XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

CB/GOP/28

GRUPO IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP

AVALIAÇÃO DOS DADOS CADASTRAIS UTILIZADOS PARA CÁLCULO DA PRODUTIBILIDADE DAS USINAS HIDROELÉTRICAS DO SIN

Alberto S. Kligerman (*), Rogerio S. Braga, Maria C. A. Lima, Carlos E. Vilas Boas, Bernard F. Küsel, Maria H. T. Azevedo, Lucas S. Khenayfis, Roberto N. F. Filho
ONS

Valdeci Goulart AES TIETÊ | **Nivaldo Maganha** ALUPAR | **Rodrigo Sacchi** CCEE | **Rodrigo Feistauer** CEEE

Grazziano Motteran CEMIG | **Fernando P. C. Neves** CESAP | **Luís F. A. M. Nogueira** CESP | **Sergio M. Fernandes** CHESF

Hugo Mikami COPEL | **Henrique G. Borduqui** CPFL | **Maurílio E. Katekawa** DUKE | **Mario P. G. Neto** EDP

Filipe M. M. Niquini ELETROSUL | **José O. S. Moreira** ENEL | **José V. M. Rescigno** ENGIE | **Thiago C. César** EPE | **Pedro P. C. Viana** ESBR

Marcelo R. R. Carvalho FURNAS | **Renata B. R. Tufaile** ITAIPU BINACIONAL | **Bruno F. Pereira** LIGHT ENERGIA | **Pedro H. S. Cid** NEOENERGIA | **Edvaldo S. A. Neto** SAE

RESUMO

Visando a melhor representatividade dos modelos para o planejamento da operação e cálculo do Preço de Liquidação das Diferenças - PLD, o ONS formou em 2015 o Grupo de Trabalho de Avaliação de Dados Cadastrais Utilizados no Cálculo da Produtibilidade - GTDP, com os 42 agentes de geração hidroelétrica, a CCEE e a EPE. A determinação dos rendimentos e perdas hidráulicas representativos, primeira atividade do grupo, foi precedida pela definição de uma metodologia unificada para o cálculo das vazões turbinadas históricas. O artigo apresenta em detalhes as metodologias aprovadas no âmbito do GTDP e os principais resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE

Rendimento, Perda Hidráulica, Vazão Turbinada, Curva de Colina, Planejamento da Operação, Preço de Liquidação das Diferenças.

1.0 - INTRODUÇÃO

Em 2013 e 2014 o ONS realizou estudos para avaliar o comportamento dos modelos computacionais utilizados no planejamento e programação da operação energética do SIN diante da operação realizada nos anos 2012 e 2013, respectivamente. Foram então comparados os níveis de armazenamento obtidos pelos modelos em relação aos valores verificados, e a diferença cumulativa encontrada ao final de cada ano foi de cerca de 4% do armazenamento máximo do reservatório equivalente do subsistema Sudeste/Centro-Oeste. Este fato levou à investigação da produtibilidade específica cadastral de cada usina como possível causa, uma vez que esta grandeza traz em si o rendimento do grupo turbina-gerador. Comparou-se então o rendimento de cadastro ao rendimento que teria sido utilizado pelo agente de geração ao calcular a vazão turbinada em função da geração hidráulica medida. Para tanto,

(*) Rua Júlio do Carmo, n° 251 – 7º andar – CEP 20.211-160 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 3444-9831 – Email: alberto@ons.org.br

foi preparado um estudo preliminar em que foram considerados, para cada usina, os dados históricos diários de geração, vazão turbinada e níveis de montante e de jusante. Em uma etapa inicial, foi avaliada a distribuição de frequência dos rendimentos diários no período de 2010 a 2014, sendo constatado que o valor cadastral situava-se significativamente distante do valor médio dessa distribuição para boa parte das usinas. Concluiu-se que estes valores deveriam ser melhor avaliados.

Dada a importância do assunto, e em função de solicitação encaminhada pela ABRAGE, foi constituído em agosto de 2015, sob a coordenação do ONS, o Grupo de Trabalho para Avaliação dos Dados Cadastrais Utilizados no Cálculo da Produtibilidade – GTDP, que envolve um total de 42 agentes, englobando 142 usinas hidroelétricas simuladas pelo ONS, tendo ainda o acompanhamento da EPE e da CCEE. Este informe cobre o trabalho realizado pelo GTDP ao longo de 2015 e 2016.

Os modelos computacionais utilizados no planejamento e programação da operação energética do SIN têm como base a transformação de vazão turbinada em energia gerada. Para esta transformação, os modelos utilizam dados cadastrais, tais como a produtibilidade específica:

$$produtibilidade\ específica = \mu_{GT} * g_{usina} * \rho_{usina} * 10^{-6} \quad \text{[MW/m³/s/m]}$$

onde μ_{GT} é o rendimento do conjunto turbina-gerador, g_{usina} a aceleração da gravidade e ρ_{usina} a massa específica da água.

Também são levados em conta nesta transformação as perdas de carga hidráulica, os polinômios que relacionam a defluência ao nível de jusante e os níveis de montante, sendo estes considerados constantes para as usinas a fio d'água, cujo reservatório tem pouca ou nenhuma capacidade de regularização.

