

OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA E SEUS EFEITOS PARA A ECONOMIA BRASILEIRA ENTRE 2020 E 2050¹

Tarik Marques do Prado Tanure, Cedeplar/UFMG, tariktanure@gmail.com
Micaele Martins de Carvalho, Cedeplar/UFMG, micaele.mcarvalho@gmail.com
Aline Souza Magalhães, Cedeplar/UFMG, alinesm@cedeplar.ufmg.br

Resumo

O processo de aquecimento global e mudanças climáticas pode afetar potencialmente o sistema energético nacional, pelas projeções de queda da disponibilidade hídrica decorrente destes fenômenos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é projetar impactos econômicos da possível mudança da composição da matriz elétrica brasileira, decorrente da redução na oferta de energia hidrelétrica e utilização mais intensa de outras fontes, como termelétricas e eólicas. Para tal, utiliza-se um modelo de equilíbrio geral computável (EGC), BeGreen, capacitado para captar os efeitos das alterações nas fontes de energia sobre a economia brasileira entre o período de 2020 e 2050. Ademais, utiliza-se como cenários climáticos, as projeções do do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). Os resultados das simulações indicam queda nos indicadores econômicos mesmo quando as outras fontes de energia são estimuladas para compensar a queda na geração de hidroeletricidade. Em termos de PIB, contrastando com o cenário base, verifica-se redução de 0,14% quando há compensação via outras fontes de energia e redução de 0,38% quando não há compensação.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas, Energia Hidrelétrica, Equilíbrio Geral Computável

Código JEL: C68 Q40 Q47 Q54

Resume

The process of global warming and climate change affect the national energy system, and the direct and indirect effects are extended from renewable and nonrenewable sources to the entire Brazilian economy. In this sense, the objective of this work is to verify how the supply's reduction of hydroelectric energy, caused by climate change, would impact the national economy and how the thermoelectric and wind power plants would compensate this restriction. The work used a computable general equilibrium model (CGE), denominated BeGreen to capture the effects of changes in energy sources on the Brazilian economy between 2020 and 2050, using the IPCC scenarios A2 and B2 as reference. The results of the simulations indicate price inflation and a fall in economic indicators even when other sources of energy are stimulated to compensate for the drop in hydroelectricity generation. In terms of GDP, contrasting with the base scenario, there is a reduction of 0,14% when there is compensation through other sources of energy and a reduction of 0,38% when there is no compensation.

Key-words: Climate Change, Hydroelectric power, Computable General Equilibrium

JEL Code: C68 Q40 Q47 Q54

¹ Artigo submetido à área temática 2: Teoria Econômica e Economia Aplicada, do 18º Seminário sobre economia mineira

INTRODUÇÃO

O processo de aquecimento global e mudanças climáticas trará consequências relevantes para todo o sistema energético nacional, com impactos diretos e indiretos sobre as fontes renováveis e não renováveis de energia. O fenômeno, refletido de maneira mais nítida em alterações nos níveis de precipitação e temperatura, poderá impactar negativamente os ciclos hidrológicos e consequentemente a capacidade de geração de energia hidrelétrica no Brasil com efeitos significativos para toda a economia brasileira.

A possível redução da oferta de energia hidrelétrica poderá ser compensada por outras fontes energéticas, renováveis e não renováveis. As fontes renováveis de energia elétrica, como a eólica, por exemplo, apesar de serem uma importante alternativa para a adaptação e mitigação das mudanças climáticas, também não estão imunes aos efeitos das mudanças climáticas. Por outro lado, as fontes não renováveis se apresentam como um fator de agravamento ao aquecimento global, dado que são emissoras de gases causadores do efeito estufa.

O sistema nacional de energia é interligado e compreende as fontes hidrelétrica, termelétrica e eólica, sendo possível a geração de energia por uma região e utilização por outra. A capacidade instalada de geração elétrica no Brasil foi de 150,3 GW em 2016, sendo composta principalmente por usinas hidrelétricas (64,5%) e termelétricas (27,4%).

Como cerca de 65% da oferta de energia elétrica no país é oriunda das hidrelétricas, faz-se necessário avaliar como a queda na oferta deste tipo de energia irá impactar a economia, e não obstante, verificar de que maneira se dará a compensação energética entre as demais fontes, frente a um cenário de elevação da demanda por energia. Neste sentido, o objetivo deste estudo é avaliar os impactos econômicos da redução da oferta de energia hidrelétrica oriunda do processo de mudanças climáticas no Brasil entre os anos de 2020 e 2050, assim como avaliar os efeitos decorrentes da utilização de outras fontes para compensação da oferta de energia.

A metodologia parte de projeções num modelo de Equilíbrio Geral Computável, denominado BeGreen, capacitado para captar mudanças na matriz elétrica brasileira e seus efeitos para a economia. O modelo capta ainda como a restrição de energia hidrelétrica pode ser compensada pela geração em usinas termelétricas e eólicas. As projeções de queda da oferta de energia hidroelétrica decorrente de cenários de mudanças climáticas do IPCC foram retiradas de Lucena (2010).

O estudo está estruturado em três seções, além desta introdução e das considerações finais. A primeira seção aborda as mudanças climáticas, as características do sistema brasileiro de energia e os efeitos das mudanças climáticas sobre o sistema energético nacional. A segunda seção apresenta a metodologia utilizada, com detalhamento sobre o modelo BeGreen e as simulações realizadas. A terceira seção apresenta os resultados das simulações.

I – Mudanças Climáticas e restrição hídrica no Brasil

O processo de mudanças climáticas e aquecimento global pelo qual o planeta Terra atravessa traz sérias consequências para os ecossistemas, assim como para o Homem e seu meio de vida. Segundo o IPCC (2007) a influência humana no processo de aquecimento global é certa, sendo que as atuais emissões antropogênicas dos gases causadores do efeito estufa (GEE) são as maiores da série histórica. Os efeitos podem ser permanentes caso as emissões continuem em um patamar elevado e por isso ações de mitigação e adaptação, complementares às reduções, são fundamentais para reverter o quadro e minimizar os riscos.

Warming in the climate system is unequivocal and since 1950 many changes have been observed throughout the climate system that are unprecedented over decades to millennia. Each of the last three decades has been successively warmer at the Earth's surface than any preceding decade since 1850 (...) "Observations of changes in the climate system are based on multiple lines of independent evidence. Our assessment of the science finds that the atmosphere and ocean have warmed, the amount of snow and ice has diminished, the global mean sea level has risen and the concentrations of greenhouse gases have increased" (...) (AR5, IPCC, 2013).

