

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

DEFINIÇÃO DE NÚMERO DE GRUPOS GERADORES COM DIFERENTES POTÊNCIAS EM CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

THIAGO MODESTO DE ABREU(1); OTÁVIO REFUNDINI MIGUEL(1); EDSON BORTONI(1)
UNIFEI(1)

RESUMO

O presente trabalho propõe uma metodologia de definição de número de grupos geradores com diferentes potências unitárias para centrais hidrelétricas que considera a determinação da potência nominal da usina com turbinas hidráulicas do tipo Francis com mesma capacidade nominal. Uma vez que as turbinas possuem diferentes vazões inferiores de engolimento, a proposta busca definir a fração inferior da vazão turbinada de cada máquina, de modo a maximizar o aproveitamento hídrico. Como resultado, o método aplicado apresentou-se viável para o caso onde a relação entre vazão de projeto e a mínima da série hidrológica histórica foi alta, caso da região Sul.

PALAVRAS-CHAVE: Turbinas hidráulicas. Fração inferior da vazão turbinada. Centrais hidrelétricas. Número de grupos geradores. Turbina Francis

1.0 INTRODUÇÃO

A fonte hidráulica corresponde a aproximadamente 60% matriz elétrica brasileira, porém, o potencial remanescente para grandes empreendimentos dessa fonte no país encontra-se predominantemente na região Norte, em locais de baixa queda. Já para projetos com potências menores, ainda há espaço para desenvolvimento de novos empreendimentos nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, contudo, em um passado recente, se tornaram menos competitivos no tocante a custos de equipamentos eletromecânicos.

Dada tamanha importância e a vasta utilização desta fonte de energia renovável na matriz elétrica brasileira, como proposta de melhoria para as centrais hidrelétricas, buscou-se a partir deste trabalho, desenvolver uma nova proposta para que se possa definir o número de grupo geradores, que diferentemente da metodologia clássica, aplica-se a turbinas hidráulicas (TH) do tipo Francis com diferentes potências nominais.

Para tanto, uma formulação matemática foi desenvolvida para se obter a relação entre as vazões inferiores de engolimento de cada máquina, considerando a vazão mínima da série histórica hidrológica e a vazão de projeto do empreendimento, de modo que se possa maximizar o aproveitamento das vazões turbinadas.

Dessa maneira, a metodologia a ser abordada neste trabalho, é composta por diferentes estudos e iterações, de tal modo que se permita aproximar da condição de ótimo para um conjunto de duas ou mais turbinas de diferentes potências, objetivando sempre o menor vertimento de uma usina e a maximização de sua potência disponibilizada. Porém, especificamente para esse trabalho, adotou-se para duas turbinas, iterações paramétricas de fração inferior da vazão turbinada, rotação específica de cada máquina e a altura de sucção para a qual o grupo gerador será alocado.

2.0 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Neste desenvolvimento, são abordados os fundamentos para o alicerce de ideias, tais como: equacionamento para cálculo de número de grupos geradores, margem operacional de turbinas Francis, fração inferior da vazão turbinável por uma TH, faixa de rotação específica e vazões.

2.1 Número de grupos geradores (NGG)

Uma das maneiras de definição dos grupos geradores está no método clássico, para o qual utiliza-se a inequação em função da fração inferior turbinada (f_i), vazão de projeto (Q_P) e vazão mínima histórica (Q_{min}) (ABREU, 2015).

$$NGG \geq fi \cdot \frac{Q_P}{Q_{\min}} \quad (1)$$

2.2 Margem operacional de turbinas Francis

Neste estudo, foram consideradas somente turbinas hidráulicas com rotores do tipo Francis, devido à sua grande flexibilidade, visto que sua velocidade de operação pode ser definida por meio de sua característica construtiva, relacionando seus diâmetros de entrada e saída, conforme apresentado na Tabela 1 (VIANA, 2010).

TABELA 1 – Velocidades operacionais de TH Francis

Velocidade Operacional	Relação de Diâmetros	Vazão	Queda
Lenta	$D_{in} > D_{out}$	Baixa	Alta
Normal	$D_{in} \approx D_{out}$	Média	Média
Rápida	$D_{in} < D_{out}$	Alta	Baixa

2.3 Fração inferior da vazão turbinada (fi)

A fração inferior nada mais é do que sua flexibilidade operativa. Para se delimitar o campo operacional, em casos de TH de grande potência, normalmente utiliza-se uma queda de 5%, podendo chegar a 10% para as de pequenas potências (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009).

