

INFLUÊNCIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DA CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO NA ESTIMATIVA DE ENERGIA FIRME

MIGUEL MORAES MARTINS SEGUNDO^{1*}, JULIO GOMES²

¹ Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR, Curitiba-PR, miguelmmsegundo@gmail.com

² Engenheiro Civil, Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Prof. Adjunto IV – DHS, UFPR, Curitiba-PR, jgomes.dhs@ufpr.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016–Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: O Brasil, país cuja base da matriz de energia elétrica é a geração hidráulica, tem diminuído o investimento em usinas com reservatórios de regularização de vazões, devido a restrições ambientais. Com a diminuição da capacidade de regularizar vazões, o Setor Elétrico Brasileiro tende a ficar mais vulnerável a eventos climáticos extremos. O presente trabalho estima a energia firme para diferentes cenários futuros de capacidade de regularização e de variabilidade de vazões para um conjunto de usinas hidrelétricas do Sistema Sul-Sudeste. O objetivo é analisar a influência das mudanças climáticas e da diminuição na capacidade de regularização sobre a energia firme de um sistema de geração hidrelétrica. Utilizou-se o Método de Thomas-Fiering para geração de séries sintéticas de vazões médias mensais e o Método da Energia Natural para o cálculo da energia firme do sistema. Os resultados obtidos mostram que a diminuição na capacidade de regularização das usinas hidrelétricas e o aumento na variabilidade das vazões afluentes causam uma redução significativa na energia firme do sistema, mostrando a importância do investimento em usinas com reservatórios de regularização para o Setor Elétrico Brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Usina hidrelétrica, Energia firme, Mudança climática, Regularização de vazão.

INFLUENCE OF BOTH CLIMATE CHANGE AND RESERVOIR REGULATION CAPACITY ON FIRM ENERGY ESTIMATE

ABSTRACT: Brazil, a country whose base of power matrix is hydraulic generation, has reduced investment in plants with flow regulation reservoirs, due to environmental restrictions. Decreasing the reservoir regulation capacity tends to become the Brazilian electricity sector more vulnerable to extreme weather events. This study estimates the firm energy for different future scenarios of regulation capacity and flow variability for a number of hydroelectric plants belonging to the South-Southeastern System. The main goal is to analyze the influence of both climate change and decrease in reservoir regulation capacity on the firm energy of a hydropower generation system. It were used both the Thomas-Fiering method to generate synthetic mean monthly flow series and the Natural Energy Method to estimate the system firm energy. The results showed that the reduction in reservoir regulation capacity and the increase in inflow variability cause a significant reduction in system firm energy, showing the importance of investment in plants with regulation reservoirs for the Brazilian Electric Sector.

KEYWORDS: Hydropower, firm energy, climate change, capacity regulation.

INTRODUÇÃO

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, 79,3% do total, sendo que a principal fonte de energia elétrica é a hidráulica, que representa 64,9% de toda a energia elétrica produzida (EPE, 2013). Entretanto, a tendência brasileira nos últimos anos é de não construir usinas com reservatórios capazes de regularizar vazões. Com isso, a capacidade de regularização do setor elétrico brasileiro diminuiu e o país acaba ficando mais vulnerável à variabilidade climática.

De acordo com EPE (2013), haverá um aumento de 2% na capacidade de regularização do Sistema Interligado Nacional (SIN) entre 2014 e 2023. Entretanto, o crescimento da capacidade de geração hidrelétrica previsto para o mesmo período é de 36%, ou seja, estima-se que, em um período de 10 anos, entre 2014 e 2023, haverá uma diminuição de 25% na capacidade relativa de regularização das usinas hidrelétricas.

IPCC (2014) afirma que a interferência humana no sistema climático traz sérios riscos para os sistemas naturais e humanos. O agravamento nas mudanças climáticas causado pela ação do homem é uma realidade no planeta. E não é só o aumento de temperatura que é preocupante. Ainda de acordo com IPCC (2014), as mudanças climáticas devem alterar o regime hidrológico do planeta.