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) foi estabelecido conjuntamente pela World Meteorological Organization (WMO) e pela United Nations Environment Programme (UNEP) para acessar e compilar informações científicas, técnicas e sócio econômicas relevantes para o entendimento dos riscos relacionados à mudança climática causada pelo homem. Com base nas informações coletadas, o IPCC estabeleceu cenários que contribuem para as avaliações sobre as consequências climáticas e ambientais das futuras emissões de GEE, assim como para avaliação de estratégias de mitigação e adaptação. Os cenários apresentam informações recentes sobre a reestruturação econômica mundial, examinando diferentes taxas de emissão, tendências em mudanças tecnológicas e caminhos de desenvolvimento econômico.

Quatro grupos de cenários foram estabelecidos pelo IPCC (2000). O cenário A1 é o mais otimista e descreve um mundo com rápido crescimento econômico, com a população mundial atingindo seu auge em meados do século XXI e havendo uma rápida introdução de tecnologias mais eficientes. O cenário A2 consiste em um mundo bem heterogêneo, com população crescente, lento e fragmentado crescimento econômico e avanço tecnológico. O cenário B1, por sua vez, descreve um mundo convergente, com pico de população em meados do século XXI, com tecnologias limpas, economia baseada no setor de serviços e de informação e foco na solução dos problemas sociais e ambientais, mas sem ênfase nos aspectos climáticos. Por fim, o cenário B2 descreve um mundo voltado para a solução de problemas locais, com população crescente (taxa de crescimento abaixo da A2), com níveis de crescimento econômico intermediários e níveis lentos de mudanças tecnológicas (mais lentos que os cenários A1 e B1). Neste trabalho, serão consideradas as projeções dos cenários A2 e B2, configurando uma escala entre um cenário mais pessimista em termos das políticas de adaptação e mitigação frente as mudanças climáticas e um mais otimista. Tais cenários são importantes pois estabelecem um ponto de partida para as simulações dos efeitos das mudanças climáticas sobre o meio ambiente e sobre a economia, possibilitando a adoção de estratégias de adaptação e mitigação por parte das comunidades e dos *policy makers*.

1.1. Estrutura do sistema nacional de geração e distribuição de energia elétrica

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica nacional é um sistema interligado hidro-termo-eólico subdividido em quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte. A interconexão dos sistemas via malha de transmissão permite a transferência de energia entre os subsistemas, explorando a diversidade entre os regimes hídricos das respectivas bacias e aumentando a segurança do fornecimento de energia (ONS, 2017).

As usinas hidrelétricas, distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas em diferentes regiões do Brasil, são as principais responsáveis pela geração de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN). As usinas térmicas localizadas próximas aos grandes centros de carga desempenham um papel estratégico para a segurança do SIN, sendo

ativadas em função das condições hidrológicas vigentes. Embora ainda pouco significativa, as usinas eólicas vem aumentando sua participação no SIN, com expansões nas regiões Sudeste e Sul do país (ONS, 2017).

Em 2016, a capacidade instalada de geração elétrica no Brasil alcançou 150,3 GW em 2016, sendo composta principalmente por usinas hidrelétricas (64,5%) e termelétricas (27,4%). Apesar de pequena participação na matriz elétrica brasileira das demais fontes renováveis, observou-se, no período de 2015 a 2016, um aumento de 32,6% da capacidade instalada das usinas eólicas (7,6 GW para 10,1 GW), enquanto a capacidade instalada da fonte hidrelétrica cresceu 5,8% e da térmica 4,3% no mesmo período (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017).

Em média, para produzir 1 MWh, o setor elétrico brasileiro emitiu 101,3 kg CO₂. Isso corresponde a uma baixa intensidade de carbono quando comparado ao resto do mundo. Apesar da elevada participação de renováveis na matriz elétrica, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira apresentou uma taxa de crescimento média 2,5% ao ano de 2000 a 2016. Além disso, a utilização da energia hidráulica encontra limitações frente à crise hídrica vivenciada pelo país desde 2014. As mudanças climáticas, à medida que afetam o volume das chuvas, agravam a situação hídrica. Além disso, observa-se um esgotamento das principais bacias hidrográficas brasileiras com capacidade de geração hidrelétrica de alta densidade energética nos principais centros consumidores do país (PEREIRA et al., 2006).

Em decorrência do próprio fenômeno das mudanças climáticas, o volume de água disponível para a geração de energia hidrelétrica tende a se tornar escasso, reduzindo o potencial de geração e encarecendo o preço da energia. .

O quadro de desgaste e limitações da atual estrutura da matriz elétrica brasileira, além dos altos custos de transmissão das usinas hidrelétricas ao mercado consumidor reafirmam a necessidade de diversificação, estimulando a utilização de fontes alternativas.

A solução imediata para suprir a demanda energética passa pela utilização das termelétricas que, por sua vez, esbarra na questão ambiental, uma vez que as emissões de GEE associadas a esta fonte de energia piorariam o quadro de crise hídrica ao contribuírem para o aquecimento global. Usinas termelétricas produzem energia elétrica a partir da queima de combustíveis fósseis como gás natural, derivados do petróleo e carvão mineral, que liberam GEE durante a queima. Também é possível utilizar combustíveis de biomassa, porém, os combustíveis fósseis ainda são muito utilizados no Brasil devido à sua maior eficiência em relação à biomassa (LIMA e SOUZA, 2015). Ademais, a energia termelétrica implica condições de geração mais caras, revertidas em aumentos de tarifas de energia

Segundo Pereira et al. (2006), dentre as fontes renováveis de energia elétrica, a energia eólica é a que vem recebendo maior volume de investimentos devido ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). O que se observa é uma associação entre a capacitação tecnológica da indústria nacional, custo decrescente da eletricidade de origem eólica e elevado potencial eólico nacional. O Brasil apresenta um elevado potencial disponível para geração de energia eólica, na ordem de 143 GW, dos quais aproximadamente 2% encontram-se na Região Centro-Oeste, 9% na Região norte, 16% na Região Sul, 20% na Região Sudeste e 53% na Região Nordeste (AMARANTE et al., 2001). Dessa forma, a energia eólica pode ocupar um papel importante no médio prazo, atuando como fonte descentralizada e complementar de energia acoplada a rede elétrica (Pereira et al. 2006), além de importante para o desenvolvimento regional. Estudos corroboram com a hipótese de viabilidade técnica e

econômica de projetos eólicos como Dutra e Tolmasquim (2002), Mattuella (2005) e Souza (2011).