A primeira atividade do GTDP, descrita ao longo deste trabalho, foi a determinação, a partir dos dados históricos fornecidos pelos agentes, dos valores representativos de rendimento e perdas hidráulicas, a fim de que estes possam ser utilizados pelos modelos de planejamento e programação da operação e cálculo do PLD. Em etapas posteriores serão também avaliados os polinômios de nível de jusante e os níveis de montante das usinas a fio d'água.

2.0 - CONDIÇÕES NECESSÁRIAS PARA A AVALIAÇÃO

Decidiu-se utilizar, como base para o cálculo dos rendimentos e perdas hidráulicas representativas, o histórico horário de geração, vazão turbinada por máquina e níveis de montante e jusante para o período de 2005 a 2014. Esse histórico de 10 anos foi julgado como suficiente para que as avaliações contemplassem tanto períodos de abundância quanto de escassez, o que foi corroborado por uma análise de sensibilidade quanto ao horizonte, que indicou maior estabilidade de resultados para períodos superiores a 5 anos. Os valores de rendimento são obtidos para cada hora deste período, a partir dos dados verificados de geração, níveis de montante e jusante, e dos valores calculados de perdas hidráulicas e vazão turbinada por máquina.

Informações sobre a metodologia de cálculo das vazões turbinadas foram obtidas dos agentes. Constatou-se que as vazões turbinadas históricas haviam sido calculadas de diversas formas, com algumas simplificações que poderiam ter sido evitadas. Algumas das simplificações se originam da metodologia utilizada para construção da tabela que permite obter a vazão turbinada em função da potência gerada e da altura de queda bruta, forma adotada por grande parte dos agentes. Além disso, em alguns casos, estas vazões não estavam disponíveis por unidade geradora, o que é fundamental para a apuração dos rendimentos. Uma condição necessária, portanto, foi definir uma metodologia unificada para que as vazões turbinadas históricas fossem recalculadas para todas as usinas, bem como estabelecer por usina os valores de aceleração da gravidade e de massa específica da água, grandezas que diferem de acordo com sua localização.

Além dos dados históricos de geração por máquina e níveis de montante e jusante em base horária, também foram solicitadas as curvas de colina das turbinas, que foram posteriormente digitalizadas, a equação de perdas hidráulicas do aproveitamento e o rendimento do gerador, completando os dados essenciais para a avaliação pretendida.

2.1 Aceleração da gravidade e massa específica da água

Para o caso de indisponibilidade dos valores da aceleração da gravidade e massa específica da água utilizados pelos fabricantes das turbinas na definição da curva de colina de suas usinas, foram adotados dados obtidos a partir da altitude e latitude da usina e da temperatura média da água no local do empreendimento, conforme Norma IEC 60041 (International Electechnical Commission) (1). Por esta norma, a aceleração da gravidade a partir da ALTITUDE em metros (Z) e da LATITUDE em graus (φ) é dada por:

$$g = 9{,}80616 - 0{,}025928 * \cos(2 * \varphi) + 0{,}000069 * cos^2(2 * \varphi) - 0{,}000003 * Z$$

ou

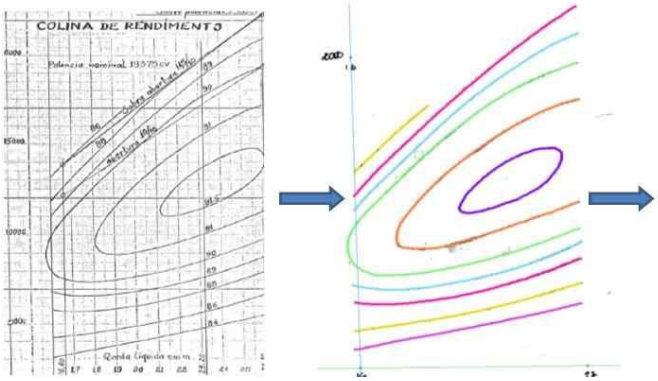
$$g = 9{,}7803 * (1 + 0{,}0053\, sen^2(\varphi)) - 0{,}000003 * Z$$

A massa específica da água depende da TEMPERATURA em ºC, e é dada por:

$$\rho = 1000{,}14 + 0{,}0094 * t - 0{,}0053 * t^2$$

2.2 Curva de colina de rendimento da turbina

As curvas de colina disponibilizadas passaram por processo de digitalização, por meio do aplicativo GetData Graph Digitizer, como ilustrado na Figura 1. Esse processo resultou em planilhas com pares de queda líquida/potência ou queda líquida/vazão associados a cada curva de rendimento da turbina.



84%	
H	P
15,772	3084,155
15,899	3091,253
16,025	3112,343
16,149	3142,187
16,273	3170,284
16,397	3194,889
16,522	3224,732
16,644	3256,344
16,767	3286,210
16,891	3314,307
17,015	3342,404
17,137	3372,270
17,260	3405,629
17,384	3437,218
17,507	3467,084
17,631	3493,435
17,755	3518,040
17,879	3542,645
18,003	3565,503
18,129	3590,085
18,251	3623,444
18,372	3663,809
18,493	3693,698

86%	
H	P
15,833	4159,353
15,960	4166,451
16,086	4185,795
16,210	4212,146
16,334	4233,258
16,461	4249,087
16,587	4268,431
16,711	4289,544
16,835	4308,910
16,961	4326,507
17,086	4347,597
17,212	4368,687
17,338	4386,285
17,464	4403,882
17,589	4421,480
17,715	4439,077
17,841	4458,421
17,963	4483,049
18,085	4505,930
18,211	4525,274
18,337	4546,364
18,462	4565,707
18,588	4585,051

