

Simulação do potencial energético de sistemas híbridos (hídrico-eólico), sazonalmente, na sub-bacia hidrográfica do Rio Verde Grande com vazão regularizada

Simulation of the energy potential of hybrid systems (water-wind), periodically, in the hidro basin of the Verde Grande River with regularized flow

Rafael Balbino Cardoso¹

Universidade Federal de Itajubá
cardosorb@excen.com.br
cardosorb@unifei.edu.br

Rafael Oliveira Guerra¹

Universidade Federal de Itajubá
rafaelo@hotmail.com

Resumo. A ampliação da matriz energética do país vem se fazendo necessária, acompanhada do alto crescimento econômico que o Brasil vem promovendo nos últimos anos. A utilização de fontes primárias renováveis de energia vem ganhando cada vez mais espaço no cenário energético atual. O Brasil possui grandes potenciais a serem explorados com essas fontes renováveis, e estratégias para a exploração em sistemas híbridos podem apresentar vantagens energéticas do ponto de vista da confiabilidade do fornecimento de energia elétrica. Nesse sentido, com base em estudos que avaliaram os potenciais hídricos e eólicos, sazonalmente, na sub-bacia do Verde Grande, analisando a complementaridade entre os dois potenciais, o presente estudo tem por objetivo simular o potencial energético armazenado em reservatórios, a partir de simulações dinâmicas, para o melhor aproveitamento hidrelétrico em períodos de estiagem, com a vazão efluente, de uma usina hidrelétrica virtual da região, regularizada.

Palavras-chave: fontes renováveis, geração híbrida, potencial energético armazenado, sazonalidade.

Abstract. The enlargement of the energy mix of the country is being more and more necessary, accompanied to the high economic growth promoted in Brazil in the last years. The use of renewable primary energy sources is gaining more space in the current energy scenario. Brazil has great potential to explore these renewable sources, and strategies for exploration in hybrid energy systems may have advantages in terms of reliability of electricity supply. Thus, based on the study of this project, which evaluated the hydro and wind potential, seasonally, in the basin of the Verde Grande River, analyzing the complementarity between the two sources, the present study aims to simulate the potential energy stored in reservoirs from different models of dynamic simulations, to the best hydroelectric use during drought periods.

Keywords: renewable sources, hybrid generation, stored energy potential, seasonally.

¹ Universidade Federal de Itajubá. Rua Irmã Ivone Drumond, 200, Sala 408, Distrito Industrial II Amazonas, 35903-087, Itabira, MG, Brasil.

Introdução

O uso de energias renováveis para geração de energia elétrica vem ganhando destaque no cenário mundial. Entre as fontes renováveis mais utilizadas para esse fim, destacam-se as fontes hídrica e eólica. O setor eólico europeu é o mais ativo do mundo, com uma capacidade total instalada de mais de 76.000 MW, com destaque para a Alemanha e a Espanha, que são os países com maiores potenciais instalados GWEC (2009). Já o Brasil, apesar de apresentar grandes potenciais para a geração de energia eólica, na ordem de 300 GW, de acordo com Aldabó (2002), Tolmasquim (2005) e Silva *et al.* (2002), ainda não possui grandes potenciais instalados com essa fonte primária. A base da geração de energia elétrica brasileira é de origem hídrica, com mais de 70% do total instalado, segundo ANEEL (2014), e estratégias para a diversificação da matriz energética brasileira são interessantes para o país, de forma a se buscar segurança energética, reduzindo riscos com desabastecimento.

Diante do alto crescimento econômico que o Brasil vem promovendo nos últimos anos, torna-se necessária a ampliação da matriz energética do país. Principalmente, devido às restrições ambientais impostas à geração de energia por fontes primárias de combustíveis fósseis, a geração de energia com fontes renováveis, como, por exemplo, hídricas e eólicas, vem aumentando a participação na matriz energética nacional (ANEEL, 2014).