Como ilustrado na Tabela 2, de todos os tipos de rotores apresentados, a TH com rotor do tipo Francis possui uma fração inferior (fi) que é determinada em função da rotação específica de cada máquina (n_{qA}), de acordo com a Equação 2.

TABELA 2 – Valores de fi para diferentes rotores de TH

Rotor	Fração inferior (fi)
Pelton	0,25
Francis	$f(n_{qA})$
Hélice	0,88
Kaplan	0,25

$$fi = 0,248 + 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot n_{qA} - 3,403 \cdot 10^{-6} \cdot n_{qA}^2 \quad (2)$$

2.4 Rotação específica (n_{qA})

Para que se defina a faixa de rotação específica, como mostrado na Figura 1, deve-se calcular os valores máximo e mínimo em função da altura de queda. Cada curva gerada é dada por uma equação, a qual corresponde a uma certa faixa de altura de operação para as TH Francis:

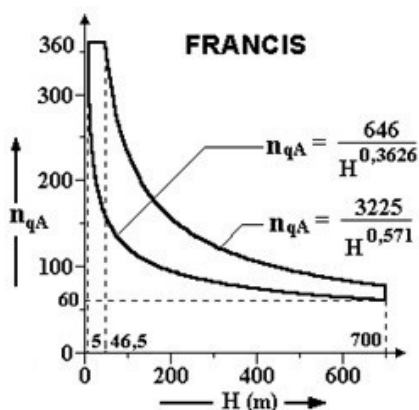


FIGURA 1 – Rotação específica em função da altura de queda

TABELA 3 – Limites máximo e mínimo de rotação específica

Altura de queda	n_{qAmin}	n_{qAmax}
$5 < H [m] \leq 700$	$\frac{646}{H^{0,3626}}$	-
$5 \leq H [m] \leq 46,5$	-	360
$46,5 < H [m] \leq 700$	-	$\frac{3225}{H^{0,571}}$

2.5 Vazões

Visando o melhor uso do recurso hídrico disponível, faz-se necessária a realização de um estudo hidrológico da bacia onde o empreendimento está localizado. Dessa maneira, são explicitados alguns conceitos das vazões a serem empregadas na metodologia.

2.5.1 Vazão de projeto (QP)

Dada uma série hidrológica histórica, permite-se encontrar uma vazão de projeto hidroenergeticamente ótima, a qual está incluída no estudo prévio para se determinar a potência de projeto de uma central hidrelétrica, cuja determinação se dá através da curva de permanência (ABREU, 2015).

Por definição, a curva de permanência, também conhecida como curva de duração, é o complemento da função de distribuição de vazões, por exemplo, em um certo período de tempo. Esta curva mostra, para cada ponto, qual a probabilidade de este ser igualado ou superado (BORTONI, 2019).

2.5.2 Vazão mínima histórica (Q_{mín})

A vazão mínima histórica, também conhecida como vazão de referência, está associada aos menores valores diários de cada ano das séries anuais. Com isso, ao analisar a curva de probabilidade das vazões mínimas, estima-se o risco de que ocorram vazões menores do que um dado valor escolhido (PEREIRA, 2015).

Algumas das principais vazões de referência utilizadas são, de acordo com a legislação ambiental, vazão de permanência de 90% do tempo (Q_{90}), vazão de permanência de 95% do tempo (Q_{95}) e vazão média das mínimas de sete dias consecutivos para um período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$) (ABREU, 2015).

2.5.3 Vazão inferior (Q_{inf})

A vazão inferior (Q_{min}) é aquela com a qual a TH entra em funcionamento. Para isso, esta vazão deve estar situada dentro do campo operacional da TH, respeitando os limites de rendimento impostos (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009).

Para uma eventual operação com a vazão abaixo desta, o rotor da turbina estará sujeito ao fenômeno da cavitação e pode ser definida a partir do produto da fração inferior (f_i) pela vazão nominal da turbina (Q_N).

$$Q_{inf} = f_i \cdot Q_N \quad (3)$$

2.6 Altura de sucção (H_{su})

A cavitação é um fenômeno físico que ocorre principalmente no interior de sistemas hidráulicos e que consiste na formação de bolhas de vapor no meio fluido transportado.

