



Oferta e Demanda de Energia – o papel da tecnologia da informação na integração dos recursos

26 a 28 de setembro de 2016

Gramado – RS

Mudanças climáticas e os impactos sobre o setor de energia elétrica: Uma revisão da bibliografia

Vanessa Barroso da Silva Huback

Nivalde José de Castro

Guilherme de Azevedo Dantas

Patrícia Pereira da Silva

Rubens Rosental

Maria Alice Magalhães

RESUMO

O tema de mudanças climáticas vem sendo associado com a questão energética, em especial as energias renováveis, que são dependentes dos recursos naturais como água e vento, por exemplo. A relevância desta relação deve-se ao fato de, por um lado, as fontes renováveis de energia representarem uma das principais alternativas estratégicas para a mitigação da mudança do clima global. E, por outro lado, ao serem dependentes das condições climáticas, ficam potencialmente sujeitas a impactos do próprio fenômeno que pretendem evitar. No entanto, o segmento de geração de energia elétrica baseado em fontes não renováveis, especificamente das centrais termelétricas, também está sujeito aos impactos das mudanças climáticas, no que se refere ao recurso natural água. Os processos de geração das centrais térmicas são também dependentes das águas para suportar os sistemas de resfriamento. Neste contexto, o trabalho proposto tem como

objetivo central estruturar uma revisão da literatura sobre o tema de impactos de mudanças climáticas sobre o setor de energia elétrica no segmento das hidrelétricas e das centrais térmicas, tendo como foco analítico o Brasil, os Estados Unidos e União Europeia, em função da diversidade econômica e da composição da matriz elétrica destas regiões.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Eletricidade, Hidrelétricas, Termelétricas.

ABSTRACT

The theme of climate change has been associated with the energy issue, particularly renewable energies, which depend heavily on natural resources such as water and wind, for example. The relevance of this relationship is due to the fact that, on the one hand, renewable energy sources represent one of the most important strategic alternatives for the mitigation of global climate change. And, on the other hand, for being dependent on weather conditions, are potentially subject to the impacts of the phenomenon that want to avoid. However, the power generation segment based on non-renewable sources, specifically thermoelectric power plants is also subject to the impacts of climate change, with regard to natural resource water. Generation processes of thermal power plants are also dependent on water to support the cooling systems. In this context, the proposed work has at its main objective to structure a review of the literature on the subject of climate change impacts on the electricity sector with a focus in the United States, Brazil and the European Union, because of the economic diversity and the electric power matrix composition of these regions.

Keywords: Climate Change, Electricity, Hydroelectric, Thermoelectric.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o IPCC (2013), estudos indicam a possibilidade de que as emissões de GEE provocarão mais aquecimento e mudanças em todos os componentes do sistema climático. As mudanças climáticas estão fortemente associadas ao setor energético, sobretudo as energias renováveis, que embora

contribuam com a mitigação das alterações climáticas, possuem forte dependência da dotação de recursos naturais (SCHAEFFER *et al.*, 2012).

Mesmo o setor de geração de base térmica fica também exposto às mudanças no clima no que se refere à disponibilidade de águas, pois a redução nas chuvas pode reduzir o abastecimento de água disponível para o resfriamento da usina, afetando assim a disponibilidade da planta. Termelétricas usam vapor para produzir eletricidade, e o processo termodinâmico envolvido depende muito do suprimento de água de resfriamento, que é fornecido por rios e lagos adjacentes. Em alguns casos usa-se também água do mar, após um processo de dessalinização. Na mesma direção e com maior gravidade as alterações climáticas podem reduzir a vazão dos rios afetando diretamente a capacidade de geração das plantas hidrelétricas (EBINGER e VERGARA, 2011), como foi observado no período de outubro de 2012 até novembro de 2015 no Brasil.