Com o aumento da exploração dos potenciais e recursos renováveis no país, associado ao desenvolvimento tecnológico e a incentivos fiscais impostos pelo governo, os custos de implantação de usinas elétricas a partir desses recursos vêm reduzindo com o passar dos anos. Com essa redução do custo de implantação, essas usinas têm melhorado a competitividade nos leilões de energia do Brasil. As usinas eólicas, por exemplo, em meados de setembro de 2010, conseguiram leiloar cerca de 4 GW de potência a 131 R\$/MWh, próximo ao custo marginal de expansão do setor elétrico do país. Recentemente, principalmente devido a políticas tributárias no setor, os investidores em geração eólica têm conseguido reduzir tal custo para cerca de 90 R\$/MWh, uma redução de cerca de 31% no valor, com relação ao valor de 2010 (ANEEL, 2014).

Nesse contexto, com os baixos custos da geração de energia elétrica a partir de fontes primárias como o vento e água, e com a exis-

tência de complementaridade sazonal – os potenciais em determinadas regiões –, torna-se cada vez mais interessante a prática de geração híbrida (hídrica-eólica) em algumas regiões do país (Granza e Voltolini, 2009). A prática híbrida foi avaliada e classificada como alternativa interessante para a matriz energética brasileira em suas sub-bacias em que se é possível esse tipo de implementação, citando a exemplo o norte de Minas Gerais com relação à sub-bacia do Verde Grande, local do estudo do projeto.

Desenvolvimento metodológico

Para a elaboração do presente estudo, foram seguidas as seguintes etapas:

- (i) Coleta de dados
 - Caracterização do local de estudo (sub-bacia do Verde Grande)
 - Obtenção de séries históricas de vazões para o potencial hídrico e séries do regime de afluência de ventos para o potencial eólico.
- (ii) Cálculo do potencial hídrico, de acordo com a Equação (1) (Reis, 2010).

$$Ea = g \times \eta_T \times \eta_G \times (1 - \phi) q \times AD \times H_b \quad (1)$$

Onde:

- Ea - Estimativa de energia elétrica assegurada do aproveitamento hidráulico (kW);
- H_b - Estimativa de queda bruta do aproveitamento (m). A queda líquida (H_{liq}) será igual à queda bruta (H_b) acrescida de perdas hidráulicas (ϕ), cujo valor estimativo é 3% da casa de força ao pé da barragem;
- AD - Área de drenagem da bacia hidrográfica do rio em análise (km²);
- q - Vazão específica média de longo termo, ou seja, vazão média da série histórica do local por unidade de área da bacia hidrográfica (m³/s.km²). O produto de q por AD resulta na vazão hidrológica média de longo termo (Q), conforme a relação $Q = q AD$ (m³/s);
- η_T - Rendimento da turbina;
- η_G - Rendimento do gerador;
- ϕ - Perda de carga hidráulica no circuito hidráulico constituído por: tubulação, adução, túnel, canal, etc. Os valores típicos de ϕ são 1 a 5%;
- g - Aceleração da gravidade (9,81 m/s²).

A Equação (2) representa o cálculo da potência instalada (PI) de referência do aproveitamento hidráulico.

$$PI = Ea / Fk \quad (2)$$

Onde:

PI - Potência elétrica de referência ou instalada do aproveitamento hidrelétrico (MW);

Fk - Fator de capacidade técnica de referência do aproveitamento (0,6).

(iii) Cálculo do potencial eólico de acordo com a Equação (3), segundo (Granza e Voltolini, 2009).

$$P_G = 0,59 \times \eta_T \times \left(\frac{1}{2} \times \rho_{ar} \times A \times V^3 \right) \times N \quad (3)$$

Onde:

P_G - Potência eólica gerada em (W);

0,59 - Coeficiente de Betz;

η_T - Rendimento da turbina eólica;

ρ_{ar} - Massa específica do ar (em geral, utiliza-se o valor médio de 1,225 kg/m³);

A - Área varrida pelas pás do rotor da turbina (m²);

V - Velocidade do vento, corrigida para altura de 100 m (eixo das turbinas) (m/s);

N - Número de turbinas eólicas alocadas na área da região da Bacia do Verde Grande, considerando-se turbinas eólicas com 40m de diâmetro, alocadas na área com espaçamentos de cinco diâmetros entre as laterais e dez diâmetros entre filas.