88%	
H	P
15,861	5797,424
15,985	5769,622
16,108	5745,334
16,235	5727,986
16,361	5717,623
16,488	5707,259
16,615	5696,895
16,742	5688,278
16,868	5683,153
16,995	5679,774
17,122	5678,141
17,249	5678,255
17,374	5678,391
17,501	5678,504
17,629	5680,364
17,756	5685,716
17,883	5689,321
18,010	5694,673
18,135	5707,032
18,261	5721,137
18,386	5731,750
18,514	5740,595
18,641	5754,677

FIGURA 1 – Ilustração do processo de digitalização das curvas de colina

Para utilização da curva de colina digitalizada foi necessário o desenvolvimento de uma rotina de interpolação para identificar o rendimento da turbina que mais se aproximasse do par (queda líquida, potência) ou (queda líquida, vazão). O processo de interpolação segue o pseudocódigo descrito a seguir e está ilustrado na Figura 2. Entre parêntesis está o número correspondente nesta figura.

- Definição do par (queda líquida, potência) ou (queda líquida, vazão) (1)
- Determinação de faixa de queda líquida onde será feita a busca por curvas de rendimento. Tal faixa está associada a uma tolerância de +/- δ (2)
- Identificação das curvas de rendimento passíveis de estarem associadas ao ponto definido (3)
- Determinação das curvas mais próximas ao ponto definido (4)
- Determinação do raio de busca onde será procurada a reta de menor distância que passe pelo ponto (5)
- Cálculo da reta de menor distância que passa pelo ponto e interpolação para obter o rendimento da turbina (6)

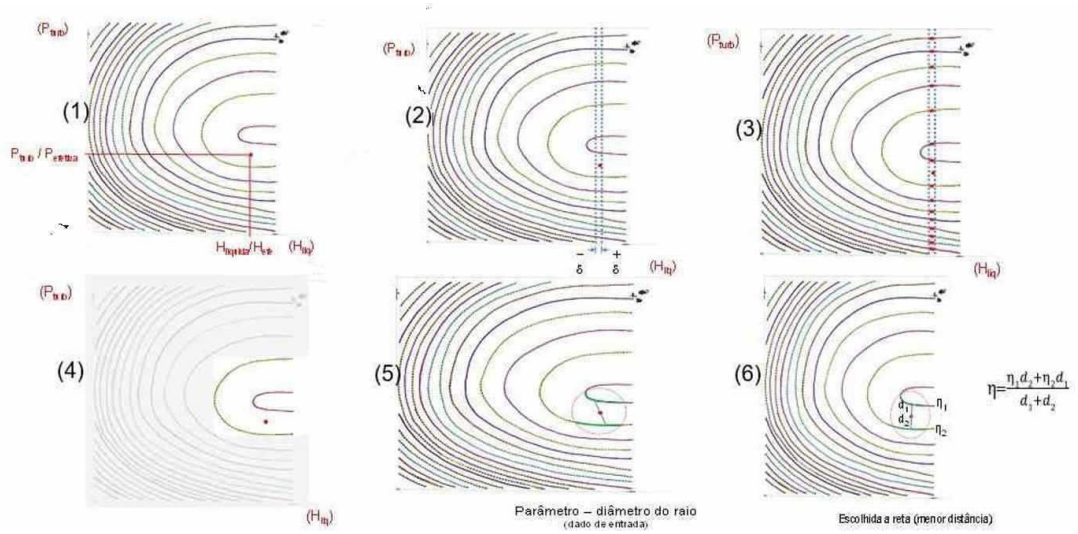


FIGURA 2 – Fases do processo de interpolação das curvas de colina

Observou-se durante o processo de interpolação para obtenção do rendimento da turbina que, a partir de determinados valores de queda líquida e potência no eixo da turbina, alguns pontos poderiam se localizar em região da curva de colina próxima dos extremos, onde a interpolação não seria viável. Adotou-se para essas situações o critério de utilizar a curva de rendimento mais próxima do ponto onde se busca obter o rendimento.

2.3 Equação de perdas de carga hidráulica

A perda de carga hidráulica no circuito de adução da turbina é normalmente expressa em metros, variando em função do quadrado da vazão turbinada, sendo a queda líquida determinada por [nível d'água de montante – nível d'água de jusante – perdas hidráulicas]. A equação de perda de carga hidráulica constitui, portanto, um insumo fundamental para cálculo de perdas e rendimentos representativos. Esse dado foi solicitado a todos os agentes. No entanto, 69 usinas não dispunham dessa informação.

Para essas usinas, foi feita avaliação da possibilidade de estimativa da equação de perdas por conta reversa a partir da tabela operativa [Potência gerada x Queda Bruta x Vazão Turbinada] utilizada pelos agentes, desde que esta tabela tivesse sido calculada a partir da equação de perdas hidráulica da usina. Ressalta-se que esse procedimento somente é possível para os casos de usinas cuja tomada d'água é individual, não sendo aplicável para usinas cuja tomada d'água é em "Y".

A seguir é apresentado o processo de obtenção da equação de perdas por conta reversa para curvas de colina cujo rendimento da turbina é função da queda líquida e da potência da turbina.

