais de CO₂ pelo uso de energia, apesar do uso crescente de fontes renováveis (etanol, bagaço de cana, carvão vegetal e outras biomassas). A implantação de 25 usinas térmicas alimentadas por combustíveis fósseis também é discutida, mas sua participação nas emissões ficaria em somente 10% em 2030 (EPE, 2007).

Do ponto de vista do setor de Energia (EPE, 2012a, p.159):

[...] o PDE 2021 tem entre seus objetivos o atendimento a metas específicas no quesito emissões, uma relacionada às emissões absolutas do setor como um todo no ano 2020, que não poderão ser superiores a 680 MtCO₂, e outra relacionada ao indicador de intensidade de carbono da economia, que não deverá ultrapassar o valor registrado no ano 2005. Cabe registrar que essas metas implicam em um esforço significativo para manter em patamares elevados a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira.

Em relação à rubrica “Mudanças no Uso da Terra”, a taxa média de desmatamento anual na década de 1990 foi de 16.343 km². Esta média subiu 8% nos últimos anos (2000 a 2009), ou seja, para 17.653 km². Porém, em 2009, houve uma queda (58% em relação a média calculada para a década atual) nas taxas com que a floresta foi derrubada, atingindo cerca de 7.464 km² ou, ainda, 73% em relação a 1995, ano com a maior taxa de desmatamento dos últimos 10 anos. Ainda, a taxa de 2009 representa a menor taxa anual desde que o INPE iniciou o monitoramento sistemático da Amazônia por satélite, em 1988 (Figura 19).

Figura 18 – Taxa de desmatamento anual da Amazônia Legal brasileira

Fonte: IPAM, 2013

As florestas tropicais armazenam, aproximadamente, 200 bilhões de toneladas de carbono (IPCC, 2000). Atualmente as emissões mundiais do desmatamento são estimadas entre 20-25% das emissões totais de GEE. O Brasil responde por 2,3% das emissões globais de GEE, mas essa porcentagem sobe até 5% das emissões globais, quando o setor de mudança do uso do solo e floresta é considerado (BANCO MUNDIAL, 2009).

O Brasil possui a segunda maior área de florestas do mundo, ocupando 56% do território nacional (4,7 milhões de km²). Esta cobertura vegetal está dividida em seis biomas: Amazônia com maior superfície alcançando, 4,19 milhões de km²; Cerrado com 2,04 milhões de km²; Mata Atlântica com 1,11 milhões de km²; Caatinga com 0,84 milhões de km²; Pampa com 0,17 milhões de km²; e Pantanal com 0,15 milhões de km².

Sua cobertura vegetal original tem sido diminuída desde o descobrimento do Brasil, de modo que atualmente o bioma Mata Atlântica tem menos de 8% da sua cobertura original. Os biomas Amazônia e Cerrado ainda têm vasta cobertura original e foram suprimidos em 18% e 20%, respectivamente (BANCO MUNDIAL, 2009).

A principal fonte de emissão de GEE deste setor é a mudança dos estoques de biomassa lenhosa e conversão de florestas que se dá pelo desmatamento, cujas causas principais são a exploração madeireira, a expansão da pecuária extensiva, a agricultura de grande escala e a produção de carvão vegetal.

Em 2005, as emissões líquidas deste setor somaram 1,35 bilhões de toneladas de CO₂e (Brasil, 2010), das quais 95% CO₂, quase totalmente originados do desmatamento. A este setor atribuem-se quase 80% das emissões totais brasileiras em 2005, sendo os biomas mais emissores o Amazônia (65%) e o Cerrado (24%).

A figura 20 apresenta os resultados do Segundo Inventário Brasileiro para as emissões oriundas do desmatamento no período entre 1988 e 2006, quando é possível perceber um significativo aumento a partir de 1995, concentrado, sobretudo na Amazônia, e resultante de diversos fatores históricos que se inter-relacionam. Compreende desde incentivos fiscais e políticas de colonização no passado (KAMPEL et al., 2008); recorrentes conflitos fundiários motivados pela ausência de titularidade da terra e pela pressão da reforma agrária, o avanço da exploração madeireira, da pecuária e o do agronegócio (FEARNSIDE, 1993), além de investimentos em infra-estrutura com abertura e pavimentação de estradas (SOARES-FILHO et al., 2006).

Figura 19 – Histórico das emissões de mudança de uso do solo e florestas (Mt CO₂e)

Fonte: Elaboração própria (Brasil, 2010)

No entanto, de modo geral, as taxas anuais de desmatamento tem diminuído, especialmente nos anos recentes – de 2008 a 2013 – quando o Brasil adotou diversas iniciativas para combater este problema, com destaque para o Plano de Ação para Prevenção e Controle de Desmatamento na Amazônia (PPCDAM). Estas ações têm sido vistas como veículos importantes de apoio às iniciativas que buscam reduzir o desmatamento e promover o desenvolvimento sustentável na região.

A intervenção do governo contemplou, entre outras ações, a criação de 240.000 km² de novas áreas protegidas na Amazônia em regiões onde o desmatamento é mais intenso. Como consequência, estima-se que, se efetivamente protegidas, estas áreas poderão evitar na próxima década a liberação de aproximadamente 600 milhões de toneladas de carbono para a atmosfera. (NEPSTAD, MOUTINHO & SOARES-FILHO, 2006).

A questão do desmatamento e uso da terra evidentemente desperta mais atenção. Na projeção para 2030, mesmo congeladas as emissões pelo desmatamento ao nível de 2005, os setores de “florestas” e “agricultura” ainda seriam responsáveis por 71% de emissões brasileiras

num cenário de referência. Os demais segmentos emissores de GEEs juntos atingiriam 810 milhões tCO₂e em 2030, sendo o setor industrial o principal emissor naquele ano com cerca de 44% (HENRIQUES, 2010, p. 24).

São montantes significativos e será preciso muito esforço para mitigar os impactos causados e, sobretudo, para tentar reduzir tais emissões, através da implementação dos planos de ação e mitigação para cada setor no Brasil, além dos acordos internacionais.

3.3 As emissões do setor elétrico brasileiro de 2005 a 2021.

Do ponto de vista global, o setor que mais emite gases de efeito estufa é o de geração de energia elétrica. No ano de 2005, as emissões globais alcançaram 43,5 bilhões de tCO₂ e o setor elétrico foi responsável por 28,8% das emissões totais de gases de efeito estufa no mundo (WRI, 2011).

Por ter uma matriz predominantemente hidrelétrica, o setor elétrico brasileiro historicamente tem uma contribuição bastante reduzida nas emissões de gases de efeito estufa, especialmente quando comparado com os outros setores da economia e com a média global. Ou seja, o perfil de emissões do setor elétrico brasileiro é o oposto ao do restante do mundo.

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do setor elétrico são relativamente baixas e são originadas de usinas a gás natural, a carvão mineral e a óleo diesel e combustível, como mostra a figura 21. Em 2008, as emissões de GEE foram inferiores a 34 MtCO₂e.

Apesar de existir uma relevante discussão sobre o potencial de emissões das hidroelétricas, ainda não existe um consenso científico sobre o tema. Em 2006, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI) elaborou o Primeiro Inventário Brasileiro sobre Emissões de GEE em Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros. As principais conclusões do trabalho foram que os reservatórios de hidrelétricas emitem gases biogênicos, incluindo CO₂, CH₄. Porém, estudos comparativos das emissões em reservatórios de hidrelétricas com emissões em usinas termoeletricas mostram que, na maioria dos casos, as hidrelétricas emitem muito menos (MCTI, 2006).

Figura 20 – Perfil das emissões do setor elétrico em 2008

Fonte: EPE, 2009

Em 2005, as emissões do setor elétrico brasileiro totalizaram 26,4 MtCO₂ (BRASIL, 2010) e as projeções do PDE 2021 mostram que este montante deve chegar a 69 MtCO₂ (EPE, 2012), ou seja, um aumento de 164% em dezesseis anos. Em termos relativos, a participação do setor sairá de 1,2% em 2005 para 2,1% do total das emissões de GEE do Brasil em 2021 (EPE, 2012). Em termos nominais, o aumento pode ser considerado significativo, porém, quando comparado com os outros setores, sua participação ainda é muito baixa.