No capítulo 2 é feita uma revisão teórica sobre o tema de impactos de mudanças climáticas sobre o setor elétrico, especificamente sobre as UTE e sobre as UHE, o foco desse trabalho. Já no capítulo 3 são estudados os casos de Brasil (UHE), Estados Unidos, e Europa (UTE). Por fim, é apresentada a conclusão do trabalho, indicando em linhas gerais que os efeitos de futuras variações no clima não têm sido incorporados no planejamento e em investimentos do setor elétrico e que há um grande desafio em se produzir cenários consistentes para avaliar esses impactos

2. IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo SCHAEFFER *et al* (2012), de acordo com projeções climáticas recentes, é provável que uma mudança climática global tenha impactos nos sistemas naturais e humanos. Todavia, apesar de ser um dos sistemas chave para o desenvolvimento social e econômico, os sistemas energéticos geralmente não incorporam os efeitos de futuras variações no clima no planejamento e operação. Sistemas de energia elétrica estão entre as infraestruturas críticas das sociedades modernas, por isso é extremamente

importante aumentar a sua resistência às incertezas climáticas e aos desafios futuros que possam surgir devido às mudanças climáticas possíveis.

Os eventos climáticos extremos têm uma influência significativa sobre a confiabilidade e a operação do sistema elétrico, e por sua vez sobre a resiliência de toda a infraestrutura de energia, cuja extensão depende da gravidade do tempo (WARD, 2013), destacando-se os seguintes aspectos:

- i. Altas temperaturas e as ondas de calor limitam a capacidade de transferência de linhas de transmissão, e aumentam as perdas de energia.
- ii. Chuva e inundações não representam um perigo para as linhas de transmissão, mas para equipamentos da subestação.
- iii. A eficiência decrescente da conversão térmica devido ao aumento da temperatura ambiente afeta as usinas termelétricas.
- iv. Mudanças nos padrões de precipitação podem afetar a geração de energia hidrelétrica.
- v. Maior frequência e intensidade dos períodos de seca pode gerar uma menor disponibilidade de água para fins de resfriamento em usinas térmicas e nucleares.

Com base nestas evidências, pode-se concluir que os eventos climáticos extremos podem impactar significativamente a infraestrutura de energia de várias maneiras. Neste sentido, avaliar esses impactos é uma tarefa que exige estudos específicos para estimar e quantificar possíveis alterações na sua frequência e intensidade devido às mudanças climáticas previstas por autores como BEARD *et al* (2010), UNIVERSITY OF CAMBRIDGE AND WORLD ENERGY COUNCIL (2013) e SCHAEFFER *et al* (2012), mas ainda não quantificáveis.

3. ESTUDOS DE CASO DE IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O SETOR ELÉTRICO

A presente seção abordará três estudos de caso de impactos de mudanças no clima sobre o setor elétrico, mostrando especificamente como alterações na temperatura e precipitação podem afetar a vazão dos rios que

abastecem as hidrelétricas do Brasil e a disponibilidade hídrica para resfriamento das usinas termelétricas dos Estados Unidos e da Europa.

3.1 Brasil

O setor elétrico brasileiro baseia-se fortemente em energias renováveis, sendo responsável por 74,6% da geração de energia no país. (EPE, 2015).

O relatório especial sobre os cenários de emissões do Painel Intergovernamental sobre as alterações no clima (IPCC SRES) criou quatro famílias de cenários de emissão (A1, A2, B1 e B2), que são amplamente utilizados em análises de futuros impactos climáticos. Em LUCENA *et al* (2010), esses cenários de emissões foram utilizados em simulações climáticas futuras com base nas projeções dos impactos climáticos no setor energético.

Para a produção hidrelétrica no Brasil, no total, os impactos previstos pelos autores mostram uma perda na confiabilidade da geração de eletricidade a partir de fontes hidráulicas. A energia firme - definida como a maior quantidade de energia que o sistema hidrelétrico pode fornecer 100% do tempo ou dadas as piores ou condições críticas hidrológicas - do sistema de geração hidrelétrica do país cai em 31% e 29% nos cenários A2 e B2, respectivamente.