1.2. Os impactos das mudanças climáticas sobre a geração de energia hidrelétrica no Brasil

O aquecimento global produz um impacto heterogêneo sobre o setor de energia elétrica, com efeitos tanto sobre a oferta quanto sobre demanda por energia. As fontes de energia renováveis como as hidrelétricas, as usinas de energia eólica e solar são mais sensíveis às oscilações climáticas e as consequentes alterações nos volumes de pluviosidade, precipitação, dos fluxos de vento e formação de nuvens. As altas temperaturas além de reduzir o volume disponível de recursos hídricos para a geração, fazem com que a demanda por energia se eleve em decorrência da maior utilização de aparelhos de condicionamento de ar.

Especificamente sobre o sistema elétrico brasileiro, os impactos se dariam por alterações no comportamento médio das vazões nas bacias dos rios que abastecem as usinas e pela elevação da probabilidade da ocorrência de eventos extremos que prejudica a confiabilidade e a operação do sistema. Segundo Ward (2013) as altas temperaturas e ondas de calor limitam a capacidade de transferência das linhas de transmissão, gerando maiores perdas de energia; as chuvas e as inundações são uma ameaça para os equipamentos das subestações; o aumento da temperatura ambiente afeta as usinas termelétricas via perda de eficiência na conversão térmica; as térmicas e usinas nucleares poderão necessitar de maior quantidade de água para resfriamento num contexto de redução da oferta de recursos hídricos; e a geração de energia hidrelétrica pode ser comprometida pela alteração no regime hidrológico em decorrência de mudanças no nível de precipitação.

Em estudo de Schaeffer et al. (2008) os impactos sobre as bacias brasileiras foram simulados² utilizando os cenários do IPCC para os anos de 2070 a 2100 e verificou-se que a vazão anual média poderá apresentar queda média de 8,6% no cenário A2 e de 10,8% no cenário B2. O estudo indica ainda que a vulnerabilidade do Brasil é maior quanto mais dependente for de fontes renováveis de energia, principalmente a hidroeletricidade. O Nordeste será a região mais afetada tanto na produção hidrelétrica, sendo a bacia do rio São Francisco extremamente impactada, quanto na produção de biodiesel, com queda de produtividade ou mesmo inviabilidade de algumas culturas oleaginosas como a mamona e a soja. O setor de energia eólica também será negativamente impactado no interior nordestino, sendo que a menor velocidade dos ventos esperados podem contribuir para uma redução de até 60% no potencial eólico nacional.

Na mesma linha de estudos acerca dos impactos das mudanças climáticas sobre o sistema nacional de energia, Lucena et. al. (2010) aponta que haverá um sério comprometimento da confiabilidade do sistema de geração hidrelétrica, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste, regiões estas mais afetadas pelas mudanças climáticas, o que contribui para aumentar as disparidades econômicas regionais do Brasil. A geração de energia elétrica eólica será impactada de maneira positiva no litoral e negativa no interior do país. Já os efeitos para a geração de energia termelétrica serão desprezíveis segundo o estudo.

Em relação à demanda por energia elétrica, Schaeffer et. al. (2008) indica que a mudança do clima pode representar um aumento aproximado de 9% no consumo do setor

² As projeções de vazão foram traduzidas para as projeções de geração de energia elétrica através do modelo SUICHI-O, que simula subsistemas hidrotérmicos interligados levando em consideração limites de intercâmbio de energia. Para informações técnicas sobre o SUICHI-O, ver CEPEL (2017).

residencial e de até 19% no setor de serviços, resultando em uma elevação de 8% no consumo total de eletricidade no Brasil em decorrência da maior necessidade de condicionamento de ar ocasionada pelo aquecimento global.

II – Metodologia

Na abordagem aplicada de equilíbrio geral, a economia é vista como um sistema de mercados interligados no qual um conjunto de equações descreve o comportamento dos agentes econômicos (famílias, empresas, governo e demais instituições da economia) no qual o equilíbrio entre todas as relações é obtido simultaneamente. Os modelos de EGC são, desse modo, capazes de considerar, de forma interligada, os efeitos de choques sobre preços, quantidades e sobre a estrutura da economia como um todo.

Tais modelos determinam endogenamente, através de programas microeconômicos de otimização, os preços relativos e as quantidades produzidas a partir de variações exógenas de políticas ou fenômenos. São considerados modelos aplicados, pois geram respostas numéricas para o problema de equilíbrio geral fornecendo resultados detalhados e abrangentes sobre os efeitos de políticas analisadas (FOCCHIZATTO, 2003). O presente trabalho se propõe a analisar os impactos da escassez hídrica sobre a oferta de eletricidade. Para tanto, utilizou-se o modelo de EGC denominado BeGreen, discutido em detalhes em Magalhães (2013).

O BeGreen segue a abordagem proposta por Johansen (1960), cuja estrutura matemática é representada por um sistema de equações lineares e com variáveis na forma de taxas de variação percentual. O modelo é capacitado para a análise dos impactos econômicos de redução da oferta de eletricidade decorrente de uma restrição hídrica por incluir dois módulos: um módulo de detalhada especificação energética e um módulo ambiental para projeção de políticas de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Além disso, o modelo possui estrutura de dinâmica recursiva e é calibrado para os dados mais recentes do Sistema de Contas Nacionais, da Matriz de Insumo-Produto e do Inventário Brasileiro de Emissões.

A detalhada especificação de setores, produtos e parâmetros relacionados à questão energética brasileira, utiliza principalmente dados do Ministério de Minas e Energia (MME) e de agências reguladoras do setor energético – especialmente a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O modelo é multi-produto, composto por 124 produtos e 58 setores e possui 14 componentes da demanda final: consumo das famílias (10 famílias representativas), consumo do governo, investimento, exportações e estoques. Além de três fatores primários (capital, trabalho e terra) e dois setores de margens (comércio e transportes) (MAGALHÃES, 2013).

Cada setor utiliza de insumos energéticos, insumos intermediários e fatores primários. O modelo possui dois grupos de setores produtivos. O primeiro grupo contém os setores com tecnologias de produção com vetores tecnológicos e o segundo é composto pelos setores com estruturas de substituição entre compostos energéticos.