(iv) Levantamento de modelos de simulações dinâmicas para o cálculo do potencial energético armazenado nos reservatórios.

(v) Aplicação das modelagens estudadas para a realização das simulações dinâmicas.

O modelo de simulação dinâmica para o cálculo do potencial energético armazenado consistirá nas seguintes etapas:

- Assumir uma demanda média mensal a ser atendida na Bacia do Verde Grande.
- Estabelecer uma “Usina Hidrelétrica Virtual” com um reservatório, de um determinado volume útil máximo, para o atendimento da demanda.
- Regularizar o volume útil do reservatório, controlando o despacho da “Usina Hidrelétrica Virtual”, de acordo com a vazão efluente. Como esquematizado na Figura 1.

Na Figura 1, $N_{m\acute{a}x}$ refere-se ao nível máximo do reservatório, $N_{m\acute{i}n}$ refere-se ao nível mínimo, $V_{\acute{u}til}$ ao volume útil, $V_{m\acute{o}rto}$ ao volume morto, $Q_{afluente}$ à vazão afluente e $Q_{efluente}$ à vazão efluente do reservatório.

A vazão regularizada do reservatório preserva os usos múltiplos da água. Um potencial complementar permite que a regularização aconteça, minimizando prejuízos com o atendimento da demanda.

Para a regularização do reservatório, preservando a geração de energia elétrica e os usos múltiplos da água, será utilizada a seguinte modelagem de otimização, com auxílio do *software* de otimização *SOLVER* do *Microsoft Excel*.

Função objetivo:

$$\sum_{i=1}^{12} Q_{efl_i} - Q_{afl_i} = 0 \quad (4)$$

Sendo:

$$P_{mi} = f(Q_{efl_i}) \quad (5)$$

$$VU = f(Q_{efl_i}) \quad (6)$$

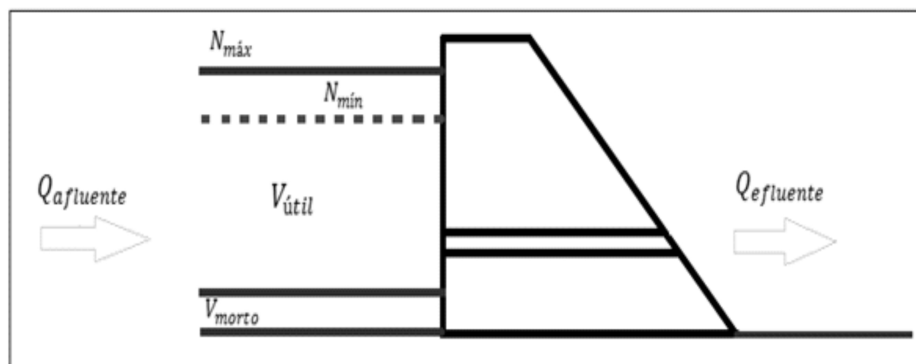


Figura 1. Reservatório da usina hidrelétrica virtual.

Figure 1. Reservoir of the virtual power plant.

As restrições a serem seguidas nessa metodologia são:

$$Q_{ef_i} \text{ e } Q_{af_i} \geq 0 \quad (7)$$

$$VU_{min} \leq VU \leq VU_{max} \quad (8)$$

A variável de controle da modelagem é a vazão efluente, sendo:

Q_{ef_i} - Volume efluente do reservatório (m^3/s)

Q_{af_i} - Volume afluente do reservatório (m^3/s)

PM - Potencial hídrico médio (MW)

VU - Volume útil do reservatório (m^3)

VU_{min} - Volume útil mínimo do reservatório (m^3)

VU_{max} - Volume útil máximo do reservatório (m^3)

i - Referência ao mês do ano.