De acordo com as projeções climáticas, a disponibilidade de água das regiões Norte e Nordeste irá diminuir drasticamente, afetando a geração hidrelétrica nessas regiões de forma negativa. Em algumas regiões, como na Parnaíba e nas Bacias do Atlântico Leste, a perda na geração de energia elétrica média estimada poderá ser superior a 80% (LUCENA *et al.*, 2010). Esses valores estimados podem ser vistos na figura abaixo.

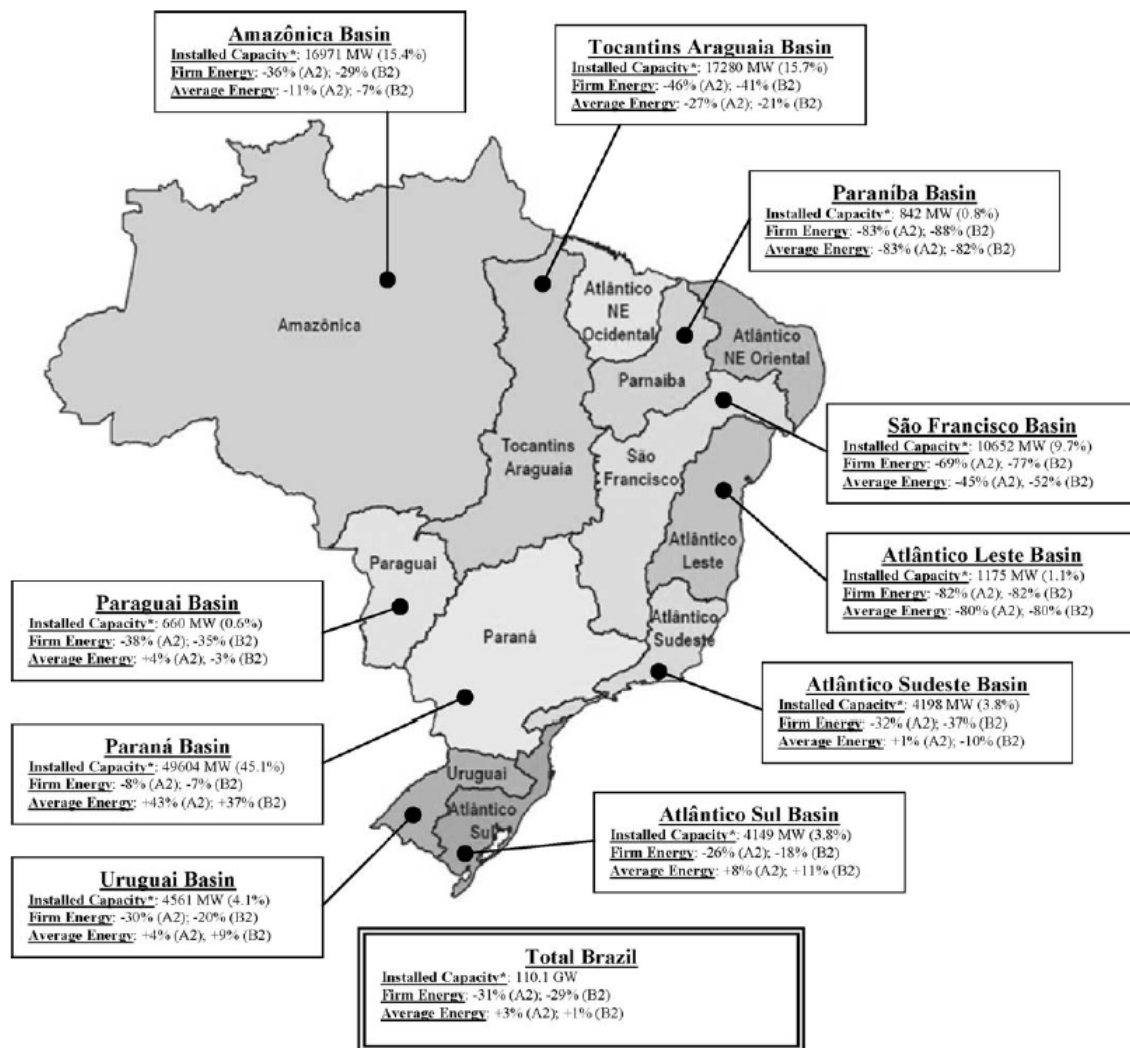


Figura 1 - Projeção de disponibilidade hídrica no Brasil. (Lucena *et al.*, 2010, pág.345)