Esta projeção de aumento das emissões obviamente está ligada ao aumento do consumo de eletricidade, que em 2005 foi de 375 TWh e a projeção para 2021 é que chegue a 774 TWh. Ou seja, um aumento de aproximadamente 106% para o período (EPE, 2012). Mas o principal fator para este aumento é a maior participação de termelétricas no período de 2011 a 2015, conforme já previsto no PDE 2021, devido à entrada em operação das usinas licitadas em até 2008.

Analisando a correlação entre esses dois indicadores, percebe-se que as emissões do setor elétrico crescerão mais do que o consumo de eletricidade. Isto se deve ao fato de que dentro do período analisado, 2005 a 2021, o perfil das emissões terá mudado bastante, considerando o uso de diferentes fontes de eletricidade bem como a instabilidade dos regimes de chuva.

De 2005 a 2013 as emissões do setor foram bastante irregulares, com picos em alguns anos. O cenário do último PDE 2021 aponta um aumento crescente das emissões decorrente da

entrada em operação das usinas termelétricas que participaram dos leilões de energia nova no período entre 2005 e 2008.

Nas projeções do PDE para 2021, conforme tabela 12, o governo espera um total de 641 MtCO₂e de emissões oriundas da produção e do uso de energia, sendo que o setor elétrico será responsável por 10,7% deste montante, ou seja, 69 MtCO₂e.

No entanto, consta no mesmo PDE a manutenção da participação significativa das fontes renováveis na matriz elétrica a partir do ano de 2015, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das fontes de geração, diretriz esta reafirmada pelo preço competitivo destas fontes demonstrado nos últimos leilões de energia, como foi abordado no capítulo 2 deste trabalho.

Tabela 12 – Brasil: evolução das emissões de GEE na produção e no uso de energia

(Valores em MtCO₂e, referentes à queima de combustíveis fósseis)

Setor	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Setor Elétrico	30	40	45	51	53	54	59	64	67	68	69
Sistema interligado Nacional - SIN	20	23	26	30	29	26	27	29	30	29	31
Autoprodução	10	17	19	21	24	28	32	35	37	39	38
Setor Energético	25	28	29	28	34	34	35	45	44	46	48
Residencial	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23
Comercial	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Público	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Agropecuário	18	19	20	21	22	22	23	24	24	25	25
Transportes	192	200	202	209	216	225	233	242	253	261	269
Industrial	99	106	111	117	126	133	140	146	154	160	165
Emissões fugitivas	12	19	20	22	25	27	30	35	37	36	38
TOTAL	396	432	449	471	498	519	545	580	605	622	641

Fonte: EPE (2012b)

Comparando a geração hidrelétrica do país em 2013 com o ano de 2012, percebe-se uma queda de aproximadamente 15% (considerando o ano de 2013 até o mês de novembro), conforme mostra a figura 22. Este resultado é reflexo da alteração do regime de chuvas ao longo de 2013, especialmente no primeiro semestre do ano.

Figura 21 – Geração de Energia Hidráulica no Brasil em 2012 e 2013

Fonte: ONS, 2013

Ao mesmo tempo pode-se observar que a geração a partir das termelétricas cresceu mais de 60% em 2013, quando comparado com o ano anterior, como mostra a figura 23. Estes números refletem a necessidade de garantir a segurança energética em um ano quando as chuvas foram abaixo da média – os reservatórios não foram capazes de suprir a demanda – e as termelétricas entraram em operação.

Além disso, em 2013 foram adotadas medidas operacionais mais conservadoras, como o despacho preventivo de termelétricas, com objetivo de reduzir o risco de déficit de energia. Ações como esta foram necessárias considerando a maior volatilidade do nível de armazenamento das hidrelétricas ao longo do ano.

Os impactos causados pelo alto despacho das térmicas não são apenas ambientais. Há também um aumento relevante de custo para o sistema e para o consumidor final, já que estas termelétricas foram contratadas para gerar energia elétrica apenas em momentos emergenciais e não de forma constante como foi em 2013.

Figura 22 – Geração de Energia Termelétrica no Brasil em 2012 e 2013

Fonte: ONS, 2013

Como consequência disso, as emissões de gases de efeito estufa oriundas do setor aumentaram de forma significativa. No ano de 2013 o Brasil alcançou o recorde histórico de emissões oriundas da geração elétrica, com mais de 75 tCO₂/MWh (figura 24). Neste contexto, é importante ressaltar a diferença no volume de emissões do setor elétrico divulgado pela EPE no PDE 2021, que projetou para 2013 um montante de 45 tCO₂/MWh (ver tabela 12).

Figura 23 – Emissões de CO₂ de térmicas convencionais (tCO₂/MWh)

Fonte: Elaboração própria (ONS; MCTI, 2013)

Um fator importante que não é o foco deste trabalho, mas deve ser considerado, é a questão dos impactos socioeconômicos e ambientais causados pelas hidrelétricas, como, por exemplo: (i) o reassentamento de populações afetadas para a construção dos grandes reservatórios, (ii) a perda de qualidade da água devido à formação de lagos artificiais, o desmatamento e a formação de processos erosivos, (iii) perda de espécies da flora e fauna e (iv) as prováveis emissões oriundas dos reservatórios das hidrelétricas.

Com relação a este último item, diversos estudos vêm apontando que, por meio de seus reservatórios, as hidrelétricas estariam contribuindo para o aumento das emissões de metano na atmosfera, que seria originado da decomposição da biomassa depositada em sua bacia de acumulação (ROSA et al., 2008). Estudos empíricos reforçaram este argumento ao constatar que hidrelétricas da região amazônica, como a usina de Balbina, possuem emissões mais elevadas do que as de uma termelétrica movida a carvão mineral (ROSA, SCHAEFFER E SANTOS, 1996).

A questão central envolvendo o polêmico debate das hidrelétricas gira em torno das emissões de Metano (CH_4) à jusante da represa, ou seja, após a água passar pela turbinas. Quanto maior a profundidade da represa mais elevada se torna a concentração de metano, cujo potencial de aquecimento global é 21 vezes maior do que o dióxido de carbono.

Quando a água emerge das turbinas ela provém de tomadas d'água situadas a uma profundidade que varia, na média, de 15 a 30 metros, isto é, com uma carga expressiva de CH_4 , que estava retido no fundo dos reservatórios e é lançado na superfície por ocasião da liberação da água represada (FEARNSIDE, 2002).

No que diz respeito ao desmatamento causado por hidrelétricas, de acordo com a EPE, 0,22% da parte brasileira do bioma amazônico são hoje ocupados por hidrelétricas em operação, e 0,03% poderão vir a sê-lo, pelo conjunto de usinas futuras. Assim, todas as usinas hidrelétricas existentes e a serem construídas ocupariam menos de 10.500 km^2 de floresta, ou seja, apenas 0,16% de todo o bioma amazônico, se incluída a sua parte situada em território estrangeiro.

Entre agosto de 2007 e julho de 2008, as queimadas destruíram 12.911 km^2 da Floresta Amazônica, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Em toda a série de registros de queimadas, iniciada em 1988, a menor taxa foi registrada em 1991 (11.030 km^2). Isso significa que a área total a ser ocupada pelos reservatórios de todas as usinas instaladas e

potencialmente instaláveis na Amazônia brasileira permanece inferior àquela que foi desmatada em 1991 – ano em que menos se queimou a floresta em toda a série acompanhada pela INPE

Como destacam Rosa et al (2008), as polêmicas envolvendo as hidrelétricas sugerem que deveriam ser feitos estudos adicionais para compreender as diferentes formas de fluxo de carbono e suas distintas escalas espaciais e temporais. Este procedimento ajudaria a entender melhor a real contribuição dos reservatórios para o efeito estufa.

Além disso, ainda existe uma grande lacuna em relação aos dados sobre as emissões oriundas de hidrelétricas. Este problema só poderá ser resolvido quando um estudo de avaliação das emissões for realizado previamente à construção de um reservatório o que permitirá a comparação com as emissões a serem medidas após a sua construção.