(vi) Calcular o fator de capacidade antes da regularização e pós-regularização do reservatório de acordo com a seguinte equação:

$$FCk = \frac{PM_{m,k}}{PM_{max,k}} \quad (9)$$

Onde:

FC - Fator de capacidade da "Usina Hidrelétrica Virtual"

PM_m - Potencial médio anual (MW)

PM_{max} - Potencial médio máximo mensal (MW)

K - Com regularização ou sem regularização do reservatório

(vii) Verificar se o potencial eólico é suficiente para atender a demanda média estabelecida, ao longo do ano.

Resultados e discussões

Nesta seção, utilizando-se a metodologia adotada, foi realizada a simulação do potencial armazenado, em sistemas híbridos como este, devido à inserção de uma componente eólica em um sistema predominantemente hídrico, tendo em vista que o potencial hídrico é diretamente dependente do comportamento de sua vazão ao longo do ano e o potencial eólico, do regime de afluência de ventos.

Verificada a complementaridade hídrico-eólica em determinado período do ano, verifica-se que, durante os meses de abril a novembro, as vazões diminuem consideravelmente, tratando-se de um período de relativa escassez hídrica, enquanto que, nesta época do ano, o regime de afluência de ventos é maior, produzindo velocidades maiores para os aerogeradores e, conseqüentemente, um maior potencial eólico é observado. A Figura 2 apresenta a complementaridade sazonal do sistema híbrido em questão.

A partir da análise da Figura 2, percebe-se a complementaridade hídrico-eólica de forma sazonal. A bacia do Verde Grande, durante os períodos de dezembro a abril, possui maior potencial hídrico a ser aproveitado, registrando índice máximo de quase 600 MW, no entanto, não apresenta bons potenciais durante o restante do ano, chegando a registrar índices inferiores a 10 MW quando os potenciais eólicos são mais elevados. Contudo, tal complementaridade permite um planejamento estratégico interessante para a exploração dos potenciais energéticos da região.

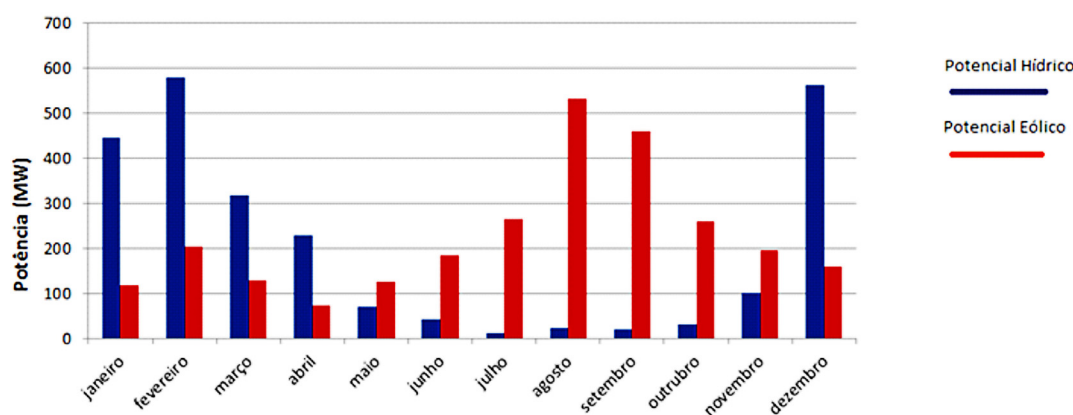


Figura 2. Potenciais hídricos e eólicos mês a mês da bacia Verde Grande.

Figure 2. Hydro and wind potential of the Verde Grande Basin (per month).

Regularização de vazões

A regularização de vazões através de reservatório é efetuada acumulando-se, total ou parcialmente, os deflúvios da enchente, visando a atender às demandas durante o período de estiagem. Tais reservatórios são ditos de acumulação de água, e diferem dos reservatórios de distribuição e de atenuação de cheias. Para se determinar o volume do armazenamento em um reservatório, é aplicada a equação do balanço hídrico, descrita anteriormente, considerando-se a demanda em um período de estiagem prolongada, normalmente denominado período crítico.