Etapas de cálculo para uso de curva do tipo $\mu_T = f(H_L; P_T)$:

a) Para cada ponto da tabela operativa P_G x H_B x Q, substituir P_G por P_T, utilizando o rendimento do gerador ($P_T = P_G / \mu_G$)

b) Dentro dos limites da digitalização, associar pares (H_{Ln}, P_{Tn}), com distância parametrizada, em metros, entre os valores de H_L. Para cada par *n*:

   i. Obter μ_{Tn} por interpolação, conforme o item 2.2.

   ii. Encontrar a vazão turbinada pela fórmula

$$Q_n = \frac{P_{Tn} \,.\, 1000000}{\mu_{Tn} \,.\, H_{Ln} \,.\, g \,.\, \rho}$$

   iii. Interpolar linearmente na tabela operativa o par (Q_n , P_{Tn}), e obter o correspondente H_{Bn}

   iv. $Perda_n = H_{Bn} - H_{Ln}$ → $Perda_n = k_n . Q_n^2$ → $k_n = (H_{Bn} - H_{Ln}) / Q_n^2$

onde

H_L	Queda líquida (m)	P_T	Potência da turbina (MW)
P_G	Potência gerada (MW)	μ_T	Rendimento da turbina
H_B	Queda bruta (m)	k	Termo constante da equação de perdas
μ_G	Rendimento do gerador		

Para as usinas cujas empresas não dispunham da equação de perdas, e tampouco as tabelas operativas possibilitaram a conta reversa, o ONS assumiu a contratação de consultoria especializada para, a partir dos dados de projeto das usinas, calcular das equações de perdas de carga hidráulicas.

A Figura 3 mostra o resultado da aplicação do algoritmo de cálculo da equação de perdas por conta reversa a uma usina do SIN cujo agente forneceu também a equação de perdas. Este exemplo comprova que a conta reversa é eficaz caso a tabela operativa tenha sido calculada com o uso da equação de perdas original do projeto.

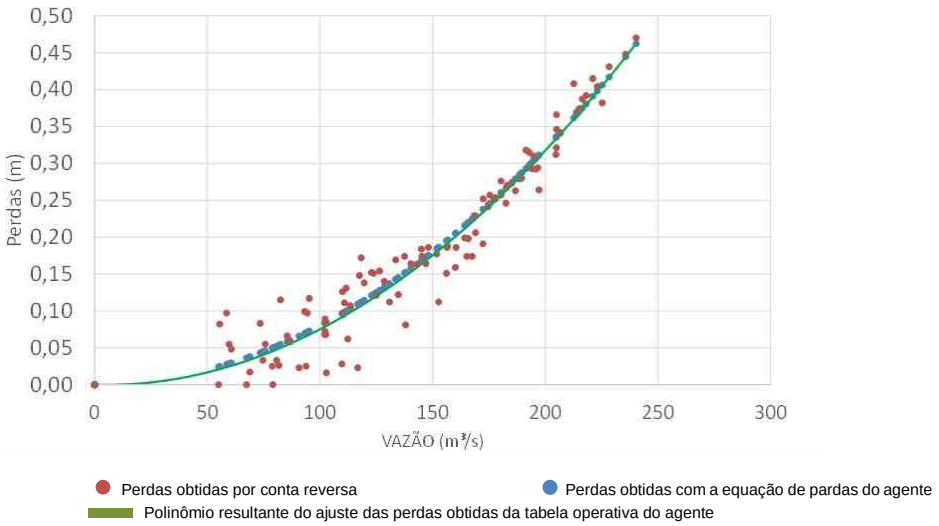


FIGURA 3 – Cálculo de equação de perdas por conta reversa x equação de perdas fornecida pelo agente

Este procedimento foi repetido para 26 usinas que possuem tomada d'água individual e forneceram a equação de perdas e a tabela operativa. Somente para 7 dessas usinas o resultado indicou que a tabela operativa foi originalmente elaborada com base na equação de perdas fornecida. Esse resultado fez com que as tabelas operativas se mostrassem pouco confiáveis, sendo decidido não utilizá-las para o cálculo da vazão turbinada, como visto a seguir.

3.0 - METODOLOGIA UNIFICADA PARA CÁLCULO DA VAZÃO TURBINADA

Ao longo das reuniões do GTDP foi acordada a seguinte metodologia para o cálculo da vazão turbinada:

- A vazão turbinada deve ser calculada por máquina, pela média do intervalo de 1 hora, desde que sejam utilizados nos cálculos os correspondentes minutos em que a máquina esteve em operação. Foi acordado com os participantes do GTDP que o tempo em operação seria obtido diretamente do Sistema de Apuração das Mudanças de Estados Operativos de Unidades Geradoras e Interligações Internacionais (SAMUG). O valor médio da geração, portanto, deve ser computado neste intervalo de tempo em que a máquina esteve em operação.

- Para efeito de cálculo da vazão turbinada, é indiferente a origem da medição da geração hidráulica, seja do Sistema de Supervisão e Controle ou do Sistema de Medição para Faturamento, desde que os dois instrumentos estejam posicionados para medir a geração bruta das unidades geradoras.

- O nível de montante deve ser medido na região próxima à barragem, por sensor ou régua, em intervalos compatíveis com a frequência de cálculo da vazão turbinada, sendo para tanto considerado o valor médio entre duas medições consecutivas, com precisão de centímetro.