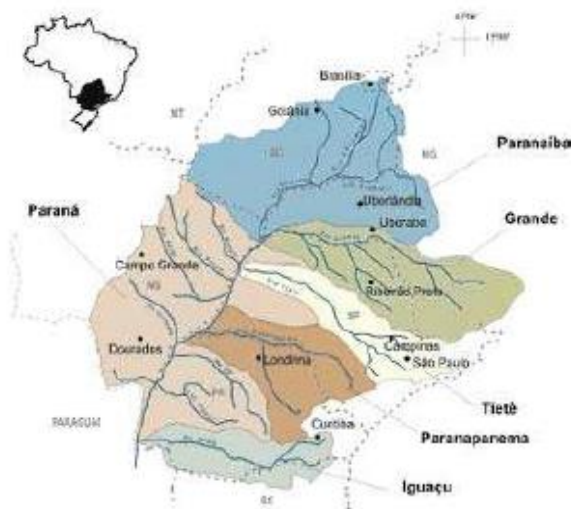
Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo a análise da influência das mudanças climáticas e da diminuição na capacidade de regularização sobre a energia firme de um sistema hidrelétrico na Bacia do Rio Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho consistiu em definir a área de estudo, ou seja, o sistema de geração hidrelétrica a ser analisado; obter séries históricas de vazões para as usinas hidrelétricas (UHE's) do sistema; gerar séries sintéticas de vazões médias mensais com base na série histórica; definir cenários de mudanças climáticas e diminuição na capacidade de regularização; estimar a energia firme do sistema para os diferentes cenários; e analisar as mudanças na estimativa da energia firme do sistema.

A área de estudo faz parte da bacia hidrográfica do Rio Paraná e está contida nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, como ilustrado pela Figura 1.

Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Paraná.



Fonte: Brasil das Águas (2015).

Por questão de simplificação, escolheu-se apenas uma parte da bacia e algumas de suas principais usinas hidrelétricas (UHEs) instaladas em 4 das 6 sub-bacias da Bacia do Paraná. O sistema de geração hidrelétrica definido neste estudo, apresentado na Tabela 1, possui capacidade instalada

total de 36.787,40 MW, representando 74,5% da capacidade instalada da Bacia do Rio Paraná, até o ponto imediatamente a jusante da foz do Rio Iguaçu.

Tabela 1. Usinas hidrelétricas escolhidas para o estudo

Sub-bacia	UHEs
Paranaíba	Emborcação, Itumbiara, Cachoiera Dourada e São Simão
Grande	Furnas, Marimondo e Água Vermelha
Paraná	Ilha Solteira, Jupia, Porto Primavera e Itaipu
Iguaçu	Foz do Areia, Segredo, Salto Santiago, Salto Osório e Salto Caxias

As séries históricas de vazões naturais afluentes para cada uma das 16 UHEs foram obtidas a partir de ONS (2015), onde são disponibilizados os dados de vazões diárias e mensais para todas as usinas hidrelétricas do SIN. As séries diárias têm início em diferentes datas, conforme cada usina, e terminam em dezembro de 2013, enquanto as séries mensais começam em 1931 e terminam em dezembro de 2013. No período compreendido entre o ano de 1931 e o início das séries históricas de vazões médias diárias de cada usina, as vazões médias mensais foram obtidas pelo ONS, utilizando procedimento de regressão. Em razão disso, para dar mais confiabilidade aos dados, adotou-se o período comum das séries diárias de vazões naturais das 16 usinas (1973 a 2013), como período das séries mensais de vazões médias utilizadas neste trabalho.

A partir da série histórica de vazões naturais mensais para as UHEs da área de estudo, foi necessário um modelo de geração sintética de vazões para análise da influência de mudanças climáticas e da diminuição na capacidade de regularização das UHEs nos próximos 30 anos. No presente trabalho adotou-se o método de Thomas-Fiering (Thomas & Fiering, 1962 *apud* Celeste *et al.*, 2007) para a geração das séries sintéticas de vazões médias mensais, seguindo o procedimento adotado por Silva (2015). Após a aplicação do método de Thomas-Fiering, Silva (2015) verificou que algumas vazões geradas apresentaram valores negativos o que, no contexto de vazões afluentes naturais, é fisicamente impossível. Em seu trabalho, o referido autor testou alguns critérios para correção dos valores negativos, chegando à conclusão que o melhor a ser adotado seria simplesmente o truncamento das vazões negativas, tornando-as igual à zero. Esse mesmo critério foi adotado no presente trabalho.