No primeiro grupo, a especificação de vetores tecnológicos permite incluir restrição sobre a substituição entre os insumos utilizados pelas firmas, impedindo a substituição de insumos tecnicamente não factíveis. Pertencem a esse grupo os setores de “Geração de eletricidade” e “Fabricação de aço e derivados”. A estrutura tecnológica do setor de eletricidade, fundamental no presente artigo, é representada pela Figura 1.

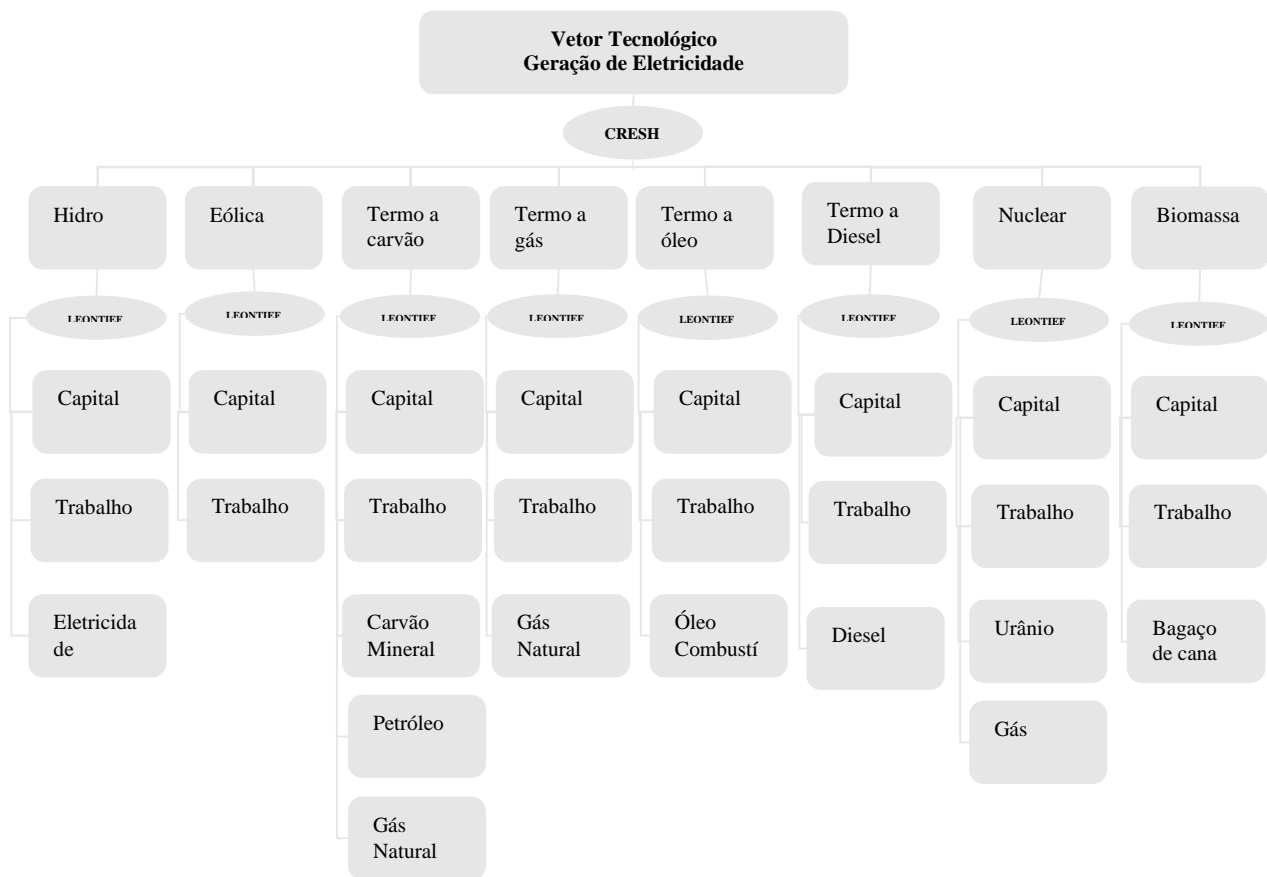


Figura 1: Estrutura hierárquica do vetor tecnológico da Geração de Eletricidade

Fonte: Adaptado de Magalhães (2013)

Conforme observado na Figura 1, a estrutura se divide em dois níveis, em que o primeiro nível está associado à combinação em proporções fixas (Leontief) entre insumos intermediários energéticos específicos e fatores primários para a composição de cada tecnologia. No segundo nível as diferentes tecnologias podem ser parcialmente substituídas. Assume-se que as firmas resolvem o problema de minimização dos custos através de uma agregação CRESH (*constant ratio of elasticities of substitution, homothetic*) de tecnologias de produção, escolhendo uma composição factível de tecnologias.

Os demais setores produtivos se enquadram no segundo grupo, as firmas escolhem a composição de insumos energéticos dentre os três compostos: composto renovável, auto geração de energia elétrica e composto não renovável. A demanda das famílias é baseada num sistema de preferências CES/Klein-Rubin, que dá origem ao sistema linear de gastos (LES) em que a participação do gasto acima do nível de subsistência, para cada bem, representa uma proporção constante do gasto total. A substituição entre bens domésticos e importados ocorre através de uma função CES. E o mercado de trabalho possui um elemento de ajuste intertemporal entre as variáveis salário real, emprego atual e emprego tendencial. Como existe uma relação negativa entre emprego e salário real, o nível de emprego é ajustado até convergir para o nível tendencial (MAGALHÃES, 2013).

2.1 Atualização dos dados e Simulações

A principal fonte para a desagregação da base de dados energética no BeGreen é o Balanço Energético Nacional Consolidado de 2005. Os dados sobre a oferta de eletricidade proveniente de hidrelétricas, térmicas e eólicas foram atualizados de 2005 a 2016 com base nos Balanços Energéticos Nacionais da Empresa de Planejamento Energético. Para o ano de 2017 e seguintes, até o ano de 2050, foram simulados, de forma recursiva, um cenário base e dois cenários de restrição hídrica.