Por fim, apesar da predominância da participação de fontes renováveis na matriz elétrica, representando 84,6% da oferta interna em 2012, distribuída entre hidráulica (76,9%), biomassa (6,8%) e eólica (0,9%), ao analisar a evolução das emissões surge uma interrogação: caso o comportamento observado nos últimos anos se perpetue, pode ser que isto indique uma mudança na situação “confortável” que vive o Brasil hoje perante os outros países?

As projeções indicam que não. Apesar de ter havido um aumento recente das emissões de GEE do setor elétrico, esta não é uma mudança de patamar e sim uma situação temporal, resultante de diversos fatores, como já exposto ao longo deste capítulo 3.

Na figura 25 constam as projeções oficiais do Brasil para as emissões de GEE do setor de energia até 2030 (EPE, 2007). Ou seja, considerando o uso de energia, os cenários desenvolvidos indicam um aumento de emissões de carbono em decorrência do crescimento econômico do país, embora dois movimentos devam atenuar essa tendência, segundo o Plano Nacional de Energia 2030.

O primeiro, devido à maior participação de fontes renováveis, principalmente o etanol, as biomassas (bagaço de cana, cavaco de madeira e resíduos) e a energia elétrica de origem hidráulica. O segundo, pelo fato de o setor de serviços, naturalmente menos intensivo em energia fóssil, crescer a taxas mais elevadas que os demais segmentos de maior emissão – como os setores de transporte e indústria (EPE, 2007).

Figura 24 – Evolução das emissões de CO2 (em milhões de toneladas) entre 2005 e 2030
 Fonte: EPE, 2007

Um estudo realizado em 2011 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em conjunto com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e com o Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima) da Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia (COPPE) comparou três cenários possíveis de emissões de GEE no Brasil. Para analisar as emissões do setor elétrico, o trabalho utilizou como base as informações do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e as projeções do Plano Nacional de Energia 2030.

Um dos cenários, o mais conservador, excluiu a expansão de fontes renováveis a partir de 2010, inclusive as grandes hidrelétricas, e também não considerou programas de eficiência energética. Tais medidas foram substituídas pela geração termelétrica a gás natural¹², hipótese mantida para todo o horizonte de tempo do estudo. Assim, não há neste cenário, nem expansão hidráulica e nem de outras fontes renováveis.

Dessa forma, o resultado das emissões de GEE do setor elétrico brasileiro até o ano de 2030 aumenta significativamente quando comparado à projeção que consta no PDE 2021 (ver tabela 12), conforme mostra a tabela 13. Ou seja, com esta análise é possível concluir que será

¹² A fonte fóssil de geração de energia de menor custo no Brasil

fundamental para controlar as emissões do setor elétrico o cumprimento das ações de mitigação que constam no PDE, como a manutenção da participação das hidrelétricas e os investimentos em eficiência energética.

Tabela 13 – Emissões da geração elétrica, por fonte, até 2030 (MtCO₂e)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	MtCO ₂ e	%	MtCO ₂ e	%	MtCO ₂ e	%	MtCO ₂ e	%
Gás natural	57	73	160	85	277	87	393	89
Carvão	13	16	17	9	24	8	35	8
Óleo Combustível	7	9	10	5	14	4	14	3
Óleo Diesel	1	2	2	1	2	1	2	0
Total	78	100	189	100	317	100	444	100

Fonte: La Rovere et al., 2011

Mesmo que tais ações não fossem consideradas, as emissões do setor elétrico seriam muito baixas quando comparadas a dos outros setores da economia. Porém, considerando os compromissos nacionais de redução das emissões de GEE até 2020, de fato será necessário implementar as ações de mitigação e redução das emissões do setor elétrico, através da manutenção das fontes renováveis na geração e ampliação dos programas de eficiência energética.

As políticas adotadas no Brasil nos últimos 25 anos para garantir o abastecimento de energia foram de um modo geral, bem-sucedidas. A conquista da auto-suficiência em petróleo e o aumento do uso de modernas fontes renováveis de energia, como o etanol, são exemplos desse sucesso. No entanto, as políticas para aumentar a eficiência energética e para expandir o uso de gás natural, por exemplo, tem apresentado resultados mais limitados.

Diante dos potenciais impactos das mudanças climáticas sobre a oferta de energia, devem-se priorizar medidas para aumentar o uso racional e a eficiência energética; para expandir a oferta de eletricidade por meio do uso de combustíveis alternativos como resíduos sólidos urbanos e bagaço de cana; e para a gestão da demanda (SCHAEFFER et al., 2008).

Existem também lacunas com relação ao conhecimento técnico sobre as mudanças climáticas, o que aumenta a vulnerabilidade do setor elétrico diante desse contexto e, que precisam ser preenchidas por novos estudos e pesquisas, para garantir a segurança energética do país.

4 ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO DE 2005 A 2021

Nos capítulos anteriores foram abordadas as características do setor elétrico brasileiro, seu histórico de consolidação e atual configuração, assim como as respectivas projeções do governo para os próximos anos, até 2021, de acordo com o Plano Nacional de Expansão de Energia.

Além disso, também foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre o conceito de “mudanças climáticas” e suas conseqüências e marcos históricos, dentro do contexto de criação do IPCC e à luz de outros estudos e tratados internacionais sobre o tema. Por fim, foi traçado um panorama das emissões de gases de efeito estufa do Brasil, com foco naquelas oriundas do setor elétrico.

Apesar de a matriz elétrica brasileira ser caracterizada como uma matriz “limpa” – considerando que as fontes renováveis tem uma participação majoritária – o aumento relativo das emissões do setor nos últimos anos justifica a atenção destinada ao tema. Não apenas isso: o referido aumento das emissões justifica também a definição de ações que visem à redução (ou no mínimo a estabilização) das emissões. Tais ações devem levar em conta a segurança do sistema e os impactos sobre a sociedade e o meio ambiente. O Brasil deve tê-las como objetivos permanentes, principalmente, através da formatação de leilões regulados de energia elétrica e do cumprimento de medidas de mitigação e redução de emissões previstas nos Planos – PDE e PNE.

No entanto, é importante ressaltar que o modelo adotado pelo país é o hidrotérmico, no qual as fontes térmicas de geração complementam a oferta de eletricidade em momentos de alteração do regime hidrológico – baixo nível dos reservatórios e escassez de chuvas. Porém, as usinas termelétricas, apresentam menores investimentos iniciais, mas os custos de acionamento são maiores, assim como os impactos ambientais, resultando numa tarifa mais cara ao consumidor.

Nos anos recentes – 2012 e 2013 – as térmicas foram chamadas a despachar um volume bastante expressivo de eletricidade, o que levou a uma preocupação generalizada em relação às emissões de gases de efeito estufa oriundas do setor, e consequentemente despertou a discussão sobre o tema no Brasil.

De fato houve um acréscimo quando comparado com os anos anteriores. Em 2005, as emissões do setor elétrico alcançaram 26,4 milhões de toneladas de CO₂ (1,2% das emissões

totais de GEE daquele ano no Brasil). Em 2012 este montante chegou a 30,7 milhões de toneladas de CO₂, correspondendo a 1,9% das emissões totais deste ano no país. E, em 2013, as emissões oriundas do setor elétrico alcançaram 75 milhões de toneladas CO₂ (Figura 26), alcançando o recorde histórico do setor.

Tal aumento de emissões está diretamente ligado a dois principais fatores, a saber: alteração do regime hidrológico ao longo do ano de 2012 e entrada em operação de diversas termelétricas leiloadas nos anos de 2007 e 2008, especialmente as movidas a óleo combustível e a gás natural.

Figura 26 – Emissões de GEE do setor elétrico de 2005 a 2021 (tCO₂/MWh)

Fonte: Elaboração própria (ONS e MCTI, 2013; EPE, 2012)

Por isso, é necessário esclarecer que, ao contrário do que é divulgado pela mídia diversas vezes (ANEXO B), mesmo com este aumento significativo, as emissões do setor elétrico não ultrapassaram as emissões oriundas do desmatamento no Brasil, e ainda estão em patamares bastante diferentes.

Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisa Aeroespacial (INPE), no ano de 2012 as emissões do desmatamento, apenas no bioma Amazônia, totalizaram 352 milhões tCO₂. Ou seja,

se forem consideradas somente as emissões decorrentes do desmatamento na Amazônia, estas já seriam 8 vezes maiores que as emissões de todas as termelétricas nacionais em operação no mesmo ano.