Define-se a lei de regularização através da função y , adimensional, dada por:

$$Q_{xy} = Q_r \quad (10)$$

Onde:

Q_r é a vazão regularizada;

Q é a vazão média no período considerado.

Dada a sequência no tempo das vazões naturais (série histórica de vazões), $Q_{afl} = Q(t)$, e conhecida a lei de regularização y a ser adotada, é possível determinar a capacidade mínima do reservatório para atender essa lei.

Capacidade do reservatório

A capacidade mínima de um reservatório para atender a uma dada lei de regularização Cr pode ser obtida pela diferença entre o volume acumulado necessário para atender àquela lei no período mais crítico de estiagem Vol_{nec} e o volume acumulado que flui ao reservatório no mesmo período Vol_{af} , isto é:

$$Cr = Vol_{nec} - Vol_{af} \quad (11)$$

Considerando-se vários períodos de estiagem, o mais crítico será aquele que resulta na maior capacidade do reservatório, sendo assim, deve-se adotar o maior valor encontrado do reservatório para os vários períodos de estiagem considerados.

O período crítico em uma dada lei de regularização é definido pelos meses em que se tem uma vazão registrada inferior à média adotada.

O volume necessário para manter a vazão $Q_{média}$ durante os meses de período crítico verificado na bacia do rio Verde Grande é dado por:

$$Vol_{nec} = \int_{1^{o}mês}^{n^{o}mês} Q_r dt = Q_{média} (\Delta t_{1^{o}mês} + \Delta t_{2^{o}mês} \dots + \Delta t_{n^{o}mês}) \quad (12)$$

Já o volume afluente acumulado é o volume que se chega ao reservatório no mesmo período crítico de tempo considerado no cálculo do, isto é:

$$Vol_{af} = \int_{1^{o}mês}^{n^{o}mês} Q_r dt = (Q_{média_{1^{o}mês}} \cdot \Delta t_{1^{o}mês}) + (Q_{média_{2^{o}mês}} \cdot \Delta t_{2^{o}mês}) + (Q_{média_{3^{o}mês}} \cdot \Delta t_{3^{o}mês}) \dots + (Q_{média_{n^{o}mês}} \cdot \Delta t_{n^{o}mês}) \quad (13)$$

Calcula-se, a partir de Vol_{nec} e Vol_{af} , o Cr. Essa capacidade pode ser exemplificada de forma ilustrativa na Figura 3.

A partir da modelagem apresentada, a capacidade do reservatório da Bacia do Verde Grande – Cr obtida foi de 238,51 milhões de m³.

Vazão regularizada efluente

Determinado o volume do reservatório Cr, a próxima etapa é realizar a regularização do volume útil do reservatório, controlando as comportas da “Usina Hidrelétrica Virtual”, de acordo com a vazão efluente.

Durante a determinação do Cr, utilizou-se, ao longo de seu desenvolvimento, o volume acumulado, considerando-se todos os valores ao longo do ano, do período de vazão mínima (julho) ao período de vazão máxima (fevereiro). Resultando, portanto, o valor bruto máximo da capacidade do reservatório da bacia do rio Verde Grande. Não utilizou-se, durante o projeto de regularização da sub-bacia, o Cr máximo, já que, durante certas épocas do ano, tiveram-se volumes de água desprezíveis, se comparados aos períodos de cheia. É interessante, para o bom funcionamento do sistema, que se mantenha, durante todo o ano, um nível mínimo de água considerável, que possibilite e preserve os usos múltiplos da água. Pelo fato de se terem vazões efluentes (Q_{efl}) reguláveis, pode-se controlar o volume de água armazenado na usina.