Em TH, com o aumento da velocidade da água nas pás, a pressão pode diminuir ao ponto desta se vaporizar, causando surgimento de bolhas. Quando estas bolhas perdem contato com a superfície da pá, encontrando uma pressão superior, implodem, causando erosões (BORTONI, 2019).

Para isso, define-se o coeficiente de cavitação mínimo ($\sigma_{mín}$), em função da rotação específica (n_{qA}), quantificando a resistência do escoamento. Portanto, quanto maior este coeficiente, menor será a chance de surgência do fenômeno de cavitação (GOULART; NUNES, 2020).

$$\sigma_{mín} = 0,0245 \cdot e^{0,00833 \cdot n_{qA}} \quad (4)$$

Com a definição do coeficiente de cavitação, é possível calcular a altura de sucção ideal para a turbina a ser instalada. Para tanto, deve-se salientar que tal altura pode ser positiva ou negativa. Em centrais cuja altura de sucção tem valor

negativo, necessita-se de escavação, e com isso, no custo final desta central, haverá um incremento devido ao gasto necessário em construção civil.

Para que se determine a altura de sucção máxima (H_{sumax}) e adequada, evitando causar danos na TH como a cavitação, queda da potência fornecida e redução da vida útil, utiliza-se a Equação 5, a qual possui como dependências: a cota da instalação em relação ao nível do mar (z_b), o coeficiente de cavitação mínimo (σ_{min}) e a queda bruta (H_b).

$$H_{sumax} = 10 - 0,00122 \cdot z_b - \sigma_{min} \cdot H_b \quad (5)$$

3.0 RELAÇÃO ENTRE AS FRAÇÕES INFERIORES

Com o intuito de se obter o maior aproveitamento energético e, consequentemente, hidrológico, o foco principal dos cálculos desenvolvidos se dá a partir de uma dada curva de permanência do empreendimento.

Como a proposta busca definir a fração inferior da vazão turbinada, neste caso, para duas máquinas e, de modo a maximizar o aproveitamento das vazões turbinadas de cada uma delas.

Como melhor detalhado a seguir, adotou-se que a vazão inferior da primeira máquina coincida com a vazão mínima histórica, assim como, a vazão inferior da segunda unidade, esteja o mais próximo possível do valor da vazão nominal de sua antecessora.

3.1 Vazão nominal da primeira máquina

Para que se possa aproveitar o potencial onde está situada a central, considerou-se que a vazão inferior da primeira máquina (Q_{inf1}) será igual à vazão mínima histórica (Q_{min}).

$$Q_{inf1} = Q_{min} \quad (6)$$

Dessa forma, ao manipular a Equação 3, pode-se determinar a vazão nominal da primeira máquina (Q_{N1}), sendo expressa pela razão entre a vazão mínima histórica (Q_{min}) e a fração inferior da primeira máquina (f_{i1}).

$$Q_{N1} = \frac{Q_{inf1}}{f_{i1}} = \frac{Q_{min}}{f_{i1}} \quad (7)$$

3.2 Vazão nominal da segunda máquina

Idealmente, busca-se uma segunda máquina com a premissa de que sua vazão inferior (Q_{inf2}) seja igual a vazão nominal da primeira máquina em operação (Q_{N1}).

$$Q_{inf2} = Q_{N1} \quad (8)$$

E de maneira análoga, a vazão nominal da segunda máquina (Q_{N2}) pode ser expressa pela razão entre a vazão nominal da primeira máquina (Q_{N1}) e a fração inferior da segunda máquina (f_{i2}).

$$Q_{N2} = \frac{Q_{N1}}{f_{i2}} = \frac{Q_{N1}}{f_{i2}} \quad (9)$$

Logo, ao manipular as Equações 7 e 9, a mesma vazão nominal da equação anterior (Q_{N2}), pode ser escrita em função da vazão mínima histórica (Q_{min}), da fração inferior da primeira máquina (f_{i1}) e da fração inferior da segunda máquina (f_{i2}).

$$Q_{N2} = \frac{Q_{min}}{f_{i1} \cdot f_{i2}} \quad (10)$$

3.3 Vazão de projeto do empreendimento

Com a soma das vazões nominais de ambas as máquinas (Q_{N1} e Q_{N2}), determina-se a vazão de projeto (Q_P), de forma a obter-se a relação entre suas frações inferiores de vazão turbinável (f_{i1} e f_{i2}) e a vazão mínima histórica (Q_{min}).