É muito importante ressaltar também a existência de certa confusão terminológica em relação ao setor de energia e o setor elétrico, não só no Brasil, mas em todo o mundo. O primeiro abrange fontes de energia não-elétricas, como gás natural, petróleo, carvão mineral, que são utilizadas em setores como o de transportes, residencial e industrial, por exemplo, e suas emissões são bastante significativas no Brasil, pois a matriz energética ainda é muito dependente do petróleo, como mostra a figura 27.

Já o setor elétrico é apenas uma parte do setor de energia, mas, como no mundo todo ele é o maior responsável pelas emissões de gases de efeito estufa, existe uma pressão natural sobre as emissões oriundas da geração de eletricidade. No caso brasileiro, como já foi apresentado ao longo do trabalho, o cenário é o oposto, o setor elétrico é o que menos emite GEE.

Figura 27 – Oferta Interna de Energia em 2012 – Brasil

Fonte: EPE, 2012a.

A preocupação em torno das emissões do setor elétrico vai além da questão quantitativa. Ela abrange também um dos pilares do atual modelo regulatório do setor, que é a segurança

energética do país. A matriz elétrica fundamentada em fontes hídricas, como é a brasileira, é excelente do ponto de vista de emissões, mas desperta preocupação em relação às escolhas para sua complementaridade.

Até o momento – janeiro 2014 – o governo tem optado pelo modelo hidrotérmico, no qual as térmicas são fundamentais no complemento da eletricidade que precisa alimentar a rede para garantir que não falte energia elétrica no país. No entanto, no PDE 2021 e nos últimos leilões de energia nova a tendência apontada é que esta energia complementar seja fornecida por fontes renováveis, sendo suficientes para suprir a demanda crescente até 2021.

Segundo consta no PDE (EPE, 2012b):

[...] A principal diretriz deste Plano foi a priorização da participação destas fontes renováveis para atender ao crescimento do consumo de energia elétrica no horizonte decenal, tendo em vista o compromisso brasileiro para redução da emissão de gases do efeito estufa, estabelecido na Lei nº 12.187 de 29/12/2009 regulamentado por meio do Decreto nº 7.390 de 09/12/2010 [...]

Isto significa dizer que para ajudar o país a cumprir a meta de redução de emissões, o setor elétrico, o qual tem o menor perfil de emissões de GEE dentre todos os setores da economia, pode estar comprometendo a segurança energética. Substituir as fontes térmicas pelas renováveis (eólica, biomassa, PCH e solar) como complemento à geração hidrelétrica certamente reduzirá as emissões do setor a médio e longo prazo, mas, obviamente poderá deixar o sistema mais frágil.

Sobre as pequenas usinas de geração a partir de fontes renováveis, existem algumas vantagens relevantes em relação à geração de energia a partir de outras fontes e de usinas de grande porte, dentre os quais pode-se destacar: (i) menor impacto sócio-ambiental; (ii) possibilidade de venda de energia em mercados reservados (ACL e ACR) sem imposição de tarifa pela ANEEL ou determinação de equilíbrio econômico-financeiro; (iii) licenciamento, construção e operação mais simples, mais rápidos e a custos menores; (iv) incentivos legais e desconto em tarifas setoriais; (v) financiamento de longo prazo com custo atrativo; (vi) geração de créditos de carbono; e (vii) possibilidade de tributação em regime de lucro presumido.

Em relação à crescente participação das eólicas na matriz e nos últimos leilões, pode-se dizer que o Brasil está conseguindo um bom equilíbrio físico-financeiro dos projetos em operação. Segundo o *World Energy Council*, o Brasil possui o terceiro menor custo para a geração eólica do mundo, além de ter um fator de capacidade acima da média mundial, 23% a 45% (ONS, 2013).

Também é preciso ponderar que o país não possui um histórico considerável de operação de eólicas, ou seja, o bom desempenho dos projetos que começaram a entrar em operação nos últimos anos pode mudar ao longo da vida útil dos equipamentos. Além disso, por ser uma fonte com alta intermitência e dependente de condições climáticas, a eólica não substitui a necessidade de térmicas, que em um momento de emergência podem ser facilmente acionadas.

Além da energia eólica, é relevante o potencial brasileiro de geração de energia elétrica a partir da biomassa residual do processo produtivo de etanol e açúcar. O ciclo expansivo do setor sucroalcooleiro disponibiliza uma oferta crescente de bagaço de cana, utilizado como insumo para a geração de eletricidade. Contudo, a viabilidade dos projetos de co-geração ainda é muito restrita aos “usineiros”, ou seja, a geração termelétrica faz sentido nos casos em que o investidor já possui também o bagaço de cana, não havendo necessidade de cadeia de suprimento.

Deve-se também considerar a oferta crescente de palha devido ao fim da prática das queimadas com a implementação da colheita mecanizada da cana de açúcar. De acordo com Sousa (2009), na safra 2020/21, quando se projeta uma safra superior a 1 bilhão de toneladas de cana, o potencial de geração de eletricidade seria da ordem de 20.000 MW.

Um ponto importante é que o custo de investimento em uma planta de cogeração de bioeletricidade que gere excedentes de energia elétrica a serem exportados é bastante sensível em relação à escala. Estima-se que o custo de investimento uma planta associada a uma usina que processe 1 milhão de toneladas de cana por safra seja 30% superior ao custo verificado em uma usina que processe 3 milhões de toneladas de cana (CASTRO et al.2010).

O equilíbrio de todos estes cenários – que tem em comum a busca pela segurança energética – transita também por uma potencial oferta de gás natural. Ou seja, se for possível viabilizar economicamente e estruturar a logística do gás natural oriundo da exploração do pré-sal, a substituição de térmicas a carvão e a óleo combustível faria bastante sentido para o país. Porém, por enquanto, isto é apenas uma possibilidade e ainda não consta no planejamento de expansão de energia para os próximos dez anos.

A configuração atual do parque elétrico, de certa forma garante a segurança energética do país, já que a complementaridade do sistema vem de termelétricas, mas o custo deste acionamento é muito alto, pois estas usinas foram contratadas considerando apenas um despacho emergencial. Em anos de regime pluviométrico muito alterado, como em 2012, os gastos com eletricidade podem aumentar significativamente, onerando o consumidor final.

Outro ponto que deve ser questionado no contexto desta discussão é o modelo de leilão adotado, no qual competem todas as fontes ao mesmo tempo, de forma a garantir a modicidade tarifária. Além do preço da energia, os leilões poderiam contemplar a localização das usinas, sua capacidade e rapidez de acionamento sob demanda, e, no caso das fontes renováveis, a conveniência da sua oferta em relação à necessidade do consumo ao longo do ano. Com isso, seria possível aumentar a eficiência do parque gerador, considerando o atual modelo de operação do SIN.

A competitividade das usinas hidrelétricas está consolidada há anos no Brasil, como pode-se observar no histórico dos leilões de energia, mas a opção por construir usinas a fio d'água e não mais por reservatórios, tem diminuído a confiabilidade do sistema, pois o torna muito mais dependente das chuvas do que no modelo anterior, onde grandes áreas alagadas conseguiam garantir um período mais longo de geração hidrelétrica.

Apesar de o foco deste trabalho ser a geração elétrica, um fator de extrema importância para o bom funcionamento do setor é a transmissão, que tem sido apontada por especialistas como um dos principais gargalos da expansão de energia elétrica no Brasil. Vários fatores podem ser destacados para explicar os atrasos nas linhas de transmissão, especialmente os ligados à questão socioambiental.

No ano de 2012, por exemplo, praticamente metade das usinas licitadas no primeiro leilão de energia eólica estavam prontas sem conseguir gerar eletricidade. Dos 71 parques eólicos leiloados em 2009, 32 estavam parados por falta de linha de transmissão (ANEEL, 2012). Houve um descasamento significativo entre a data de entrega das usinas e a entrega do sistema de transmissão.