O conjunto de variáveis exógenas e endógenas definido nas simulações representa as hipóteses sobre o funcionamento da economia. Essa escolha é conhecida como fechamento do modelo. Para a composição das simulações em dinâmica recursiva foram utilizados dois fechamentos: o Fechamento Base e o Fechamento de Política. O primeiro define as variáveis exógenas que operam no Cenário Base e o segundo, no Cenário de Política. O fechamento selecionado seguiu o padrão para modelos de dinâmica recursiva. No cenário Base, assume-se exógenas e determinadas pela informações históricas e de projeções de longo prazo, os principais componentes do PIB, além de preços, impostos e condições externas. No cenário Base, o crescimento médio da economia brasileira até 2050 foi definido em 2,5%, conforme projeções da BACEN. No Cenário de política, todas as variáveis são endógenas, exceto as variáveis relacionadas a produção de energia elétrica (oferta de eletricidade), tomadas como choques. Os resultados para o crescimento econômico no cenário de política são tratados em termos de desvios em relação ao Cenário Base especificado.

Foram considerados dois cenários de restrição hídrica, que implicam redução de 15%, até 2050, da oferta de eletricidade proveniente da fonte hidrelétrica. O primeiro cenário permite que a redução de eletricidade proveniente das hidrelétricas seja compensada por aumento da oferta das termelétricas e da energia eólica. Esse cenário procura analisar qual seria o impacto da restrição hídrica caso seja compensada pelas fontes tecnicamente viáveis no presente. O segundo cenário, mais restrito, tenta capturar o impacto isolado da restrição hídrica sobre a oferta hidroelétrica, sem considerar que a oferta das demais fontes de eletricidade (térmica e eólica) compensem essa redução, embora se assume que a oferta destas fontes cresçam conforme as projeções do Plano Nacional de Energia (2017).

III – Resultados

Os resultados do modelo Begreen apresentados nesta seção representam a diferença entre o cenário base e os cenários com os efeitos das mudanças climáticas sobre a produção de energia hidrelétrica no Brasil. O Cenário 1 considera que a geração de energia hidrelétrica apresentará uma queda gradual, chegando a 15% em 2050 sendo a queda compensada pelas outras fontes de geração de energia. O Cenário 2 considera apenas a restrição gradual na produção de energia hidrelétrica, as outras fontes não compensam essa queda, embora sigam seu crescimento esperado pelo PNE (2017).

Em relação ao Cenário 1, os resultados apontam um crescimento médio (usinas públicas e privadas) de 22,39% na produção de energia através das usinas termelétricas e de 27,92% na produção de energia eólica, em relação ao cenário base para o ano de 2050, conforme apresentado na Tabela 1. Em outras palavras, os resultados sugerem que, dadas as condições de preços e estrutura atual da matriz elétrica brasileira, capturadas endogenamente pelo modelo, seria necessário um crescimento médio acumulado de 25,15% de fontes de energia alternativas, para compensar as perdas decorrentes do fornecimento de energia hidroelétrica. Este é uma magnitude além do crescimento previsto pelo Plano Nacional de Energia,

O aumento esperado para a geração de energia elétrica através das usinas termelétricas, entretanto, pode contribuir para a intensificação do processo de aquecimento global via emissão de GEE, o que evidencia um perigoso efeito de feedback positivo. A geração de energia via usina eólica pode estar superestimado, pois não são considerados os potenciais efeitos das mudanças climáticas sobre esse setor ao longo do período analisado. Segundo Schaeffer (2008) as alterações nos fluxos de vento em decorrência do aquecimento global terão impacto médio negativo sobre a produção de energia eólica no Brasil. Caso os resultados estejam superestimados, espera-se que a produção de energia oriunda das termelétricas seja maior.

Tabela 1: Produção de energia elétrica por fonte no Cenário 1

Fonte/Anos	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Hidrelétrica	-2,3	-4,5471	-6,74252	-8,88744	-10,983	-13,0304	-15,0307
Termelétrica	3,03954	6,3255	9,67912	12,98031	16,20264	19,34096	22,39267
Eólica	3,40447	7,27113	11,38207	15,56022	19,73397	23,86497	27,92517

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

3.1 Resultados macroeconômicos e setoriais

A Tabela 2 apresenta os impactos macroeconômicos decorrentes de uma redução na oferta de eletricidade proveniente das hidrelétricas em 15% acumulados até 2050, para ambos cenários simulados. Observa-se uma redução marginal do PIB real, em 2050, de -0,14% no Cenário 1, em que as outras fontes compensam a perda pela geração hidrelétrica. No segundo cenário, embora ainda pequena, a queda no PIB db(-0,38%), uma vez que nesse cenário a redução da oferta de eletricidade não é compensada por aumento na oferta de outras fontes, ou seja, esse cenário representa o impacto negativo da restrição hídrica caso não ocorra uma substituição das hidrelétricas por outras fontes.

A queda do PIB real está fortemente associada ao comportamento do consumo das famílias e do investimento, que no acumulado no cenário 1 apresentaram queda de -0,13% e -0,05%, respectivamente. Já no cenário 2, as reduções seriam de 0,39% e 0,12%. O consumo das famílias se reduz devido ao aumento no preço da energia. Além disso, os produtores diminuem a produção e o investimento, como resultado do aumento de custos, dado que a energia é um insumo para a produção. Dessa forma, há menos renda na forma de pagamentos aos fatores primários para as famílias e, conseqüentemente, intensifica-se a redução do consumo.

De acordo com os mecanismos do modelo, a menor produção implica também redução da demanda pro trabalho. No Cenário 1 a queda no nível de emprego foi de -0,04%, enquanto no Cenário 2, essa queda é quatro vezes maior. As exportações também apresentaram um impacto negativo (-0,13% no Cenário 1 e -0,39% no Cenário 2)³. Esta queda deve-se ao efeito preço, pois como a restrição hídrica reduz a oferta de eletricidade e eleva os custos de produção, as exportações se tornam mais caras e menos atraentes para os consumidores externos. O aumento observado das importações está associado ao aumento dos preços no mercado interno (elevação do Índice de preços ao Consumidor).

Com relação à redução total das emissões, a restrição da oferta hidroelétrica levaria a uma redução das emissões em 0,22% no Cenário 1 e em 0,59% no Cenário 2. A redução das emissões se dá devido à redução da geração de energia e conseqüente queda do nível de atividade econômica que se traduz em menores emissões totais na economia.

³ É assumida a hipótese de país pequeno, em que as exportações variam inversamente com os preços domésticos.

No Cenário 2, no entanto, a queda é mais intensa, pois não há aumento da participação de outras fontes (em especial a térmica), que implica maiores emissões e também porque a redução do nível de atividade da economia é relativamente maior.