- O nível de jusante deve ser medido por sensor ou régua, em intervalos compatíveis com a frequência de cálculo da vazão turbinada, considerando o valor de entre duas medições consecutivas, com precisão de centímetro.

- A vazão turbinada deve ser sempre obtida por processo iterativo.

Nesta metodologia foram desprezados o vazamento de água da turbina, as perdas por sucção em tomadas d'água vizinhas, as perdas de carga nos mancais e as perdas energéticas por retirada de corrente de excitação antes da medição da potência gerada.

3.3 Processo iterativo para cálculo da vazão turbinada

O processo iterativo, mostrado na Figura 4 com seu critério de convergência, é baseado na seguinte equação:

$$Q = \frac{P}{\mu_T \,.\, \mu_G \,.\left(NA_m - NA_j - k_1 . Q_{usina}^2 - \; k_2 . Q_{unidade}^2\right) . g . \rho_{água}}$$

Onde

P = potência média gerada no período considerado (MW)
Q = vazão turbinada (m^3/s)
NA_m = nível de montante (m)
NA_j = nível de jusante (m)
$k_1 Q_{usina}^2 + k_2 Q_{unidade}^2$ = equação de perda hidráulica no caso de tomada d'água em "Y"
$k . Q_{unidade}^2$ = equação de perdas para tomada d'água individual por unidade geradora
μ_T = rendimento da turbina
μ_G = rendimento do gerador
g = Aceleração da gravidade (função da altitude e latitude) (m/s^2)
$\rho_{água}$ = Massa específica da água (função da temperatura média da água) (kg/m^3)

O processo iterativo é interrompido quando a diferença entre as vazões turbinadas calculadas em dois ciclos consecutivos do processo é inferior à tolerância de 0,2%. Outra maneira de se interromper o ciclo é por meio da fixação do número máximo de iterações. O padrão adotado, que demonstrou ser eficiente no sentido de não causar grande impacto no tempo de processamento, foi de seis iterações. Não havendo convergência, a vazão turbinada da usina para a hora em questão não é computada.

A metodologia de cálculo das vazões turbinadas se mostrou bastante eficiente e confiável. De posse de todos os dados necessários para o cálculo, o processo de convergência para um determinado ponto operativo é muito rápido, mostrando ser viável sua implementação no ONS e nos sistemas computacionais já empregados na maioria das empresas participantes do GTDP. Além disso, a metodologia tende a apresentar resultados mais precisos e pode ser aplicada tanto para usinas com tomada d'água individual como para usinas com tomada d'água em "Y".

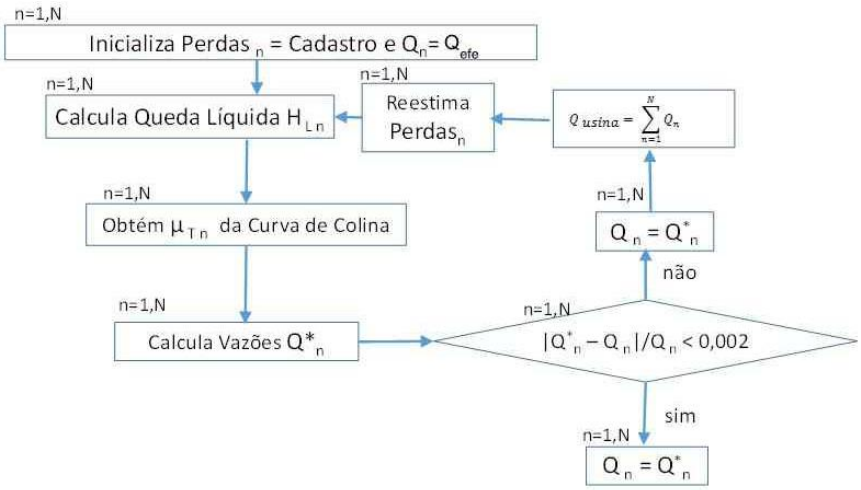


FIGURA 4 – Processo iterativo para cálculo da vazão turbinada

4.0 - METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DO RENDIMENTO E PERDAS HIDRÁUICAS REPRESENTATIVOS

A partir dos dados energéticos e hidráulicos medidos e/ou calculados (vazão turbinada), por máquina e por hora, ao longo do período selecionado (2005/2014), os valores médios a serem obtidos de rendimentos e de perdas Hidráulicas serão representativos da situação operacional do sistema.

Tendo-se percorrido a obtenção de todos os insumos, é descrita a seguir a metodologia para o cálculo dos rendimentos e perdas hidráulicas representativos, a partir dos valores horários para o período 2005 a 2014.