Ou seja, o planejamento do setor elétrico deve considerar a expansão dos sistemas de transmissão com a mesma seriedade com que planeja a geração. Caso contrário, o país continuará enfrentando problemas sérios com a logística e infra-estrutura do setor elétrico, especialmente se considerada a interferência dos projetos de usinas e linhas de transmissão junto às populações tradicionais. Conforme previsto no PDE 2021, dos 19.673 MW de potência adicional de energia elétrica a serem viabilizados no decênio 2012-2021, 16.082 MW, ou seja 82%, interferem em terras indígenas (EPE, 2012a).

Outra constatação se refere à inadequação do parque instalado de termelétricas. Praticamente metade desse parque é de usinas de baixo investimento inicial, mas de elevado

custo operacional quando acionadas. Essa proporção era adequada no passado, quando a capacidade de regularização de nossos reservatórios era maior e as termelétricas seriam acionadas apenas em situações emergenciais. No entanto, o cenário mudou e a condição atual de operação, assim como a projeção para os próximos anos mostram que as termelétricas deverão continuar sendo bastante demandadas.

O impacto nas emissões de GEEs causadas pelo aumento da capacidade instalada de termelétricas não pode ser calculado de forma direta porque dependerá da disponibilidade de água nos reservatórios e dos regimes de chuvas e de ventos, uma vez que são estes eventos que determinarão a frequência de operação das termelétricas.

Dessa forma, algumas questões são pertinentes neste momento importante que vive o país, que irá sediar eventos mundiais, como a Copa do Mundo 2014 e as Olimpíadas 2016, além do contexto econômico de necessidade de retomada da indústria nacional, que demandará oferta de eletricidade na mesma velocidade de seu crescimento.

Tais questões envolvem as discussões: (i) do modelo atual de leilões de energia; (ii) da diversificação da matriz elétrica; (iii) da segurança energética versus a participação das térmicas, levando em consideração os custos atuais de acionamento e as emissões de fontes como carvão e óleo combustível; (iv) da confiabilidade das fontes renováveis como eólica, solar e biomassa.

As respostas a estas perguntas não são óbvias nem simples. Será preciso um trabalho multidisciplinar coerente com a realidade e que consiga ponderar os riscos e oportunidades existentes para que o país continue mantendo sua matriz elétrica limpa e segura.

E neste sentido, é possível destacar como aspecto positivo do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, o fato de que o Brasil possui um Plano oficial com ações que visam à redução das emissões de GEEs, mesmo não sendo obrigado a fazê-lo. Além disso, este Plano define metas quantitativas para as ações que resultarão na redução de emissões de GEEs.

Por outro lado, ainda faltam algumas definições importantes, como a forma pela qual as metas estabelecidas para as ações serão atingidas (planos de ação setoriais) e definir uma estimativa dos custos para realizar as ações que levarão ao cumprimento das metas (priorização das ações de acordo com uma análise de custo-benefício).

As ações já mapeadas não contemplam o potencial de redução de emissões por setor, ou seja, atribui-se poucas ações para setores que possuem participação maior nas emissões e muitas ações para setores que emitem menos. Isto significa que são previstas muitas ações para o setor

elétrico (setor de baixa emissão relativa) e não há análises detalhadas para os setores de “Transportes” e “Processos Industriais”, por exemplo, responsáveis em 2005 por 6,1% e 3,6% do total das emissões brasileiras, respectivamente (BRASIL, 2010).

Portanto, no que diz respeito ao combate às mudanças climáticas e redução de emissões no Brasil, definitivamente o foco não deve estar no setor elétrico e sim no setor de “Energia”, especialmente nos transportes e na indústria, e nas “Mudanças do Uso da Terra”, com foco no desmatamento ilegal na Amazônia e em outros biomas. Afinal, em um cenário em que o tempo e os recursos são limitados, os esforços devem ser concentrados nos setores nos quais, com o menor investimento, seja possível obter os melhores resultados.

No caso dos transportes, fica evidente que o foco para redução de GEEs deve estar na diminuição da participação do óleo diesel e da gasolina, e no fomento ao etanol e ao biodiesel, além dos esforços em viabilizar a expansão do gás natural veicular.

Além de desenvolver ações para reduzir as emissões de GEEs, o Governo Federal precisa coordenar com os estados a definição das políticas sobre o tema Mudanças Climáticas e evitar que sejam estabelecidas políticas e metas obrigatórias estaduais ao setor produtivo e à sociedade que sejam incoerentes com a Política Nacional.

Assim, recomenda-se que as políticas públicas nacionais voltadas à redução das emissões de GEE evitem modelos e premissas internacionais que não se adequam à nossa realidade e ao nosso perfil de emissões. Dessa forma, a melhor contribuição que o Brasil dará para enfrentar os desafios das mudanças climáticas irá requerer diagnósticos objetivos e que enderecem os setores que respondem pelas maiores emissões, sempre em busca das ações de melhor relação custo-benefício.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou contribuir para a análise do setor elétrico no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, às mudanças climáticas. Foram analisadas sua trajetória recente e as perspectivas até o ano de 2021. Não há neste trabalho a pretensão de esgotar o assunto, mas sim de promover um debate.

No primeiro capítulo buscou-se fazer uma introdução ao tema, com foco na importância internacional da discussão sobre as mudanças climáticas e do papel do setor elétrico nas emissões de gases de efeito estufa. O equilíbrio entre crescimento econômico e demanda de energia elétrica é crucial para o alcance do desenvolvimento sustentável, principalmente para os países emergentes, como é o caso do Brasil.

No segundo capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o setor elétrico, tanto no âmbito local como global. Primeiramente optou-se por descrever o processo de consolidação do setor no Brasil, desde a criação da Eletrobrás em 1960 até o “novo modelo” e suas recentes mudanças regulatórias ocorridas ao longo de 2013. No segundo momento, foram abordadas as principais características da matriz elétrica mundial e suas perspectivas para os próximos anos.

Mostrou-se ainda um panorama da matriz elétrica brasileira, seus aspectos peculiares e projeções de demanda e consumo de eletricidade para o horizonte 2011-2021, de acordo com o último Plano Decenal de Energia divulgado pela EPE.

No terceiro capítulo foi feita uma discussão sobre mudanças climáticas, em âmbito mundial, seus paradigmas conceituais e marcos históricos. Foi observada a importância das pesquisas feitas pelo IPCC, assim como os acordos globais em prol do clima, como o Protocolo de Quioto e as Conferências das Partes, realizadas anualmente ao redor do mundo pela ONU.

Neste mesmo capítulo foram apresentadas as emissões brasileiras de gases de efeito estufa, suas origens e características principais, comparando-as com o perfil de emissões mundiais. Por isso, dedicou-se especial atenção às emissões oriundas do setor elétrico, alvo principal deste trabalho.

Finalmente, foram analisados os principais aspectos descritos ao longo do trabalho, com o objetivo de apresentar as contribuições do setor elétrico brasileiro para as emissões de gases de efeito estufa do país, no período compreendido entre 2005 e 2021.

A matriz elétrica brasileira evidencia que o país é pouco dependente de fontes não-renováveis, como carvão e derivados de petróleo. Mas apesar disso, sabe-se que existe um grande desafio em manter o parque gerador “limpo”. A dependência do regime de chuvas e o aproveitamento das bacias hidrográficas da região Norte, grande aposta do governo brasileiro, tem trazido certa preocupação em relação à segurança energética e ambiental do país.

Com relação às mudanças climáticas e os impactos sobre os recursos naturais no Brasil, pode-se dizer que a vulnerabilidade brasileira é acentuada pela grande e crescente participação das fontes renováveis na matriz energética. Segundo dados da EPE, em 2007 a participação dessas fontes no setor de energia era de 46,4%, contra 44,9% em 2006. Quando se considera apenas a eletricidade, a participação é ainda maior, com as hidrelétricas respondendo por 85,6% da oferta de energia elétrica.

Além disso, a escassez de dados e de ferramentas disponíveis para a avaliação dos efeitos potenciais das mudanças climáticas sobre o setor de energia também reforça vulnerabilidade do sistema elétrico brasileiro.

Nesse sentido, não se pode ignorar o papel das termelétricas num cenário como este. Caberá ao governo, decidir pelas alternativas mais eficientes e investir em projetos que tenham tecnologia agregada e possam minimizar as emissões oriundas da queima de combustíveis fósseis.