Antes de definir os cenários a serem considerados no presente estudo, estabeleceu-se que o período de projeção para análise na variação da energia firme do sistema de geração hidrelétrica seria de 30 anos (Brasil, 2009).

Na literatura técnica, existe uma divergência sobre a quantificação do impacto das mudanças climáticas sobre o ciclo hidrológico do planeta. De maneira geral, os resultados variam em função dos modelos meteorológicos e hidrológicos utilizados em cada trabalho. Entretanto, a maioria dos trabalhos científicos aponta para um aumento nos eventos hidrológicos extremos (estiagens ou enchentes). Levando isso em consideração e, dado que os atuais estudos relacionados às mudanças climáticas acabam trabalhando apenas com as médias de vazões, no presente trabalho decidiu-se por criar também diferentes cenários de mudanças climáticas com base na variação dos desvios-padrão das séries sintéticas de vazões.

Ao todo foram definidos 32 cenários, que são a combinação entre 2 cenários de alteração nas vazões médias mensais decorrentes de mudanças climáticas, 4 cenários de aumento na variabilidade de vazões causado pela mudança no clima, e 4 cenários de diminuição na capacidade de regularização do sistema. Os cenários de mudanças climáticas com alterações nas vazões médias mensais analisados foram: Cenário atual, sem nenhum tipo de alteração hidrológica (CM0); e cenário com alterações hidrológicas provenientes de mudanças climáticas (CM1), baseado no trabalho de Lima (2014). Para os cenários de alteração nos desvios padrão das séries de vazões foram definidos 4 cenários teóricos, visto que não há estudo abordando essa variação hidrológica relacionada à mudança climática. Os cenários estabelecidos foram: Cenário atual, sem alteração nos desvios padrão das séries de vazões; Cenário com aumento de 5% nos desvios padrão (CD1); com aumento de 10% nos desvios padrão (CD2); e com aumento de 15% nos desvios padrão (CD3).

Levando-se em consideração os dados da projeção em EPE (2013), foram definidos 4 cenários para a diminuição relativa da capacidade de regularização do sistema: Cenário atual, sem diminuição

na capacidade de regularização nos próximos 30 anos (CR0); Cenário que considera uma redução de 10% na capacidade relativa de regularização a cada década, com diminuição total de 27% ao longo de 30 anos (CR1); Cenário que considera uma redução de 17,5% na capacidade de regularização a cada década, totalizando 44% ao longo de 30 anos (CR2); e Cenário que reproduz a projeção da EPE (2013), diminuindo 25% na regularização relativa em cada década, com total de 58% na capacidade relativa de regularização (CR3).

Para o cálculo da energia firme no sistema de geração hidrelétrica, utilizou-se o Método da Energia Natural (Arvanitidis & Rosing, 1970). No presente trabalho não se considerou nenhuma usina hidrelétrica a fio d'água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no cálculo da energia firme para os 32 cenários definidos são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Energia firme (MW) estimada no cenário CM0 (sem mudanças climáticas influenciando nas vazões médias mensais)

CM0	CR0	CR1	CR2	CR3
CD0	17110	15794	14695	13696
CD1	16713	15348	14338	13339
CD2	16317	14901	13930	12982
CD3	15920	14455	13483	12625

Verifica-se que, no cenário atual (CM0-CD0-CR0), a energia firme do sistema de geração hidrelétrica estudado é de 17.110 MW. Levando-se em consideração apenas o aumento na variabilidade das vazões de 15%, sem alterar a capacidade de regularização das usinas (cenário CM0-CD3-CR0), a energia firme estimada do sistema resulta em 15.920 MW, o que representa uma diminuição de 7%.

Por outro lado, considerando-se que não há aumento na variabilidade nas vazões, mas há uma diminuição na capacidade de regularização no sistema de 58% (cenário CM0-CD0-CR3), a energia firme estimada do sistema cai para 13.696 MW, o que significa uma redução de 20%, em relação ao cenário (CM0-CD0-CR0).