- Para cada unidade geradora **n**, faça para cada tempo **t**:

$$\mu_{TG_{n,t}} = \frac{P_{n,t}}{Q_{n,t} \cdot \left(NAm_t - NAj_t - perda_{n,t}\right) \cdot g_n \cdot \rho_n}.$$

Onde:

$P_{n,t}$ = potência média do gerador da máquina *n*, no tempo *t (1h)* (MW)

$perda\ n,t$ = perda de carga hidráulica média na máquina *n*, no tempo *t* (m)

$$perda\ n,t = k_1 \cdot (Q_{tot\ t})^2 + k_2 \cdot (Q_{n,t})^2$$

k_1 e k_2 = coeficientes da equação de perda de carga hidráulica, com k1=0 se a tomada d'água for individual por unidade geradora

$Q_{tot\ t}$ = vazão total turbinada na tomada d'água em Y, no tempo *t* (m^3/s)

$Q_{n,t}$ = vazão turbinada média da máquina *n*, no tempo *t* (m^3/s)

$\mu_{TG_{n,t}}$ = rendimento da turbina-gerador da máquina *n*, no tempo *t*

NAm_t = nível d'água médio de montante no tempo *t* ou entre *t* e *t -1* (m)

NAj_t = nível d'água médio de jusante no tempo *t* ou entre *t* e *t -1* (m)

g_n = aceleração da gravidade (função da altitude e latitude)

ρ_n = massa específica da água (função da temperatura média da água)

Durante os cálculos acima descritos, há a identificação e descarte de valores inconsistentes de rendimentos decorrentes de estimativa imprecisa da potência média e/ou da vazão turbinada, com base no seguinte critério:

$$\mu_{T\,min} \cdot \mu_G \leq \mu_{TG_{n,t}} \leq \mu_{T\,max} \cdot \mu_G$$

Onde:

$\mu_{T\,min}$ = rendimento mínimo encontrado na curva de colina da turbina nos limites operativos

μ_G = rendimento do gerador

μ_{TG} = rendimento médio da turbina-gerador da hora *t*

$\mu_{T\,máx}$ = rendimento máximo encontrado na curva de colina da turbina nos limites operativos

Ressalta-se que sempre que houver descarte de valor inconsistente de rendimento, o correspondente valor de perda hidráulica é também descartado para cálculo do valor representativo. Conforme acordado no GTDP, para cálculo do rendimento e perdas hidráulicas representativos são também expurgados os valores de geração média horária correspondentes a um tempo inferior a 60 minutos.

Conforme descrito anteriormente, o cálculo dos rendimentos e perdas hidráulicas é feito por unidade geradora para cada hora do período histórico estudado de 2005 a 2014. Desta forma, há necessidade de agregação desses valores por usina, por hora, por mês e ao longo do período de estudo. A agregação é sempre a média ponderada pela energia gerada no intervalo considerado.

5.0 - RESULTADOS

Até o fechamento deste informe, já foram obtidos resultados finais para 68 usinas, para as quais, devido à disponibilidade completa dos dados, foi possível estimar os valores de rendimento e perdas hidráulicas representativos.

Como exemplo dos resultados têm-se as Figuras 6, 7, 8 e 9. Nesses exemplos, conforme acordo de confidencialidade mantido no âmbito do GTDP, as usinas não estão identificadas.

A Figura 5 mostra os rendimentos médios diários apurados ao longo de 10 anos para uma determinada usina. Observa-se que em períodos de armazenamento baixo, os rendimentos resultaram em valores também baixos, com destaque para o ano de 2006, quando o reservatório operou em níveis baixos por um período longo.

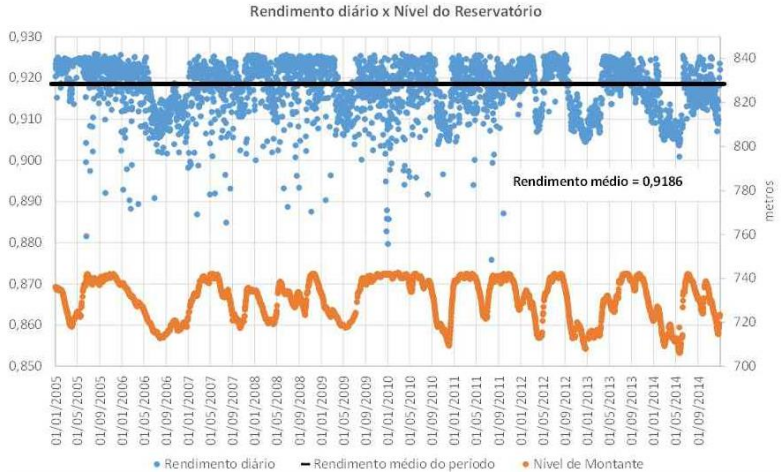


FIGURA 5– Rendimentos obtidos – valores agregados diários e valor médio representativo

A Figura 6 apresenta, à esquerda, os valores cadastral e calculado da produtibilidade média ao longo do período de 10 anos para uma outra usina. Nota-se que os valores calculados são inferiores ao de cadastro. Ressalta-se que os valores calculados de produtibilidade específica consideraram valores de gravidade e massa específica da água correspondentes à localização da usina. À direita, a figura apresenta o resultado do cálculo de perdas representativas.

FIGURA 6 – Produtibilidade específica e perda hidráulicas – valores agregados diários e valor representativo x valor cadastral

6.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta a metodologia de cálculo dos rendimentos e perdas hidráulicas representativos e os resultados obtidos até o momento, referentes às atividades já desenvolvidas no âmbito do GTDP – Grupo de Trabalho de Avaliação dos Dados Cadastrais para Cálculo da Produtibilidade.

Ressalta-se a forte relação de confiança institucional que prevaleceu entre o ONS e o conjunto de agentes de geração hidroelétrica ao longo do processo, propiciando que as atividades do GTDP avançassem. Vale também registrar o decidido apoio recebido da ABRAGE desde a criação do grupo.