Dos impactos descritos no estudo de LUCENA *et al* (2010), o mais relevante é a perda de confiabilidade hidrelétrica, dada a elevada dependência do país nesta fonte particular (80% in 2008 – MME, 2009 Vanessa atualizar este dado). O menor fator de capacidade indica que o sistema produzirá uma quantidade mais baixa de energia (energia assegurada) para uma dada capacidade instalada. Em outras palavras, a quantidade de confiança e, portanto, a energia, que o sistema pode esperar de energia hidrelétrica será menor, dada as futuras condições de fluxo do rio que foram projetadas.

Os resultados do modelo do estudo de LUCENA *et al* (2010) indicam que teria que ser instalada uma capacidade extra em 2035 para evitar que o sistema falhe por conta da falta de segurança projetada para as hidrelétricas, além de outros impactos considerados. O sistema deve ser dimensionado para

gerar 162 TWh e 153 TWh adicionais por ano nos cenários A2 e B2, respectivamente. Essa capacidade instalada poderia ser composta por usinas a gás natural, por tecnologias avançadas de queima do bagaço de cana, energia eólica, nuclear ou carvão (LUCENA *et al.*, 2010).

De acordo com premissas técnicas e econômicas, os investimentos de capital necessários para construir essa capacidade instalada extra seriam de 51 e 48 bilhões de dólares nos cenários A2 e B2, respectivamente. Isso representa aproximadamente metade do valor de 10 anos de investimentos na expansão do sistema de geração de energia do país, de acordo com o plano decenal de expansão de energia 2024 (EPE, 2015).

3.2 Estados Unidos

Nos últimos anos, foram realizadas muitas avaliações sobre o uso da água para a energia, buscando-se determinar os impactos da escassez de água relacionado ao aumento da demanda de energia e de água no setor de energia. Dado que as projeções climáticas estimam as temperaturas do ar mais elevadas para os Estados Unidos nos próximos anos (IPCC, 2013), muitas destas avaliações procuram avaliar a produtividade das plantas de geração de energia elétrica em relação: (i) aos baixos níveis de água, (ii) alta das temperaturas da água, e (iii) aumento da temperatura do ar.

As usinas de energia elétrica dos EUA têm encontrado restrições de água e temperatura que levam à diminuição da operacionalidade. A seca que ocorreu nos estados do Sudeste em 2007 e 2008 representou um risco para a carga de base das plantas de geração térmica. Seca contínua e aumento das temperaturas no Texas provocou a redução da geração de eletricidade em certas termelétricas em 2012, enquanto temperaturas extremamente baixas provocaram o desligamento de usinas no estado e no sudoeste, em fevereiro de 2011 (GALBRAITH, 2011).

O estudo de JAGLOM *et al* (2014) aborda os potenciais impactos de mudanças de temperatura no setor de energia elétrica dos Estados Unidos. Os resultados do trabalho apontam para um cenário de referência com temperaturas mais elevadas em 2050, o que tem por consequência um aumento de 6,5% na demanda de energia elétrica em relação a um cenário controle com temperaturas constantes.

Apesar desse aumento da demanda em nível nacional, há uma grande variação regional e sazonal. Observa-se uma grande queda na quantidade de dias de demanda por aquecimento elétrico no sul dos Estados Unidos, onde a necessidade de aquecimento já é baixa atualmente. Entretanto, nas regiões do norte do país há um aumento no percentual da demanda de refrigeração. Os maiores aumentos na demanda por resfriamento estão no sul da Califórnia e no Centro-Oeste do território estadunidense (JAGLOM *et al*, 2014), ilustrada na Figura 2.