A determinação do Cr bruto é de extrema importância para o dimensionamento real do reservatório, aliando-se ao diagrama de volume x cotas da sub-bacia em questão. Foi considerada, conforme verificado na Figura 4, a altitude média de 1.065m, o que corresponde ao volume aproximado de 52,6 milhões de m³, que será utilizado como a capacidade real do reservatório ou $V_{útil}$.

Para a execução da análise numérica de possibilidades, seguindo-se as restrições Equa-

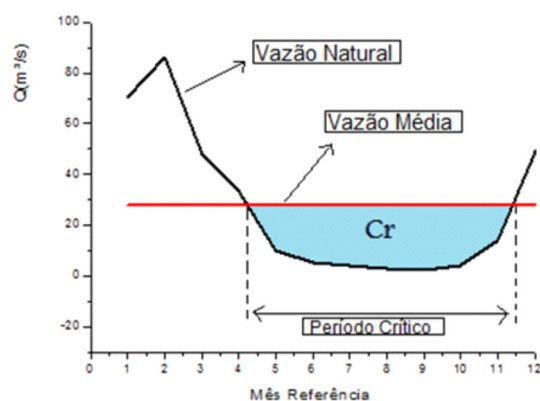


Figura 3. Capacidade do reservatório da Bacia do Verde Grande.

Figure 3. Capacity of the Verde Grande basin reservoir.

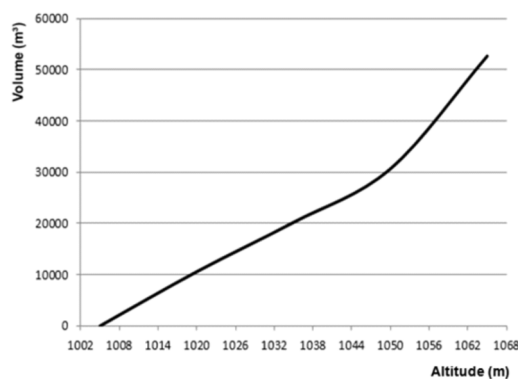


Figura 4. Diagrama de volume x cotas do reservatório virtual.

Figure 4. Diagram of volume versus virtual reservoir quotas.

ções (7) e (8) a partir da simulação, determinam-se os diferentes valores de vazão efluente ao longo do ano. Considerou-se o reservatório com um volume inicial de 76% do nominal, resultando em 40 milhões de m³.

Aplicando-se a metodologia proposta, determinada pela função objetivo, Equação (4), e considerando-se como restrições as Equações (7) e (8), obtiveram-se os valores de vazão efluente (Q_{efl}) da Usina Hidrelétrica Virtual, apresentados na Tabela 1.

A Tabela 1 mostra as principais variáveis envolvidas no processo de regularização de vazões da sub-bacia do rio Verde Grande, sendo a coluna o valor controlado da vazão de acordo com cada período do ano.

Considerando-se o reservatório sem regularização, o fator de capacidade (FC) da Usina Hidrelétrica Virtual é de 0,35. Com a regularização de vazões, apresentada no estudo, o fator de capacidade aumenta levemente para o valor de 0,38. Apesar do pequeno ganho do fator de capacidade, na ordem de 3% apenas, o grande diferencial da regularização de vazões é a preservação dos usos múltiplos da água, garantindo um volume mínimo do reservatório.

Energia armazenada com geração eólica inserida

A última etapa do presente estudo consistiu em verificar a suficiência ou não do potencial eólico para atender a demanda média estabelecida ao longo do ano. Considerando, agora, o sistema híbrido (hídrico-eólico) com a Usina Hidrelétrica Virtual.

Para isso, recalcularam-se os potenciais hídricos para as novas vazões, agora regularizadas. Estimou-se uma demanda média atual projetada de consumo, a partir de dados reais brasileiros de IBGE (2014) e MME (2014), de acordo com a equação Equação (14).

$$D_{média} Atual = \frac{C_{energético} Total}{PopTotal * 8760} \times PopVG \quad (14)$$

Sendo:

$D_{média} Atual$ – o valor de demanda média estimada atual da bacia do rio Verde Grande.