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima estabelece uma série de ações para o setor elétrico, cuja participação nas emissões de GEE é relativamente baixa, e poucas metas específicas para alguns setores que emitem mais, como Indústria e Transportes, responsáveis por 3,6% e 6,1% do total de emissões do país, respectivamente.

Dentro do item “Mudanças do Uso da Terra” a redução das emissões poderá ser oriunda, sobretudo, do combate ao desmatamento ilegal, reflorestamento de áreas degradadas, restauração do solo e manejo florestal, com custos inferiores a dez euros por tonelada de CO₂ equivalente.

No Brasil, o potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa do setor elétrico é muito baixo. Para 2030 a previsão é de apenas 0,4%, considerando soluções que custem menos que 60 euros por tonelada de gás carbônico equivalente. Este custo é sete vezes superior ao custo para evitar a emissão de uma tonelada de CO₂ decorrente do desmatamento ilegal. Esta análise na relação custo x benefício precisa ser considerada pelo governo na definição de políticas públicas.

O maior potencial de redução no caso brasileiro, considerando também os custos, está na mudança do uso da terra. O custo para evitar a emissão de uma tonelada de CO₂ provocada pelo desmatamento é de oito euros (MMA, 2010). O combate ao desmatamento ilegal é fundamental para o Brasil. Por isso as metas para o setor estão definidas no Plano Nacional sobre Mudança do Clima.

É necessário que o Brasil evite as premissas e propostas internacionais que não se adaptam sua realidade de padrão das emissões. Por outro lado, o país precisa estar ativo nessa discussão e dar sua melhor contribuição para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e para isso, será preciso definir metas claras para cada setor, enfrentando os problemas corretos, buscando sempre a melhor relação custo-benefício.

Não se pretendeu aqui defender a idéia de que o setor elétrico possa abster-se do desafio de contribuir para a redução das emissões e da discussão que permeia o tema mudanças climáticas. Pelo contrário, acredita-se que só será possível o Brasil obter resultados positivos, se todos os setores estiverem plenamente engajados de forma coordenada, com suas respectivas metas sendo monitoradas periodicamente.

A questão, portanto, não é somente como tornar o desenvolvimento mais resiliente à mudança climática. É como buscar o crescimento e a prosperidade sem gerar uma “perigosa” mudança climática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRITTON, D.L., ALLEN, M.R., BAEDE, A.P.M., CHURCH, J.A., 2001: Summary for policymakers. Em: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp, 2001.

ALBUQUERQUE, L. Análise Crítica das Políticas Públicas em Mudanças Climáticas e dos Compromissos Nacionais de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

ALLEY, R. et al., Sumário para Formuladores de Política. Em: Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

ANEEL, 2012. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações de Geração. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15> Acesso em: 13 fev 2013.

ANDRADE, C. A.L; MATTEI, L. A (in)sustentabilidade da matriz energética brasileira.

ANP. Boletim Mensal do Gás Natural. Agência Nacional de Petróleo, Janeiro de 2011, n° 25, 53 p.

BANCO MUNDIAL. Relatório sobre o desenvolvimento mundial 2010: Desenvolvimento e mudanças climáticas. São Paulo. Ed. UNESP, Banco Mundial, 2010.

BANCO MUNDIAL, 2013. Dados estatísticos. Disponível em: <http://data.worldbank.org/> Acesso em: 20 dez 2013.

BRASIL. Casa Civil da Presidência da República Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Brasília, 2008.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília, 2009.

BRASIL. Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. Brasília, 2010.

BRASIL, 2010. Segunda Comunicação Nacional. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima, 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Brasília: MCT. 2010. 280 p. Disponível em: www.mct.gov.br/clima . Acesso em: set 2013.

CASTRO, N. et al. Perspectivas da Matriz Elétrica Mundial Pós-Fukushima. Texto de Discussão do Setor Elétrico nº39. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em <http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/TDSE39.pdf> Acesso em: 22 jan 2013.

CASTRO, N. J DE.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G.; ROSENTAL, R. O Processo de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro e os Impactos da MP 579. Texto de Discussão do Setor Elétrico nº 51. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/> Acesso em: 27 nov 2013.

CASTRO, N. J DE.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. O Setor Elétrico Brasileiro e os Compromissos de Reduções das Emissões de Gases do Efeito Estufa. Texto de discussão do setor elétrico nº 46. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/tdse/TDSE46.pdf> Acesso em: 7 jul 2013.

CCEE, 2013. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Resultado consolidados dos leilões. Disponível em: http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_menu_header/biblioteca_virtual?_afzLoop=1133151141364000&tipo=Resultado+Consolidado&assunto=Leil%C3%A3o&_adf.ctrl-state=mu712jfin_587#%40%3F_afzLoop%3D1133151141364000%26tipo%3DResultado%2BConsolidado%26assunto%3DLeil%25C3%25A3o%26_adf.ctrl-state%3Ddifjcud71_33 Acesso em: 15 jan 2014.

COSTA, C. V. Políticas de promoção de fontes novas e renováveis para geração de energia elétrica: lições da experiência europeia para o caso brasileiro. Tese de D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades / editado por Sergio Margulis e Carolina Burle Schmidt Dubeux; coordenação geral Jacques Marcovitch. – São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.82 p.

EIA – Energy International Agency. 2010. International Energy Statistics. Disponível em <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm> Acessado em: 17 mai 2012.

EPE, 2007. Plano nacional de energia 2030, Brasília. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx> Acesso em: 02 mai 2012.

EPE, 2012a. Balanço Energético Nacional 2013, ano base 2012. Brasília. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/default.aspx>. Acesso em: 27 ago 2013.

EPE, 2012b. Plano decenal de expansão de energia 2021, Brasília. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx> Acesso em: 9 out 2013.

EPE, 2013a. Informe à Imprensa. Leilão de Energia A-3/2013. Disponível em: http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20131118_1.pdf Acesso em: 20 nov 2013.

EPE, 2013b. Informe à Imprensa. 1º Leilão de Energia A-5/2013. Disponível em: http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20130829_1.pdfv Acesso em: 9 set 2013.

EPE, 2013c. Informe à Imprensa. 2º Leilão de Energia A-3/2013. Disponível em: http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20131213_1.pdf Acesso em: 17 dez 2013.

ESPARTA, A. Redução de emissões de gases de efeito estufa no setor elétrico brasileiro: a experiência do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto e uma visão futura. São Paulo, 2008.

FEARNSIDE, P.M. 1982 Deforestation in the Brazilian Amazon: how fast is it occurring? *Interciência*, 7(2):82-88.

GOLDEMBERG, J. Energia, meio ambiente & desenvolvimento. São Paulo: Editora da USP, 1998. 234p.

GOMES, A. C. S., ABARCA, C. D. G., FATIA, E. A. S. T. et al. O Setor Elétrico. Em: BNDES 50 Anos: Histórias Setoriais. SÃO PAULO, E. M., FILHO, J. K. (Ed.). São Paulo: DBA Artes Gráficas, pp. 321-347, 2002.

HENRIQUES JUNIOR, Mauricio Francisco. Potencial de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa pelo Uso de Energia no Setor Industrial Brasileiro. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010. Tese (doutorado).

IBGE. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – IDS 2012. Estudos & Pesquisas – Informação Geográfica, número 9, 2012. Disponível em www.ibge.gov.br. Acesso em: 25 jun 2012.

IEA, 2011. International Energy Agency. Key Stats 2010 – Disponível em: http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf Acesso em: 17 nov 2012.

IEA, 2012 International Energy Agency. Key Stats 2013 – Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf> Acesso em: 16 dez 2013.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. White Paper: Mudanças Climáticas e o Setor Elétrico Brasileiro. Edição nº 6. Janeiro, 2012.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland. p. 104.

KAMPEL, S. A.; CÂMARA, G.; QUINTANILHA, J. A. Análise exploratória das relações espaciais do desflorestamento na Amazônia Legal Brasileira. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~silvana/PAPER/gisbr2000.pdf> Acesso em: 18 ago 2013.