Tabela 2 – Impactos macroeconômicos da restrição hídrica (Var. % em 2050- desvio acumulado em relação ao cenário base)

Variáveis Macroeconômicas	Cenário 1	Cenário 2
	Var. % acumulada em 2050	Var. % acumulada em 2050
PIB real	-0,14	-0,38
Consumo das Famílias	-0,13	-0,39
Investimento	-0,05	-0,12
Exportações	-0,13	-0,39
Importações	0,34	0,80
Emprego	-0,04	-0,16
Índice de preços ao consumidor	0,14	0,40
Emissões Totais	0,22	0,59

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

A tabela 3 apresenta a evolução temporal do índice de preços ao consumidor entre os anos de 2020 e 2050. Conforme esperado, a restrição hídrica ocasionada pelas mudanças climáticas ao encarecer o valor da energia elétrica, eleva também o preço da produção dos demais produtos e serviços da economia. Para o cenário 1, os preços se elevam cerca de 13% e para o cenário 2 o aumento é de 40% entre 2020 e 2050.

A redução da oferta de energia implica aumentos nos custos de geração e transmissão que são refletidos no índice de preços ao consumidor. O aumento observado no índice é maior no segundo cenário devido à maior redução da oferta de eletricidade e, portanto, maior a elevação dos preços no setor e maiores os custos de produção nos demais setores que utilizam eletricidade como insumo para a produção.

Tabela 3: Índice de preços ao consumidor

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cenário 1	0,0145	0,02903	0,04502	0,06346	0,0848	0,10924	0,13698
Cenário 2	0,04829	0,09988	0,154	0,21107	0,27164	0,33606	0,40459

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

O aumento dos preços relacionados à produção do setor de geração de energia elétrica pode ser confirmada na Tabela 4, de forma mais detalhada. Verifica-se que a restrição da oferta de energia hidrelétrica tem impacto positivo sobre preços do composto de energia, que representa o valor do insumo energia elétrica. O cenário 1 apresenta um aumento mais brando, pois as outras fontes de energia elétrica suprem a redução da oferta de energia hidrelétrica. Já no cenário 2, como não há compensação entre as fontes, o aumento de preços é cerca de quatro vezes maior. Ressalta-se que em ambos os cenários há aumento de preços, evidenciando os efeitos negativos das mudanças climáticas sobre o setor.

Tabela 4: Preços para o setor de geração de energia elétrica

Preço do composto de energia (insumo energia elétrica)		
	2020	2050
Cenário 1	0,05727	0,4581
Cenário 2	0,22189	1,54704
Preço médio de produção		
	2020	2050
Cenário 1	-1,77052	-4,5278
Cenário 2	-4,02584	-8,06194

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Ainda sobre os preços do setor de geração de energia elétrica, os resultados indicam que, apesar de haver aumento nos preços do insumo energia em ambos os cenários, o preço médio da produção no setor declina. A redução é maior no cenário 2 em virtude da maior queda na demanda em decorrência do desaquecimento econômico apresentado pela simulação.

Em relação ao nível de atividade setorial, as projeções apontam que sem considerar o setor de geração de energia elétrica, o nível médio de atividade cai cerca de 0,05% no cenário 1 e cerca de 4% no cenário 2. Os setores que apresentariam crescimento em ambos os cenários estão ligados diretamente e indiretamente à energia, com destaque para petróleo e gás natural, refino de petróleo, álcool e geração de eletricidade, este último apresentado crescimento acumulado de 22% no cenário 1 e de 50% no cenário 2 em 2050, conforme a tabela 5.

Tabela 5: Indicadores por setor

Cenários	Nível de atividade por setor			
	1		2	
	2020	2050	2020	2050
Anos				
1 Agricultura	-0,007	-0,066	-0,027	-0,217
2 Pecuária e Pesca	-0,006	-0,073	-0,029	-0,265
3 Petróleo e Gás	0,006	0,039	0,016	0,103
4 Minério de Ferro	-0,007	-0,061	-0,020	-0,163
5 Outras Indústrias Extrativas	-0,012	-0,108	-0,035	-0,294
6 Alimentos e Bebidas	-0,006	-0,066	-0,031	-0,271
7 Fumo	-0,010	-0,088	-0,035	-0,268
8 Têxteis	-0,010	-0,092	-0,035	-0,284
9 Artigos de Vestuário	-0,010	-0,090	-0,033	-0,272
10 Couro e Calçado	-0,011	-0,103	-0,037	-0,313
11 Produtos de Madeira	-0,010	-0,093	-0,032	-0,267
12 Celulose e Papel	0,006	0,029	-0,027	-0,201
13 Jornal e Revista	0,006	0,061	0,002	0,050
14 Refino de Petróleo	0,016	0,116	0,054	0,357
15 Álcool	0,000	0,011	0,002	0,072
16 Produtos Químicos	0,005	0,050	-0,010	-0,033
17 Resina	-0,001	-0,016	-0,027	-0,188
18 Produtos Farmacêuticos	-0,007	-0,071	-0,026	-0,218