$$Q_P = Q_{N1} + Q_{N2} \quad (11)$$

$$Q_P = Q_{min} \cdot \left(\frac{1}{f_{i1}} + \frac{1}{f_{i1} \cdot f_{i2}} \right) \quad (12)$$

3.4 Definição das frações inferiores

Finalmente, pode-se definir a fração inferior da primeira máquina (f_{i1}) em função da constante α , a qual dita a razão entre a vazão de projeto (QP) e a vazão mínima histórica (Qmin), referente às vazões adotadas no início do projeto, bem como em função da fração inferior adotada para a segunda máquina (f_{i2}).

$$f_{i1} = \left(1 + \frac{1}{f_{i2}} \right) \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (13)$$

Destaca-se que uma vez que a metodologia envolve relação entre vazão de projeto e vazão mínima da série hidrológica histórica, os resultados apresentados acima são referentes às vazões de cada turbina. Para se transformar esses valores em potência, deve-se multiplicar esse parâmetro por uma constante, função da queda bruta, rendimentos hidráulico, mecânico e elétrico, força da gravidade e massa específica da água (Eq. 14), respeitando-se a relação proporcional entre potência e vazão nominal de cada máquina.

$$Pel = \rho \cdot g \cdot H_b \cdot Q \cdot \eta_T \quad (14)$$

4.0 ESTUDO DE CASO

A título de comparação, para a realização deste estudo, foram consideradas duas regiões que possuem diferentes perfis hidrológicos. Uma das centrais está situada no estado de Mato Grosso, no Centro-Oeste brasileiro, mostrada na Figura 2 - (a), enquanto a outra encontra-se no estado de Santa Catarina, região Sul do Brasil, Figura 2 - (b).

Cumprir informar que foram adotados os mesmos parâmetros de entrada para ambas as centrais hidrelétricas em questão, como: queda bruta ($H_b = 300$ m), queda disponível ($H = 300$ m) e cota da instalação ($z_b = 600$ m).

Adicionalmente, de forma a atender faixa para a rotação específica ($82 \leq nqA \leq 124$), adotou-se o valor de 110, respeitando os limites máximo e mínimo encontrado.

Consequentemente, para tal valor de nqA adotado, os valores para o coeficiente de cavitação mínima e altura de sucção máxima, foram de 0,0613 e -9,11 metros, respectivamente, conforme a Tabela 3.

TABELA 4 – Parâmetros de entrada

DADOS DE ENTRADA			FUNÇÕES DE nqA	
Queda bruta	H_b [m] =	303	$nqA_{\min} = 82$	$nqA_{\max} = 124$
Queda disponível	H [m] =	300	Rotação específica	$nqA = 110$
Cota da instalação	z_b [m] =	600	Coef. de cavitação	$\sigma_{\min} = 0,0613$
Rendimento	η [%] =	97	Altura de sucção	$HSU_{\max} [m] = -9,11$

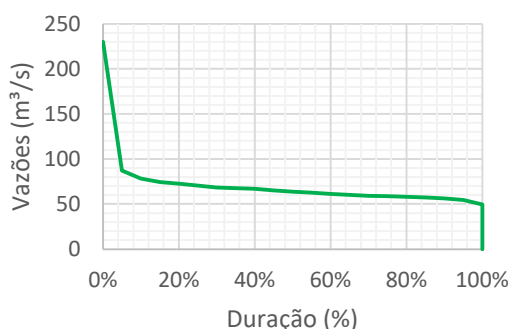


FIGURA 2 - (a) – Curva de permanência região Centro-Oeste

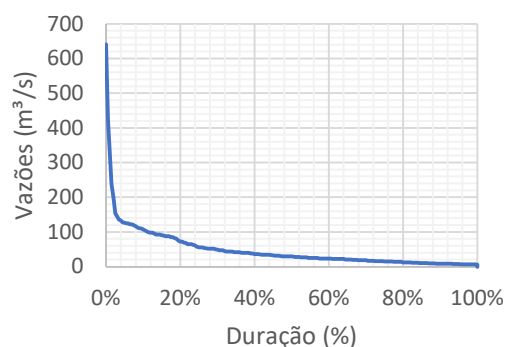


FIGURA 2 - (b) – Curva de permanência região Sul

Para ambos os casos, considerou-se como a vazão mínima histórica, de forma mais conservadora, a vazão de permanência de 90% do tempo (Q90).

Já para a vazão de projeto, também de forma semelhante, foram calculadas pelo método assintótico e, posteriormente, adequado para a soma das vazões nominais encontradas para cada máquina, assim como expresso na Equação 11.