Para o histórico de 10 anos (2005 a 2014) foram, até o fechamento deste informe, calculados em base horária valores de vazão turbinada, rendimento e perdas hidráulicas para 68 usinas do SIN cujos dados essenciais de geração horária por máquina, níveis de montante e jusante, curva de colina e equação de perdas hidráulicas estavam consistidos e disponíveis. Tais resultados devem ser validados individualmente com os respectivos agentes para que estejam aptos a ser submetidos a processo de aprovação para entrada em vigor nos modelos de planejamento da operação e cálculo do PLD.

Um dos principais resultados deste trabalho foi a definição de uma metodologia unificada para cálculo de vazão turbinada a partir da energia gerada e dos níveis de montante e de jusante medidos.

Como principal dificuldade encontrada no desenvolvimento do trabalho destaca-se que, para um grande conjunto de usinas, as equações de perdas hidráulicas não foram encontradas pelos agentes, apesar do esforço de pesquisa realizado. Para solucionar o problema, o ONS decidiu contratar consultoria especializada para obter esta equação a partir dos dados de projeto da usina a serem fornecidos pelos agentes.

Em consequência das atividades do GTDP, o ONS, dispondo das curvas de colina de rendimento digitalizadas e das equações de perda de carga hidráulica, terá condições de avaliar a programação de geração de forma que, mesmo diante da necessidade de manter as adequadas condições operativas, seja possível aproximar ainda mais a operação do ponto ótimo por máquina em cada usina.

7.0 - RECONHECIMENTO

Os autores prestam homenagem póstuma ao Engenheiro Clovis Fischer Santos, da CESAP (Salto Pilão), que em sua breve e vibrante participação trouxe diversas contribuições relevantes para as atividades do GTDP que resultaram neste informe.

São mencionados a seguir os demais representantes no GTDP que participaram das reuniões de trabalho que deram origem aos resultados apresentados: Breno Giraldi (Espora Energética), Gilvan Antonio da Silva Junior (Eletrogoes), Jackson de Carvalho (EMAE), João Batista Pelufo Silveira (Gerdau), Luiz Edmundo Ferreira (Tijoá), Pedro Igor Carvalho Moreira (Eletronorte), Roberto Carlos Oliveira Aragão (Samarco), Thiago M. Tomazzoli (Statkraft), Thimóteo Costa Vaz (Votorantin) e Weliton Letro da Silva (Energisa Soluções)

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines, IEC 60041 ED. 3.0 B:1991 STANDARD by International Electrotechnical Commission, 30/11/1991

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Alberto Sergio Kligerman: Niterói, RJ, 1958; Engenheiro Eletricista, UFRJ, 1980; Doutor em Computação, UFF, 2009; Gerente de Metodologias e Modelos Energéticos no ONS, onde ingressou em 1998.

Bernard Fernandes Küsel: Brasília, DF, 1989; Engenheiro Eletricista, UnB, 2011; Mestre em Engenharia Elétrica, Unb, 2014; atua na gerência de Pós-Operação do Centro Nacional de Operação do Sistema (CNOS) do ONS.

Bruno Ferreira Pereira: Sete Lagoas, Minas Gerais; Engenheiro Industrial Mecânico, CEFET-MG, 2008; Gerenciamento de Projetos, UVA, 2012; atualmente na LIGHT ENERGIA, atua em geração hidroelétrica desde 2007.

Carlos Eduardo Vilas Boas: Araguari, MG, 1961; Engenheiro Eletricista, UFRJ, 1984. COSE, Unicamp, 1994, Atuou na Promon Engenharia de 1985 a 1988 e na Eletrobrás até 1999; no ONS, em planejamento eletro energético de curtíssimo prazo, desde 2000.

Edvaldo Soares Araujo Neto: Salvador, BA, 1987; Engenheiro Eletricista, UFBa, 2013; atualmente na Santo Antônio Energia, como Engenheiro de Pós-Operação na UHE Santo Antônio.

Fernando Pedrassani Costa Neves: Caçador, SC, 1968; Engenheiro Eletricista, UFSC, 1993; atualmente consultor em sistemas de potência na Nytech Engenharia de Sistemas e na Opersul Energia.

Filipe Magno Mayrink Niquini: Ponte Nova, MG, 1983; Engenheiro Eletricista, UFV, 2007; Mestre em Sistemas de Energia, UFJF, 2009; atualmente Engenheiro de Operação na Eletrobras Eletrosul.

Grazziano Motteran: Belo Horizonte, 1983; Engenheiro Eletrônico e de Telecomunicação, PUC-MG, 2005; atuou em sistemas fotovoltaicos, PUC-MG; Desde 2007, planejamento energético e programação diária da operação, CEMIG.

Henrique Gabriele Borduqui: S. J. do Rio Preto, SP, 1985; Engenheiro Mecânico pela Unesp – Ilha Solteira, 2010; atua na área de engenharia de manutenção na empresa CPFL Geração desde 2011

Hugo Mikami: Joaquim Távora, PR, 1962; Engenheiro Eletricista, UFPR, 1984; Especialista em Gestão Técnica de Concessionárias de EE, UFPR, 2000; Gerente da Divisão de Planejamento e Estudos Eletroenergéticos, Copel GeT.

José Oscar da Silva Moreira: Portugal, 1945; Engenheiro Civil com especialização em Obras Hidráulicas, UFRJ, 1968; Professor de Hidráulica e Hidrologia do curso de Saúde Pública do Instituto Presidente Castelo Branco.