$C_{energético} Total$ – consumo total de energia do país em determinado ano.

$PopTotal$ – População total brasileira em determinado ano.

$PopVG$ – População total da bacia do rio Verde Grande em determinado ano.

Aplicando-se a equação (12), com os seguintes dados coletados:

$C_{energético} Total = 430.842 GWh$ - Balanço Energético Nacional (BEM, 2011)

$PopTotal = 190.755.799$ habitantes - IBGE (2014)

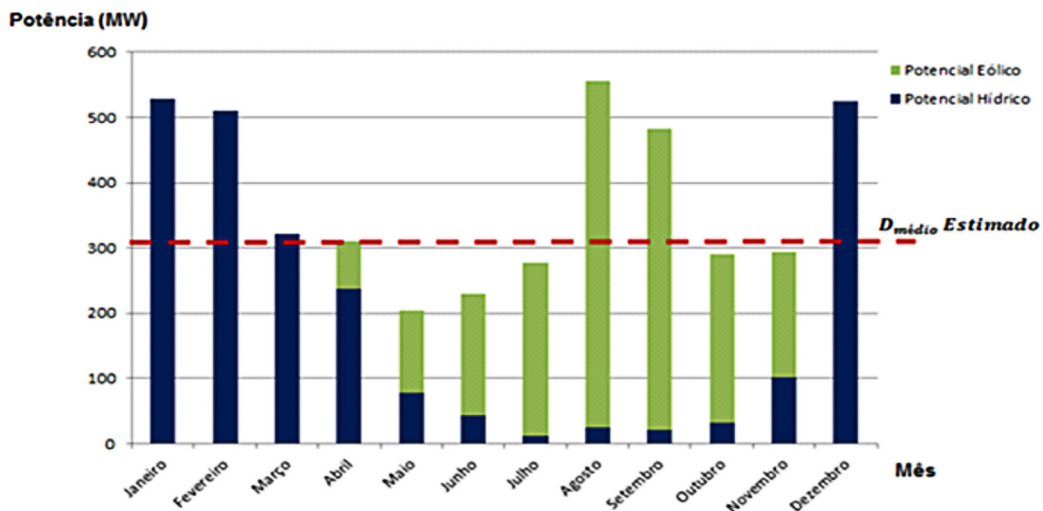
$PopVG = 850.000$ habitantes - Plano de Recursos Hídricos da bacia do rio Verde Grande (2010)

Obteve-se, portanto, como Demanda média atual, o valor de .

E, por fim, sobrepôs-se o potencial eólico, sobre o potencial hídrico de maneira complementar, visando atingir, durante todos os meses, a demanda média estimada. A Figura 5

Tabela 1. Resultados da simulação da regularização do reservatório.**Table 1.** Simulation results of the reservoir regulation.

Mês	Q_{af1} ($\frac{m^3}{s}$)	Q_{ef1} ($\frac{m^3}{s}$)	$V_{\text{útil}}$ (milhões dem^3)	$Q_{ef1} - Q_{af1}$ ($\frac{m^3}{s}$)
Janeiro	68,96	81,66	40	12,7
Fevereiro	89,29	78,66	50,62	-10,62
Março	48,96	49,60	49,97	0,64
Abril	35,25	36,57	48,65	1,32
Maio	10,68	11,99	47,34	1,31
Junho	6,42	6,76	47	0,34
Julho	1,98	1,98	47	0
Agosto	3,71	3,71	47	0
Setembro	3,16	3,16	47	0
Outubro	4,99	4,99	47	0
Novembro	15,63	15,63	47	0
Dezembro	86,7	81	52,6	-5,7

**Figura 5.** Demanda média da região e potenciais hídricos e eólicos, com vazão regularizada.**Figure 5.** Average regional need and hydro and wind potential, with regulated flow.

exibe a contribuição de potência com a inserção da parcela eólica no sistema.