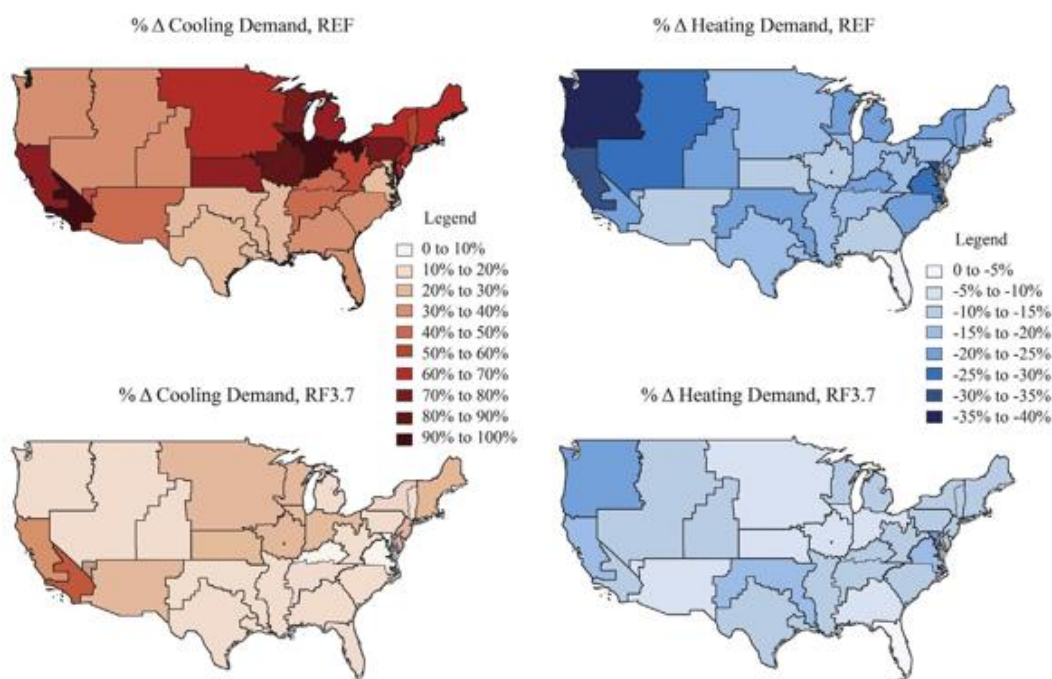


Figura 2 – Mudanças percentuais em demanda anual de aquecimento e refrigeração em 2050. (Jaglom *et al*, 2014, pag. 530)

O impacto anual de apagões relacionados com o clima nos Estados Unidos varia de US\$ 20 a US\$ 55 bilhões e a tendência de tais eventos mostra que a sua frequência tem aumentado ao longo dos últimos 30 anos, com um aumento dramático na década de 2000 (KENWARD e RAJA, 2014).

3.3 Europa

Conforme examinado anteriormente, mudanças no clima induzem vários impactos diretos e indiretos. Entre os efeitos diretos estão o provável aumento na frequência de ondas de calor e secas na Europa. Estes efeitos imediatos da mudança climática, por sua vez, causam efeitos a jusante.

Escassez de água induzida pela seca e pela falta no abastecimento de água afetam outros setores e infraestruturas críticas. A falta de abastecimento de água para fins de refrigeração, por exemplo, irá afetar negativamente a geração de eletricidade em usinas de energia (RÜBBELKE e VÖGELE, 2011).

Em 2009, uma onda de calor no verão causou a escassez de água de resfriamento no sistema elétrico na França. Como consequência, o nível de geração de energia nuclear francesa caiu significativamente. No total, um terço das centrais nucleares do maior exportador europeu de eletricidade, a França, foi desligada (PAGNAMENTA, 2009).