19 Defensivos Agrícolas	-0,009	-0,081	-0,036	-0,290
20 Perfumaria e Outros	-0,002	-0,012	-0,015	-0,104
21 Tintas e Outros	-0,007	-0,066	-0,026	-0,218
22 Químicos Diversos	-0,001	-0,013	-0,022	-0,158
23 Borracha e Plástico	0,000	0,005	-0,014	-0,089
24 Cimento	-0,009	-0,088	-0,019	-0,186
25 Outros Produtos Minerais Não Metálicos	-0,007	-0,066	-0,022	-0,200
26 Fabricação d Aço e Derivados	-0,015	-0,116	-0,048	-0,316
27 Metais Não Ferrosos	-0,025	-0,170	-0,047	-0,314
28 Produção de Metal	-0,006	-0,057	-0,023	-0,186
29 Máquinas, Equipamentos Manufaturados	-0,013	-0,124	-0,042	-0,344
30 Eletrodomésticos	-0,014	-0,130	-0,046	-0,366
31 Materiais de Escritório e Informática	-0,007	-0,076	-0,019	-0,200
32 Maquinário Elétrico e Outros	0,055	0,504	0,122	1,065
33 Materiais Elétricos e outros	-0,011	-0,121	-0,033	-0,317
34 Aparelhos Médicos e Outros	-0,007	-0,061	-0,024	-0,178
35 Automóveis e Utilitários	-0,023	-0,175	-0,071	-0,475
36 Caminhão e Ônibus	-0,020	-0,174	-0,061	-0,468
37 Peças de Veículos	-0,007	-0,045	-0,028	-0,179
38 Outros equipamentos de transporte	-0,013	-0,114	-0,043	-0,324
39 Indústrias diversas	-0,009	-0,091	-0,032	-0,271
40 Geração de eletricidade	3,015	22,839	7,110	50,240
41 Transmissão, distribuição de eletricidade	-0,116	-0,844	-0,243	-1,832
42 Distribuição de gás natural	0,001	-0,001	0,012	0,164
43 Água e esgoto	-0,001	-0,004	-0,008	-0,043
44 Construção	-0,003	-0,042	-0,008	-0,115
45 Comércio	-0,001	-0,009	-0,008	-0,069
46 Transporte, Armazenagem e Correios	0,009	0,087	0,011	0,132
47 Serviços e Informação	0,008	0,079	0,011	0,126
48 Intermediação financeira e Seguros	0,001	0,011	-0,004	-0,017
49 Serviços Imobiliários e Aluguel	0,000	-0,010	-0,001	-0,029
50 Serviços de manutenção e reparo	-0,004	-0,041	-0,019	-0,150
51 Serviços de Alojamento e Alimentação	-0,010	-0,091	-0,039	-0,305
52 Serviços Prestados às Empresas	0,031	0,321	0,064	0,647
53 Educação Mercantil	-0,015	-0,156	-0,048	-0,443
54 Saúde Mercantil	-0,012	-0,120	-0,041	-0,351
55 Outros Serviços	-0,011	-0,116	-0,040	-0,365
56 Educação Pública	0,000	0,000	0,000	0,000
57 Saúde Pública	0,000	0,000	0,000	-0,001
58 Administração Pública e Seguridade Social	0,000	0,002	0,000	0,002
Média	0,046	0,345	0,101	0,703

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

3.2. Resultados por grupos de famílias

Uma política que eleva os preços da energia elétrica, ou que repercute sobre os preços da economia em geral, pode ter impactos desproporcionais sobre as famílias. O modelo BeGreen permite capturar efeitos sobre grupos de famílias, já que apresenta em sua especificação 10 famílias representativas, definidas de acordo com os decis de renda total por unidade familiar. As denominações H1 a H10 representam a desagregação das famílias baseadas em decis de renda, no qual H1 refere-se ao primeiro decil (famílias de mais baixa renda), ao passo que em H10 estão às famílias na faixa de maior renda.

A participação no consumo de cada decil pode ser decomposta pelos bens energéticos do modelo, de forma a apontar o padrão dos gastos de cada decil, que se reflete nos resultados das simulações. Como pode ser observado na tabela 6, os decis mais baixos gastam uma proporção maior de sua renda com energia elétrica se comparado aos decis superiores. No total, as famílias do menor decil de renda gastam cerca de 4,3% da renda no consumo de energia elétrica, ao passo que o mais alto decil gasta apenas 1,6%. Logo, do ponto de vista distributivo, uma política que encarece a energia elétrica tende a ter efeitos mais adversos sobre as classes de renda mais baixas, notadamente se não houverem políticas diferenciadas de tarifas dado consumo e renda. Porém, os resultados no modelo de equilíbrio geral podem apontar outros resultados, dado a cadeia de relações intersetoriais. Um fenômeno que aumente a energia elétrica (um importante insumo produtivo) tem implicações sobre preços e quantidades produzidas sobre todos os demais setores na economia, repercutindo sobre o índice de preços ao consumidor, emprego, renda e nível de produção da economia. Isto explica os resultados encontrados sobre a variação de consumo e utilidade (proxies de bem-estar) na tabela 7.

TABELA 6- Participação dos bens energéticos no consumo das famílias - 2005

Bens energéticos	Consumo das Famílias (%)									
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10
Lenha	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
Carvão Vegetal	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
GLP	0.26	0.25	0.29	0.34	0.42	0.6	0.69	0.92	1.17	1.24
Gasolina	0.34	0.08	0.08	0.23	0.31	0.4	0.9	1.79	2.61	5.47
Óleo Diesel	0.1	0.17	0.08	0.19	0.15	0.13	0.17	0.24	0.28	0.31
Querosene	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01
Outros Refino de Petróleo	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.11	0.14	0.14
Álcool	0.12	0.12	0.26	0.33	0.43	0.35	0.59	0.67	0.82	0.4
Energia Elétrica	4.12	4.15	3.96	3.75	3.55	3.46	3.13	2.77	2.44	1.65
Gás Natural	0.23	0.23	0.22	0.21	0.19	0.19	0.17	0.15	0.13	0.09
Total Bens Energéticos	5.2	5.1	4.9	5.1	5.1	5.2	5.8	6.7	7.6	9.4
Produtos agropecuários e alimentos	33.9	33.6	29.4	28.1	24.8	22.2	20.1	16.7	13.3	7.8
Serviços	26.5	28.0	31.5	32.3	35.5	38.3	40.7	44.0	46.9	55.5
Demais Insumos Intermediários	34.3	33.3	34.2	34.6	34.6	34.3	33.5	32.7	32.1	27.4
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Tabela 7 - Impactos da restrição hídrica sobre o consumo e a utilidade das famílias (var. % acumulada em 2050- desvio acumulado em relação ao cenário base)

Famílias	Cenário 2		Cenário 1	
	(var. % acumulada em 2025)		(var. % acumulada em 2025)	
	Consumo	Utilidade	Consumo	Utilidade
H01	-0,11264	-0,13700	-0,35487	-0,42964
H02	-0,12991	-0,16765	-0,39965	-0,51251
H03	-0,12586	-0,16015	-0,38416	-0,48528
H04	-0,12583	-0,15954	-0,38406	-0,48421
H05	-0,13206	-0,16871	-0,39657	-0,50546
H06	-0,13104	-0,16745	-0,39273	-0,50105
H07	-0,13151	-0,16741	-0,39213	-0,49878
H08	-0,13179	-0,16709	-0,39014	-0,49472
H09	-0,13490	-0,17013	-0,39557	-0,49944
H10	-0,13639	-0,17087	-0,39192	-0,49235

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Conforme pode se observar, embora as diferenças sejam marginais, os resultados sugerem que as famílias de decis mais baixos de renda seriam relativamente menos afetadas face as famílias mais altas de renda. Em parte estes resultados derivam também do volume de energia consumida pelas famílias mais ricas, relativamente muito mais alta.