Nota-se que, durante os meses dezembro a março, apenas a geração hidroelétrica foi suficiente para suprir a demanda, não se fazendo necessária, portanto, a contribuição eólica. Durante os meses de abril, agosto e setembro, a potência hídrica gerada não foi suficiente para atender a demanda – dessa forma, com a inserção eólica, a demanda foi atendida, tendo ainda a possibilidade de gerar mais energia do que o necessário. Durante os meses de abril a

julho, com a utilização híbrida do sistema, não se conseguiu atingir a demanda média desejada, no entanto, como em vários outros meses, houve valores que ultrapassaram o mínimo requerido. Esse excedente poderia ser armazenado na forma de volume de água no reservatório e utilizado quando fosse necessário para se atingir a demanda média de energia estimada, apesar do fato de, nos meses em que não se conseguiu atingir exatamente o esperado, os valores terem ficado bastante próximos da demanda média.

Conclusão

A partir de modelos queda/vazão e de velocidades de vento para cálculos de potenciais hídricos e eólicos, verificou-se o efeito complementar entre as duas fontes primárias de energia na Bacia Hidrográfica do Verde Grande. A bacia apresentou índices máximos de potencial hídrico, de quase 0,6 GW, nos períodos do ano entre os meses de dezembro e fevereiro (chuvoso) e obteve baixos índices durante o período de seca, com valores inferiores a 15 MW. Quanto ao potencial eólico, foram observados efeitos contrários. Durante a seca, a bacia apresentou seu maior potencial eólico, com valor registrado de quase 0,55GW, enquanto que, no período chuvoso, esses valores não passaram de 200 MW. Esse tipo de complementaridade verificada entre os potenciais hídricos e eólicos é importante para o planejamento energético da região, que permite exploração mista dos potenciais. Com o uso de apenas essas duas fontes energéticas, é possível atender a demanda da região por quase todo o período anual.

Ao simular-se um reservatório de uma Usina Hidrelétrica Virtual (UHV) na região de estudo, para a geração de energia, de modo a atender a demanda energética com a vazão não regularizada, estimou-se um potencial máximo de 0,6 GW, com um fator de capacidade de 0,35. Realizando a simulação com a vazão regularizada, através do reservatório, conseguiu-se melhorar o fator de capacidade da UHV para 0,38 (o que significa 3% a mais de geração de energia).

Com a vazão regularizada, além de a UHV aproveitar de modo mais eficiente os recursos hídricos para a geração de energia elétrica, é possível preservar os usos múltiplos da água, já que a volume mínimo do reservatório é garantido na regularização.

Referências

- ALDABÓ, R. 2002. *Energia Eólica*. 1ª ed., São Paulo, Ed. Artliber, 152 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2014. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 18/07/2014.
- GRANZA, M.H.; VOLTOLINI, H. 2009. Comparativo da energia hidrelétrica no Brasil: uma utilização da energia eólica como alternativa. In: Encontro Paranaense de Empreendedorismo e Gestão Empresarial (EPEGE), VI, Ponta Grossa, 2009. *Anais...* Ponta Grossa.
- GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). 2009. *Global Wind 2009 Report*. Brussels, Global Wind Energy Council.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2014. *PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra a Domicílio*. Brasília, IBGE.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). 2009. Proposta para a Expansão da Geração Eólica no Brasil. Disponível em: http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2009/02_fevereiro/Nota_Tecnica_Exlica.pdf. Acesso em: 17/07/2011.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). 2014. *Consumo final de energia por fonte*.
- REIS, L.B. 2010. *Geração de Energia Elétrica*. 2ª ed., Barueri, Editora Manole, 447 p.
- SILVA, B.B.; ALVES, J.J.; CAVALCANTI, E.P.; DANTAS, R.T. 2002. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(3):431-439. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141543662002000300009&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 20/07/2011.
- <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000300009>
- TOLMASQUIM, M.T. 2005. *Geração de energia elétrica no Brasil*. Rio de Janeiro, Interciência/CENERGIA, 198 p.

Submetido: 14/11/2014

Aceito: 17/04/2015