LA ROVERE, E. L; et al. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas. Estudo comparativo entre três cenários de emissão de gases de efeito estufa no Brasil e uma análise de custo-benefício. Rio de Janeiro, Julho 2011.

LEITE, A. D. Considerações sobre energia elétrica no Brasil. Texto de Discussão n. 30, GESEL/IE/UFRJ. Rio de Janeiro, fevereiro 2011.

LOVELOCK, J. A vingança da Gaia. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006.159p.

LUCON, O. e GOLDEMBERG, J. "Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil". Estudos Avançados, 2009, vol. 23, nº 65, pp. 121-30, p. 24.

MARCOVITCH, J. Para mudar o futuro. São Paulo: Saraiva, Edusp, 2006.

MCKINSEY, 2009. Caminhos Para Uma Economia de Baixa Emissão de Carbono no Brasil. McKinsey & Company, 47p.

MCTI. Ministério de Ciência e Tecnologia. Comunicação Nacional, Sumário de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa por Gás. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215037.pdf Acesso em: 24 jan 2013.

MMA & PNUD. Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/164/publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf Acesso em 21 jan 2013.

NEPSTAD, D., MOUTINHO P. & SOARES-FILHO, B. A Amazônia em Clima de Mudança. Relatório – 2006. Disponível em: <http://www.ipam.org.br/biblioteca/livro/A-Amazonia-em-Clima-de-Mudanca-Reduzindo-as-emissoes-de-Carbono-resultantes-de-desmatamento-e-degradacao-florestal-em-grande-escala/368> Acesso em: 14 jan 2014.

ONS, 2013. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Histórico da Operação – Geração de Energia. Disponível em: http://www.ons.org.br/resultados_operacao/boletim_mensal_geracao_eolica/index.aspx Acesso em: 12 dez 2013.

PAGLIARDI, O.; SOBREIRO DIAS, J. C. Evolução do setor elétrico: uma breve reflexão. Em: Interciência e Sociedade. v.1, n.1 (2011). – Mogi Guaçu: Faculdade Municipal Professor Franco Montoro, 2011.

PINTO JR., H. Q. et al. Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. ROSA, L.P.; SCHAEFFER, R.; SANTOS, M.A. Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of greenhouse gases? Environmental Conservation, 66, p.2-6, 1996.

ROSA, L. P. et al. Emissões de gases do efeito estufa por hidrelétricas. *OEcologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p.116-129, 2008.

SCHAEFFER, Roberto et al.. Mudanças Climáticas e Segurança Energética no Brasil. Rio de Janeiro: COPPE, 2008.

SEROA DA MOTTA, R. A Política nacional sobre mudança do clima: aspectos regulatórios e de governança. Em: Seroa da Motta et.al (EDITORES). Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Brasília: IPEA, 2011.

SIQUEIRA, D.Cynthia. Regime Internacional de Mudanças Climáticas e Segurança Energética. *Mediações*, Loderina, v.16, n.2, p.210-227, Jul./Dez./2011.

TOLMASQUIM, M.T. et al. Tendências da eficiência energética no Brasil. *ENERGE/Eletrobrás*, Rio de Janeiro, 1998.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME Human Development Report 2011. Sustainability and Equity: A Better Future for All.

World Resources Institute, Climate Analysis Indicators Tool (WRI, CAIT). 2012. CAIT version 9.0. Washington, DC: World Resources Institute. Disponível em: <http://cait.wri.org> Acesso em: 09 abr 2013.

ANEXO A – Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC

LEI Nº 12.187, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009

Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e estabelece seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos.

Art 2º Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

I - adaptação: iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima;

II - efeitos adversos da mudança do clima: mudanças no meio físico ou biota resultantes da mudança do clima que tenham efeitos deletérios significativos sobre a composição, resiliência ou produtividade de ecossistemas naturais e manejados, sobre o funcionamento de sistemas socioeconômicos ou sobre a saúde e o bem-estar humanos;

III - emissões: liberação de gases de efeito estufa ou seus precursores na atmosfera numa área específica e num período determinado;

IV - fonte: processo ou atividade que libere na atmosfera gás de efeito estufa, aerossol ou precursor de gás de efeito estufa;

V - gases de efeito estufa: constituintes gasosos, naturais ou antrópicos, que, na atmosfera, absorvem e reemitem radiação infravermelha;

VI - impacto: os efeitos da mudança do clima nos sistemas humanos e naturais;

VII - mitigação: mudanças e substituições tecnológicas que reduzam o uso de recursos e as emissões por unidade de produção, bem como a implementação de medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e aumentem os sumidouros;

VIII - mudança do clima: mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis;

IX - sumidouro: processo, atividade ou mecanismo que remova da atmosfera gás de efeito estufa, aerossol ou precursor de gás de efeito estufa; e

X - vulnerabilidade: grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação, e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos.

Art. 3º A PNMC e as ações dela decorrentes, executadas sob a responsabilidade dos entes políticos e dos órgãos da administração pública, observarão os princípios da precaução, da prevenção, da participação cidadã, do

desenvolvimento sustentável e o das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, este último no âmbito internacional, e, quanto às medidas a serem adotadas na sua execução, será considerado o seguinte:

I - todos têm o dever de atuar, em benefício das presentes e futuras gerações, para a redução dos impactos decorrentes das interferências antrópicas sobre o sistema climático;

II - serão tomadas medidas para prever, evitar ou minimizar as causas identificadas da mudança climática com origem antrópica no território nacional, sobre as quais haja razoável consenso por parte dos meios científicos e técnicos ocupados no estudo dos fenômenos envolvidos;

III - as medidas tomadas devem levar em consideração os diferentes contextos socioeconômicos de sua aplicação, distribuir os ônus e encargos decorrentes entre os setores econômicos e as populações e comunidades interessadas de modo equitativo e equilibrado e sopesar as responsabilidades individuais quanto à origem das fontes emissoras e dos efeitos ocasionados sobre o clima;

IV - o desenvolvimento sustentável é a condição para enfrentar as alterações climáticas e conciliar o atendimento às necessidades comuns e particulares das populações e comunidades que vivem no território nacional;

V - as ações de âmbito nacional para o enfrentamento das alterações climáticas, atuais, presentes e futuras, devem considerar e integrar as ações promovidas no âmbito estadual e municipal por entidades públicas e privadas;

VI – (VETADO)

Art. 4º A Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC visará:

I - à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático;

II - à redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes;

III – (VETADO);

IV - ao fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa no território nacional;

V - à implementação de medidas para promover a adaptação à mudança do clima pelas 3 (três) esferas da Federação, com a participação e a colaboração dos agentes econômicos e sociais interessados ou beneficiários, em particular aqueles especialmente vulneráveis aos seus efeitos adversos;

VI - à preservação, à conservação e à recuperação dos recursos ambientais, com particular atenção aos grandes biomas naturais tidos como Patrimônio Nacional;

VII - à consolidação e à expansão das áreas legalmente protegidas e ao incentivo aos reflorestamentos e à recomposição da cobertura vegetal em áreas degradadas;

VIII - ao estímulo ao desenvolvimento do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões - MBRE.

Parágrafo único. Os objetivos da Política Nacional sobre Mudança do Clima deverão estar em consonância com o desenvolvimento sustentável a fim de buscar o crescimento econômico, a erradicação da pobreza e a redução das desigualdades sociais.