Um possível aumento na variabilidade das séries de vazões de 15% e uma diminuição na capacidade de regularização do sistema de 58%, sem considerar influência das mudanças climáticas nas vazões médias mensais (cenário CM0-CD3-CR3), causaria diminuição na energia firme estimada do sistema hidrelétrico para 12.625 MW, representando uma redução de 27% em relação ao cenário (CM0-CD0-CR0).

Tabela 3. Energia firme (MW) estimada no cenário CM1 (com mudanças climáticas alterando as vazões médias mensais)

CM1	CR0	CR1	CR2	CR3
CD0	15384	14000	13029	12229
CD1	15042	13610	12639	11839
CD2	14590	13107	12136	11336
CD3	14194	12660	11689	10880

No cenário mais pessimista (cenário CM1-CR3-CD3), que leva em consideração a maior diminuição (58%) na capacidade de regularização do sistema, o maior aumento (15%) nos desvios padrão das séries de vazões e o impacto das mudanças climáticas nas vazões médias mensais, estima-se a energia firme do sistema em 10.880 MW, o que significa uma redução de 36,4% em relação à energia firme do sistema no cenário atual (17.110 MW).

Comparando os resultados obtidos na estimativa da energia firme do sistema no cenário CM0 com os resultados no cenário CM1, verifica-se que há uma diminuição quando se leva em consideração os impactos das mudanças climáticas nas vazões médias mensais. Sem considerar a diminuição na capacidade de regularização do sistema, ou o aumento na variabilidade das vazões, tem-se uma redução na energia firme estimada de 17.110 MW para 15.384 MW, que representa um decréscimo de 10%.

CONCLUSÃO

No cenário mais pessimista deste trabalho, onde considera-se uma diminuição na capacidade de regularização do sistema de 58%, alterações climáticas que incidem nas vazões médias, e o aumento de 15% na variabilidade das vazões, verificou-se uma redução significativa na energia firme estimada, de 36,4%.

O resultado expressivo de diminuição na energia firme do sistema estudado explicita a importância de que o Brasil volte a investir em usinas hidrelétricas com reservatórios de regularização, ou em outras formas de armazenamento de energia, visando a segurança elétrica do país. Além disso, faz-se totalmente necessária a inclusão das mudanças climáticas no planejamento do país, com medidas que possam amenizá-las e possam mitigar seus efeitos na sociedade.

Recomenda-se também que sejam desenvolvidos trabalhos para estudar alterações decorrentes de mudanças climáticas na variabilidade (desvio padrão) das séries de vazões e na sazonalidade hidrológica das vazões.

REFERÊNCIAS

- Arvanitidis, N. V.; Rosing, J. Composite Representation of a Multireservoir Hydroelectric Power System. *IEEE Transactions on power apparatus and systems*. v. 89, n. 2, fev. 1970. p. 319-326.
- Brasil. Portaria do Ministério de Minas e Energia n. 463, de 03 de dezembro de 2009. Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, v. 146, n. 232, p. 74, 04 dez. 2009. Seção 1.
- Brasil das Águas. 2015. Disponível em: <http://brasildasaguas.com.br/educacional/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-do-parana/>. Acesso em: 17 de maio de 2015.
- Celeste, A. B.; Curi, W. F.; Curi, R. C. Análise de métodos para geração sintética de vazões em rios intermitentes. *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. São Paulo. 2007. 18 p.
- EPE. Balanço energético nacional 2014: Relatório síntese. Ano Base 2013. Rio de Janeiro, 2014.
- IPCC. Summary for policymakers - climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. 32 p.
- Lima, J. W. M. Efeitos e mudanças climáticas na geração de energia elétrica. AES Tietê. 360 p. São Paulo. 2014.
- ONS. Procedimentos de rede. Disponível em: <http://apps05.ons.org.br/procedimentorede/mpo/mpo.aspx>. Acesso em 12 de julho de 2015.
- Silva, G. G. Avaliação do efeito da diminuição da capacidade de regularização sobre a energia firme na Bacia do rio Iguaçu em um contexto de mudanças climáticas. Trabalho de Graduação. (Graduação em Engenharia Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.