José Vicente Miranda Rescigno: Alegrete, RS, 1963; Técnico Hidrologia, IPH/UFRGS, 1981; Geógrafo, UFSC, 1989; Coordenador de Hidrologia e Pré-Operação no Departamento de Operação da Engie Brasil Energia.

Lucas de Souza Khenayfis: Rio de Janeiro, RJ, 1993; Estudante de Engenharia Elétrica, UFRJ. Atualmente é estagiário da Gerência de Metodologias e Modelos Energéticos, ONS.

Luís Fernando de A. M. Nogueira: Santos, SP, 1970; Engenheiro Eletricista, Escola de Engenharia Mauá, 1992; Pós-graduado em Sistemas de Potência UNIFEI, 2009; Mestrando UNICAMP; Gerente da Divisão de Planejamento Energético na CESP.

Marcelo Roberto Rocha de Carvalho: Rio de Janeiro, RJ, 1965; Engenharia Civil, UFRJ, 1987; Mestre em Recursos Hídricos, COPPE, 1993; Gerente da Divisão de Programação Energética e Hidrometeorologia, Furnas, desde 2012.

Maria Cândida Abib Lima: Aimorés, MG, 1965; Engenharia Elétrica, UFJF, 1987; Mestre em Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE-UFRJ, 1992; atua na gerência de Metodologias e Modelos Energéticos do ONS desde 2002.

Maria Helena Teles de Azevedo: Aracaju, SE, 1957; Engenheira Eletricista, PUC-RJ, 1981; Mestre em Engenharia Elétrica, PUC-RJ, 1991; desde 1999 no ONS, na Gerência Executiva de Metodologias, Modelos e Carga.

Mario Pereira de Godoi Neto: Suzano, SP, 1982; Engenheiro Eletricista, Univ. Paulista, Bauru-SP, 2012; MBA Gestão da Produção e Manutenção, Univ. Centro Leste, Serra-ES, 2016; atua na EDP em operação desde 2013.

Maurílio Eijin Katekawa: Paraguaçú Paulista, 1960; Engenheiro Eletricista, UNIFEI, 1985; Gerente do Centro de Operação da Geração na empresa Duke Energy International, Geração Paranapanema desde 2001.

Nivaldo Maganha: Pirassununga, SP, 1959; Técnico em Eletrônica, CTI-Unesp, 2001; durante 28 anos atuou no Centro de Operação da CESP/CTEEP; atua no Centro de Operação da Geração do Grupo Alupar desde 2010.

Pedro Henrique Silva Cid: Juiz de Fora, MG, 1983; Engenheiro Eletricista, UFJF, 2007; Mestre em Sistemas de Energia, PUC-Rio, 2013; MBA em Gestão Empresarial, FGV, 2016; atua na Pós-Operação do COS Neoenergia.

Pedro Paulo de Castro Viana: Ji-Paraná, RO, 1989; Engenheiro Eletricista, Universidade Federal de Rondônia 2013; Atua na Pré-Operação da Energia Sustentavel do Brasil – UHE Jirau.

Renata Biasi Ribeiro Tufaile: Campinas, SP, 1974; Engenheira Eletricista, UNIFEI, 1998; Mestre em Sistemas de Potência, UNIFEI 2002; atualmente Engenheira de Operação na Itaipu Binacional.

Roberto Nogueira Fontoura Filho: Engenheiro Eletricista, IME, 1979; Doutor em Engenharia Elétrica, COPPE/UFRJ, 1994; MBA em Energia Elétrica, IE/UFRJ, 1998. Atuou na Promon Engenharia e Eletrobrás. No ONS desde 2000, onde hoje é Gerente Executivo de Metodologias, Modelos e Carga. Professor Adjunto na UERJ.

Rodrigo Feistauer: Porto Alegre, RS, 1976; Engenheiro Mecânico, UFRGS, 2002; atua na Divisão de Instalações da Geração da CEEE/GT desde 2008.

Rodrigo Sacchi: Bandeirantes-PR, 1976; Engenheiro Eletricista, USP, 2001; Doutor em Engenharia Elétrica, USP, 2009; Gerente de Preços na CCEE, onde ingressou em 2014.

Rogerio Saturnino Braga: Rio de Janeiro, RJ, 1956; Engenheiro Civil, UFRJ, 1978; Pós-graduado em Recursos Hídricos, COPPE, 1985; 23 anos de experiência em projetos de hidráulica; há 16 anos no ONS em Recursos Hídricos.

Sergio Montenegro Fernandes: Fortaleza, CE, 1971; Engenheiro Eletricista, UFC, 1994; Pós-graduação em Eficiência e Qual. Energética, UFC, 1998; Gerente de Estudos e Planejamento Energético da Operação, CHESF.

Thiago Correa César: Juiz de Fora, 1985, Engenheiro Eletricista, UFJF, 2007; Mestre em Engenharia Elétrica, ênfase Apoio à Decisão, PUC-RJ, 2015; desde 2008 na Superintendência de Planejamento da Geração (SGE), EPE.

Valdeci Goulart: Caconde, SP, 1965; Engenheiro Eletricista, UNIP, S. J. do Rio Pardo - SP; Pós-graduado em Recursos Hídricos, UNICAMP, 2011; desde 2012, Coordenador do Centro de Operação e Eclusa da AES Tietê.