Art. 5º São diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima:

I - os compromissos assumidos pelo Brasil na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, no Protocolo de Quioto e nos demais documentos sobre mudança do clima dos quais vier a ser signatário;

II - as ações de mitigação da mudança do clima em consonância com o desenvolvimento sustentável, que sejam, sempre que possível, mensuráveis para sua adequada quantificação e verificação a posteriori;

III - as medidas de adaptação para reduzir os efeitos adversos da mudança do clima e a vulnerabilidade dos sistemas ambiental, social e econômico;

IV - as estratégias integradas de mitigação e adaptação à mudança do clima nos âmbitos local, regional e nacional;

V - o estímulo e o apoio à participação dos governos federal, estadual, distrital e municipal, assim como do setor produtivo, do meio acadêmico e da sociedade civil organizada, no desenvolvimento e na execução de políticas, planos, programas e ações relacionados à mudança do clima;

VI - a promoção e o desenvolvimento de pesquisas científico-tecnológicas, e a difusão de tecnologias, processos e práticas orientados a:

a) mitigar a mudança do clima por meio da redução de emissões antrópicas por fontes e do fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa;

b) reduzir as incertezas nas projeções nacionais e regionais futuras da mudança do clima;

c) identificar vulnerabilidades e adotar medidas de adaptação adequadas;

VII - a utilização de instrumentos financeiros e econômicos para promover ações de mitigação e adaptação à mudança do clima, observado o disposto no art. 6º;

VIII - a identificação, e sua articulação com a Política prevista nesta Lei, de instrumentos de ação governamental já estabelecidos aptos a contribuir para proteger o sistema climático;

IX - o apoio e o fomento às atividades que efetivamente reduzam as emissões ou promovam as remoções por sumidouros de gases de efeito estufa;

X - a promoção da cooperação internacional no âmbito bilateral, regional e multilateral para o financiamento, a capacitação, o desenvolvimento, a transferência e a difusão de tecnologias e processos para a implementação de ações de mitigação e adaptação, incluindo a pesquisa científica, a observação sistemática e o intercâmbio de informações;

XI - o aperfeiçoamento da observação sistemática e precisa do clima e suas manifestações no território nacional e nas áreas oceânicas contíguas;

XII - a promoção da disseminação de informações, a educação, a capacitação e a conscientização pública sobre mudança do clima;

XIII - o estímulo e o apoio à manutenção e à promoção:

a) de práticas, atividades e tecnologias de baixas emissões de gases de efeito estufa;

b) de padrões sustentáveis de produção e consumo.

Art. 6º São instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima:

I - o Plano Nacional sobre Mudança do Clima;

II - o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima;

III - os Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento nos biomas;

IV - a Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, de acordo com os critérios estabelecidos por essa Convenção e por suas Conferências das Partes;

V - as resoluções da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima;

VI - as medidas fiscais e tributárias destinadas a estimular a redução das emissões e remoção de gases de efeito estufa, incluindo alíquotas diferenciadas, isenções, compensações e incentivos, a serem estabelecidos em lei específica;

VII - as linhas de crédito e financiamento específicas de agentes financeiros públicos e privados;

VIII - o desenvolvimento de linhas de pesquisa por agências de fomento;

IX - as dotações específicas para ações em mudança do clima no orçamento da União;

X - os mecanismos financeiros e econômicos referentes à mitigação da mudança do clima e à adaptação aos efeitos da mudança do clima que existam no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e do Protocolo de Quioto;

XI - os mecanismos financeiros e econômicos, no âmbito nacional, referentes à mitigação e à adaptação à mudança do clima;

XII - as medidas existentes, ou a serem criadas, que estimulem o desenvolvimento de processos e tecnologias, que contribuam para a redução de emissões e remoções de gases de efeito estufa, bem como para a adaptação, dentre as quais o estabelecimento de critérios de preferência nas licitações e concorrências públicas, compreendidas aí as parcerias público-privadas e a autorização, permissão, outorga e concessão para exploração de serviços públicos e recursos naturais, para as propostas que propiciem maior economia de energia, água e outros recursos naturais e redução da emissão de gases de efeito estufa e de resíduos;

XIII - os registros, inventários, estimativas, avaliações e quaisquer outros estudos de emissões de gases de efeito estufa e de suas fontes, elaborados com base em informações e dados fornecidos por entidades públicas e privadas;

XIV - as medidas de divulgação, educação e conscientização;

XV - o monitoramento climático nacional;

XVI - os indicadores de sustentabilidade;

XVII - o estabelecimento de padrões ambientais e de metas, quantificáveis e verificáveis, para a redução de emissões antrópicas por fontes e para as remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa;

XVIII - a avaliação de impactos ambientais sobre o microclima e o macroclima.

Art. 7º Os instrumentos institucionais para a atuação da Política Nacional de Mudança do Clima incluem:

I - o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima;

II - a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima;

III - o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima;

IV - a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais - Rede Clima;

V - a Comissão de Coordenação das Atividades de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia.

Art. 8º As instituições financeiras oficiais disponibilizarão linhas de crédito e financiamento específicas para desenvolver ações e atividades que atendam aos objetivos desta Lei e voltadas para induzir a conduta dos agentes privados à observância e execução da PNMC, no âmbito de suas ações e responsabilidades sociais.

Art. 9º O Mercado Brasileiro de Redução de Emissões - MBRE será operacionalizado em bolsas de mercadorias e futuros, bolsas de valores e entidades de balcão organizado, autorizadas pela Comissão de Valores Mobiliários - CVM, onde se dará a negociação de títulos mobiliários representativos de emissões de gases de efeito estufa evitadas certificadas.

Art. 10. (VETADO)

Art. 11. Os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos das políticas públicas e programas governamentais deverão compatibilizar-se com os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos desta Política Nacional sobre Mudança do Clima.

Parágrafo único. Decreto do Poder Executivo estabelecerá, em consonância com a Política Nacional sobre Mudança do Clima, os Planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas visando à consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono, na geração e distribuição de energia elétrica, no transporte público urbano e nos sistemas modais de transporte interestadual de cargas e passageiros, na indústria de transformação e na de bens de consumo duráveis, nas indústrias químicas fina e de base, na indústria de papel e celulose, na mineração, na indústria da construção civil, nos serviços de saúde e na agropecuária, com vistas em atender metas gradativas de redução de emissões antrópicas quantificáveis e verificáveis, considerando as especificidades de cada setor, inclusive por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL e das Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas - NAMAs.

Art. 12. Para alcançar os objetivos da PNMC, o País adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1% (trinta e seis inteiros e um décimo por cento) e 38,9% (trinta e oito inteiros e nove décimos por cento) suas emissões projetadas até 2020.

Parágrafo único. A projeção das emissões para 2020 assim como o detalhamento das ações para alcançar o objetivo expresso no caput serão dispostos por decreto, tendo por base o segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal, a ser concluído em 2010.

Art. 13. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 29 de dezembro de 2009; 188º da Independência e 121º da República.

ANEXO B – Reportagens sobre o setor elétrico brasileiro

12/01/2013 – “O GLOBO”

POLUIÇÃO PELO USO DE TÉRMICAS JÁ É MAIOR DO QUE A DO DESMATAMENTO

O uso prolongado das usinas térmicas, que começaram a ser acionadas em outubro para preservar os níveis dos reservatórios das hidrelétricas, que estão em patamares críticos, já provocou a emissão de mais de 16 milhões de toneladas de gás carbônico (CO₂) equivalente até o último dia 10. Apenas entre outubro e dezembro do ano passado, o total de CO₂ despejado pelas termelétricas na atmosfera chegou a 15,3 milhões de toneladas, de acordo com a consultoria WayCarbon, que fez o estudo a pedido do GLOBO.

De acordo com Tasso Rezende Azevedo, consultor em sustentabilidade do Ministério do Meio Ambiente, além de ser o maior volume de gases de efeito estufa já produzido pelas térmicas em um único ano, as emissões totais de CO₂ da geração de energia no país deverão superar, pela primeira vez, em 2012, as emissões provocadas pelos desmatamentos.

— Registramos um recorde de tempo de uso de térmica. Por isso, pela primeira vez na História, as emissões de gás carbônico oriundo da geração de energia vão superar as do desmatamento. O Brasil está piorando a sua matriz — diz Azevedo.

O tempo de térmicas ligadas hoje também é inédito. Historicamente, diz ele, o período de acionamento dessas usinas é de 15 dias por ano, em média.

— Todas as térmicas ligadas geram, em um mês, 5,1 milhões de toneladas de gás carbônico equivalente. É um número elevadíssimo. A potência dessas usinas tem sido aumentada constantemente, o que amplia a emissão sempre que episódios de estiagem ocorrerem. É preciso investir em matrizes limpas, não só em térmicas — diz Luísa Krettli, consultora da WayCarbon.

Por Reinaldo Azevedo

<http://veja.abril.com.br/blog/reinaldo/geral/poluicao-pelo-uso-de-termicas-ja-e-maior-do-que-a-do-desmatamento/>

Acesso em: 05 ago 2013