O aspecto positivo dessa incidência específica é que a escassez nacional de energia elétrica poderia ser compensada pelo sistema europeu de intercâmbio de energia elétrica. No entanto, de acordo com o IPCC (2013), por causa do aquecimento global, a frequência de períodos caracterizados pela escassez e pelas altas temperaturas da água deverá aumentar na Europa no futuro. Portanto, uma questão crucial é saber se o sistema elétrico europeu será capaz de lidar com essas ameaças agravantes no futuro.

Aproximadamente 43% da demanda de água da União Europeia é usada na refrigeração pelo setor de energia e, portanto, especialmente essa área tende a ser seriamente afetada pela mudança climática no futuro. No verão de 2003 foi observado que mais de 30 unidades de usinas de energia nuclear na Europa tiveram de reduzir a sua produção por causa das limitações nas possibilidades de descarga de água de arrefecimento (IAEA, 2004). A Figura 3 apresenta a localização das usinas nucleares da Europa. Em vermelho estão as usinas com problema de refrigeração e em verde as usinas sem problemas com refrigeração nos últimos anos segundo os dados da IAEA (2008).

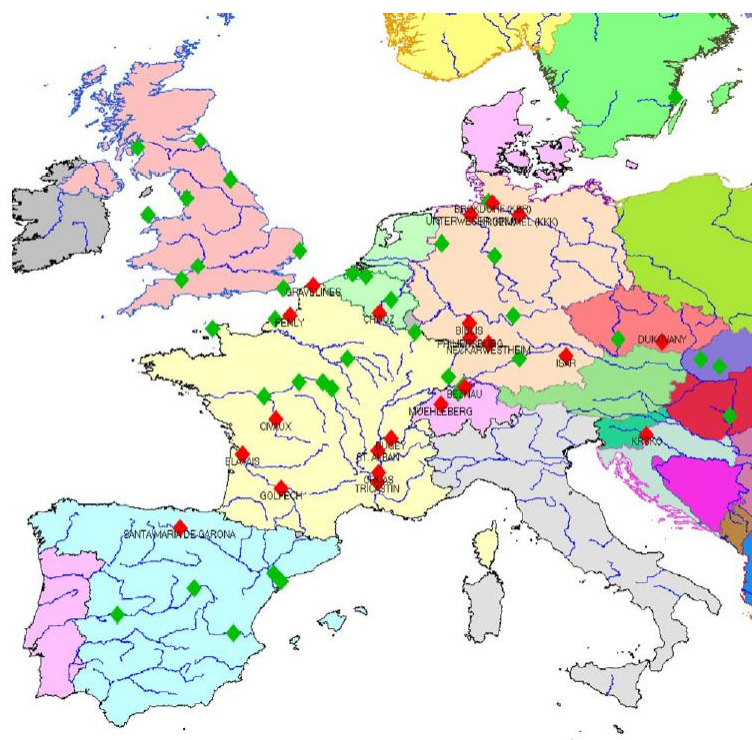


Figura 3 – Usinas nucleares da Europa. (Rübelke e Vögele, 2011, pág.56)

Como um exemplo significativo dos problemas de refrigeração das usinas nucleares e no verão de 2009, ocorreu um desajuste no mercado de energia europeu em função da queda da capacidade geradora de eletricidade oriunda da França afetando os mercados da Inglaterra, Itália e outros países (UCTE, 2004). Como os países europeus estão interligados pela rede elétrica europeia, a escassez no fornecimento de energia regional exerce repercussões para além das regiões diretamente afetadas pela seca.

Como um meio de lidar ou prevenir a escassez de água no futuro, a Comissão Europeia, entre outras coisas, pretende avaliar a necessidade de regulamentar ainda mais os padrões de água usando equipamentos e desempenho de água em diferentes setores.

4. CONCLUSÃO

Há fortes evidências concretas e estudos de previsão indicando que será muito provável que uma mudança climática global tenha impactos no setor elétrico das principais regiões do mundo. A questão mais preocupante é que geralmente os agentes públicos e privados do setor elétrico não incorporam os

efeitos de futuras variações no clima no planejamento, operação e em investimentos.