IV – Considerações Finais

O presente artigo tem por objetivo simular os impactos de uma redução na oferta de energia hidrelétrica sobre a economia brasileira como consequência dos efeitos projetados das mudanças climáticas para o período de 2020 a 2050. Dois cenários foram simulados, o primeiro permitindo que a oferta de energia elétrica oriunda das usinas termelétricas e eólicas aumentassem para compensar a restrição imposta às hidrelétricas, e um segundo, no qual o aumento dessas fontes seguissem o planejamento do PDE de 2016.

Os resultados indicam que a produção de energia elétrica por parte das usinas termelétricas e eólicas deveriam aumentar cerca de 25% até 2050 de forma a compensar a queda na oferta de energia das hidrelétricas, projetadas pelos cenários climáticos. Levando em consideração que as emissões de gases causadores do efeito estufa pelas termelétricas contribuem para o processo de aquecimento global, um planejamento adequado por parte dos *policy makers* via fontes limpas e renováveis torna-se aconselhável.

Os resultados sugerem queda nos principais indicadores macroeconômicos, embora de forma marginal até 2050. Em relação aos efeitos sobre o PIB, verifica-se queda em ambos os cenários para o ano de 2050. No Cenário 1, em que as termelétricas e as usinas eólicas aumentam a produção para compensar a restrição de oferta de energia das hidrelétricas, a queda é de 0,14%. No Cenário 2, analisando-se o efeito puro da restrição de energia hidrelétrica, em que as outras fontes não a compensam, a retração do PIB é da ordem de 0,38%. A queda no PIB está associada à queda na geração de energia hidroelétrica e consequente queda no nível de atividade dos demais setores que utilizam energia como insumo para a produção, o que gera redução nas exportações e implicam também em redução no consumo das famílias, devido ao aumento observado no nível de preços.

Contudo, a imposição de uma restrição de oferta de energia elétrica torna esse insumo mais caro e consequentemente onera a produção dos demais setores da economia, elevando o índice de preços geral. O índice de preços ao consumidor nos cenários 1 e 2

aumentaram em relação ao cenário base cerca de 13% e 40%, respectivamente. Esse aumento generalizado de preços desestimularia os níveis de investimento, emprego e atividade na economia. Não obstante, em relação ao bem estar das famílias, verifica-se que devido ao fato das famílias de baixa renda consumirem proporcionalmente maior parte da renda com energia elétrica, os efeitos de restrição hídrica penalizariam mais os orçamentos destas famílias.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas De Energia Elétrica do Brasil. **Brasília: Aneel**, 2008.

ANEEL (2005). Cadernos Temáticos ANEEL. Energia Assegurada. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília DF, Abril 2005

AMARANTE, O.A.C., BROWER, M., ZACK, J., SÁ, A.L., 2001, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, Brasília, Brasil.

CEPEL (2017). SUISHI - Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Subsistemas Hidrotérmicos Interligados. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel. Disponível em: <http://www.cepel.br/produtos/suishi-modelo-de-simulacao-a-usinas-individualizadas-de-subsistemas-hidrotermicos-interligados.htm>

DUTRA, R. M.; TOLMASQUIM, M. T. Estudo de viabilidade econômica para projetos eólicos com base no novo contexto do setor elétrico. **Revista Brasileira de Energia**, v. 9, n. 1, p. 135-158, 2002.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional. Rio de Janeiro**, 2015.

FOCHEZATTO, A. **Construção de um modelo de equilíbrio geral computável regional: aplicação ao rio Grande do Sul**. Brasília: IPEA, 2003 (Texto para Discussão: 944)

IPCC, 2000 – Intergovernmental Panel on Climate Change. Special Report on Emissions Scenarios Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 570

IPCC, 2007 - 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, R.K. Pachauri and A. Reisinger (eds), Geneva: IPCC. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/029.htm#storya1>

IPCC, 2013 - Working Group I - Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers. October 2013, Switzerland

LIMA, M. T. S. L.; SOUZA, M. C. Discorrendo Sobre o Uso das Termelétricas no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 17-23, 2015.

LUCENA, A. F. P., Schaeffer, R., Szklo, A. S. “Least-cost Adaptation Options for Global Climate Change Impacts on the Brazilian Electric Power System.” *Global Environmental Change*, v.20, p.342 -350, 2010.

LUCENA, A. F. P., Szklo, A. S., Schaeffer, R., Dutra, R. M. “The Vulnerability of Wind Power to Climate Change in Brazil. *Renewable Energy*,” v.35, p.904 -912, 2010.

LUCENA, A. F. P., Szklo, A. S., Schaeffer, R. “Renewable Energy in Unpredictable and Changing Climate.” *Modern Energy Review*, .1, p.22 -25, 2009.

LUCENA, A. F. P., Szklo, A. S., Schaeffer, R. “The Vulnerability of Renewable Energy to Climate Change in Brazil.” *Energy Policy*, v.37, p.879 -889, 2009.

MAGALHÃES, A. S. **Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa. 2013.** 293 f. Tese (Doutorado em Economia) - Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MATTUELLA, J. M. L. **Fontes energéticas sustentáveis: um estudo sobre a viabilidade do aproveitamento da energia eólica em três localidades, no RS.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Rio Grande do Sul, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira.** Brasília, 2015.

ONS (2017). OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Sobre o SIN. O que é o SIN. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>

SCARAMUCCI, J. A.; PERIN C.; PULINO, P.; BORDINI, O. F. J. G.; CUNHA, M.P.; CORTEZ, L.A.B. **Geração distribuída de eletricidade a partir de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil: um modelo computável de equilíbrio geral.** In: Anais do IV Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

SHAEFFER, R; SZKLO, A. S; LUCENA, A. F. P; SOUZA, R. R; BORBA, B. S. M. C; COSTA, I. V. L; PEREIRA JUNIOR, A. O; CUNHA, S. H; MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEGURANÇA ENERGÉTICA NO BRASIL. COPPE/UFRJ . Rio de Janeiro. Junho de 2008

SOUZA, L. B. **Viabilidade econômica de usinas eólicas na atual conjuntura do setor elétrico brasileiro.** 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Regulação de Mercados)- Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

TOLMASQUIM, M. **Plano Nacional de energia 2030.** Conselho nacional de política energética, Brasília, 2007.

WARD, D. “The effect of weather on grid systems and the reliability of electricity supply”. *Climate Change*, nº121, pp. 103–113, 2013.