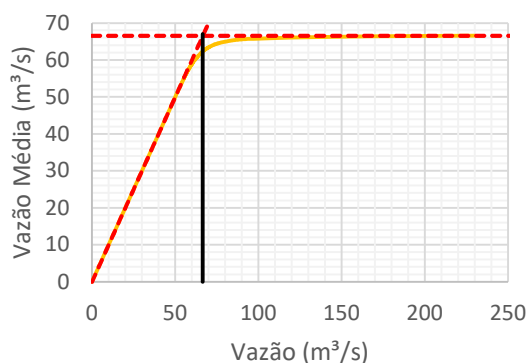


FIGURA 3 - (a) – Vazão de projeto região Centro-Oeste

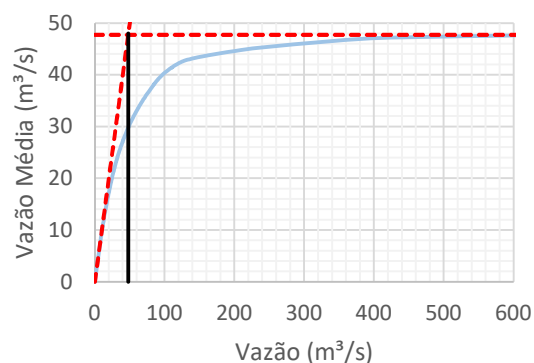


FIGURA 3 - (b) – Vazão de projeto região Sul

4.1 Caso 1 – Região Centro-Oeste

No primeiro caso, por meio Figura 2 - (a), foi identificada uma certa constância na curva de permanência. Dessa forma, determinou-se uma vazão de projeto de 66,56 m³/s e uma vazão mínima histórica de 56,33 m³/s, resultando uma constante $\alpha = 1,1817$.

Realizando as iterações referentes à fração inferior turbinável, rotação específica e altura de sucção (Tabelas 5, 6 e 7), identificou-se, para este caso, que não se torna viável a implementação de turbinas com rotores do tipo Francis de diferentes potências, uma vez que sua relação entre as vazões determinadas anteriormente, a denominada constante α , é praticamente unitário (Tabela 8).

TABELA 5 – Fração inferior turbinável da primeira máquina (fi1)

α	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
fi2	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
0,45	3,22	2,15	1,61	1,29	1,07	0,92
0,50	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,86
0,55	2,82	1,88	1,41	1,13	0,94	0,81
0,60	2,67	1,78	1,33	1,07	0,89	0,76
0,65	2,54	1,69	1,27	1,02	0,85	0,73
0,70	2,43	1,62	1,21	0,97	0,81	0,69
0,75	2,33	1,56	1,17	0,93	0,78	0,67

TABELA 6 – Rotação específica em função de fi1

α	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	Gêmeas
nqA(fi2)	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	Simples
83	-	-	-	-	-	-	
107	-	-	-	-	-	-	
134	-	-	-	-	-	-	
163	-	-	-	-	-	309	
197	-	-	-	-	-	262	
237	-	-	-	-	-	231	
292	-	-	-	-	341	209	

TABELA 7 – Altura de sucção em função do coeficiente de cavitação σ_{\min} (fi1)

α	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Hsu(fi2)	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
-5,4	-	-	-	-	-	-
-8,7	-	-	-	-	-	-
-13,1	-	-	-	-	-	-
-19,3	-	-	-	-	-	-87
-28,5	-	-	-	-	-	-56
-43,6	-	-	-	-	-	-41
-74,1	-	-	-	-	-117	-33

TABELA 8 – Determinação das frações inferiores que atendem ambas as máquinas

α	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	Gêmeas
fi2	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	Simples
0,45	-	-	-	-	-	-	
0,50	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	

No caso da central em tela, por se localizar em uma região onde estão contidos rios mais perenes, as vazões de projeto e mínima história possuem uma razão praticamente unitária, podendo ser comprovada por sua curva de permanência, na Figura 2 - (a). Neste caso, pode-se observar desde a Tabela 5, que para turbinas com rotores do tipo Francis, não há opções disponíveis dentro da relação de $\alpha = 1$ e $\alpha = 2$. Dessa maneira, para o caso abordado, não há viabilidade de implementação para a metodologia proposta.