Mudanças de temperatura são capazes de alterar o nível, tempo e distribuição geográfica da demanda por eletricidade. Em geral, maiores temperaturas implicam numa maior procura por eletricidade para refrigeração. Além disso, alterações no clima afetam a eficiência e a confiabilidade do fornecimento de eletricidade, bem como a elevação do nível do mar, tempestades mais intensas e outros eventos climáticos extremos podem danificar infraestruturas, interrompendo potencialmente a geração, a transmissão e a distribuição de energia elétrica (DOE, 2013). Nos casos estudados neste artigo, em termos de magnitude, no Brasil a fonte mais afetada seria a hídrica, enquanto na Europa seria a térmica nuclear e nos Estados Unidos a térmica a carvão e gás natural.

Um dos maiores desafios para a avaliação de impactos climáticos consiste em produzir formalmente cenários plausíveis e consistentes para mudanças na frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos e seus impactos na energia. Muitos estudos utilizam modelos de cenários já prontos, como é o caso de RÜBBELKE e VÖGELE (2011), enquanto outros usam o planejamento integrado de recursos na abordagem de impactos das mudanças climáticas em sistemas de energia elétrica, como foi feito nos artigos de JAGLOM *et al* (2014) e LUCENA *et al* (2010).

Nestes termos, o desenvolvimento da capacidade analítica de modelos de previsão de cenários de clima associados com seus impactos no setor de energia elétrica é um campo do conhecimento científico que terá uma posição estratégica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEARD, L.M., CARDELL, J.B, DOBSON, I., GALVAN, F., HAWKINS, D., JEWELL ,W., et al., “*Key technical challenges for the electric power industry and climate change*”, IEEE Energy, n° 25, pp. 465–473, 2010.

EBINGER, J., VERGARA, W. “*Climate Impacts on Energy Systems*”. The World Bank, 2011.

EPE, “*Balanço Energético Nacional 2015: ano base 2014*”, Rio de Janeiro, 2015.

EPE, “*Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2024*”, Rio de Janeiro, 2015.

Galbraith, K., “*The Rolling Chain of Events Behind Texas Blackouts*”, Texas, 2011.

IAEA, “*Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States*”, Vienna, 2003 e 2008.

IPCC, “*Climate Change 2013: The Physical Science Basis*”. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, 2013.

JAGLOM, W.S., MCFARLAND, J.R., COLLEY, M.F., MACK, C. B., VENKATESH, B., MILLER, et al., “*Assessment of projected temperature impacts from climate change on the U.S. electric power sector using the Integrated Planning Model*”, Energy Policy, n°73, pp.524-539, 2014.

KENWARD, A., RAJA, U. “*Blackout: Extreme Weather, Climate Change and Power Outages*”, 2014.

LUCENA, A.F.P., SCHEAFFER, R., SZKLO, A. S. “*Least-cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian electric power system*”. PAGNAMENTA, R., “*France Imports UK Electricity as Plants Shut*”, The Times, 2009.

RÜBBELKE, D., VÖGELE, S. “*Distributional Consequences of Climate Change Impacts on the Power Sector: Who gains and who loses?*”, CEPS Working Document, 2011.

SCHAEFFER, R., SZKLO, A.S., LUCENA, A.F.P, BORBA, B.S.M.C, NOGUEIRA, et al., “*Energy sector vulnerability to climate change: a review*”, 2012, Energy, n° 38, pp.1 a 12, 2012.

UCTE, “*Monthly Provisional Values*”, Brussels, 2004.

UNIVERSITY of CAMBRIDGE and WORLD ENERGY COUNCIL. “*Climate Change: Implications for the Energy Sector*”, 2013.

WARD, D. “*The effect of weather on grid systems and the reliability of electricity supply*”. Climate Change, n°121, pp. 103–113, 2013.