4.2 Caso 2 – Região Sul

Para este caso, por meio Figura 2 - (b), é possível identificar que a curva de permanência tem uma considerável inclinação. Determinou-se então uma vazão de projeto de 47,72 m³/s e uma vazão mínima histórica de 8,61 m³/s, resultando uma constante $\alpha = 5,5448$.

Analogamente ao caso anterior, por meio das iterações propostas, foi possível determinar, a partir da Tabela 12, que para este caso se torna viável a implementação de turbinas com rotores do tipo Francis de diferentes potências, para um único caso, em que se extrapola a constante α para 6. Neste caso tem-se: $fi2 = 0,50$ e $fi1 = 0,50$.

TABELA 9 – Fração inferior turbinável da primeira máquina ($fi1$)

α	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00
$fi2$	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50
0,45	0,81	0,72	0,64	0,59	0,54	0,50
0,50	0,75	0,67	0,60	0,55	0,50	0,46
0,55	0,70	0,63	0,56	0,51	0,47	0,43
0,60	0,67	0,59	0,53	0,48	0,44	0,41
0,65	0,63	0,56	0,51	0,46	0,42	0,39
0,70	0,61	0,54	0,49	0,44	0,40	0,37
0,75	0,58	0,52	0,47	0,42	0,39	0,36

TABELA 10 – Rotação específica em função de $fi1$

α	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	Gêmeas
nqA ($fi2$)	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	Simples
83	-	252	193	154	127	105	
107	292	209	163	131	107	89	
134	241	180	141	114	92	76	
163	209	158	125	100	81	65	
197	186	142	111	89	71	57	
237	168	128	100	79	63	49	
292	153	117	91	71	56	43	

TABELA 11 – Altura de sucção em função do coeficiente de cavitação $\sigma_{mín}(fi1)$

α	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00
Hsu ($fi2$)	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50
-5,4	-	-50,8	-27,3	-17,3	-11,8	-8,4
-8,7	-74,1	-32,7	-19,3	-12,7	-8,7	-6,1
-13,1	-45,5	-23,7	-14,6	-9,7	-6,6	-4,5
-19,3	-32,7	-18,2	-11,5	-7,6	-5,1	-3,4
-28,5	-25,2	-14,6	-9,3	-6,1	-4,0	-2,5
-43,6	-20,4	-12,1	-7,7	-4,9	-3,1	-1,8
-74,1	-17,0	-10,2	-6,4	-4,0	-2,4	-1,3

TABELA 12 – Determinação das frações inferiores que atendem ambas as máquinas

α	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	Gêmeas
$fi2$	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	Simples
0,45	-	-	-	-	-	0,50	
0,50	-	-	-	-	0,50	0,46	
-	-	-	-	-	0,47	-	
-	-	-	-	0,48	-	-	
-	-	-	-	0,46	-	-	
-	-	-	0,49	-	-	-	
-	-	-	0,47	-	-	-	

Já para esse segundo caso, cuja central localizada no estado de Santa Catarina, ao se extrapolar a razão entre as vazões de 5,5448 para 6, é possível se implementar um grupo gerador de pelo menos duas máquinas com turbinas de rotores Francis de diferentes potências.

Considerando valores adotados de 47,72 m³/s e 8,61 m³/s para as vazões de projeto e mínima histórica, respectivamente, e após realização de iterações e o arredondamento da constante α , encontrou-se uma vazão nominal de 17,21 m³/s para a primeira máquina e 34,43 m³/s para a segunda.

Uma vez que as frações inferiores de cada uma delas igual a 0,50, as vazões inferiores de 8,61 m³/s e 17,21 m³/s para a primeira e segunda unidades, respectivamente.

5.0 CONCLUSÃO

Embora o método clássico para definição da quantidade de grupos geradores seja amplamente aplicado e aceito como verdadeiro, um novo método é sugerido para obtenção desse parâmetro, porém, considerando diferentes potências unitárias para as turbinas, aproveitando-se a relação entre vazão de projeto e vazão mínima da série hidrológica histórica.

Os casos estudados neste trabalho abordaram duas localidades com diferentes perfis hidrológicos, de modo que esta metodologia apresentada pudesse encontrar ao menos uma solução com grupos geradores de diferentes potências para atender a demanda, visando exclusivamente as vazões nominais de cada máquina, de acordo com a fração inferior turbinável de cada uma delas, buscando abranger o máximo possível da área abaixo da curva de permanência.

Para fins comparativos, parâmetros de queda bruta, queda disponível e cota da instalação relevantes para a determinação da faixa da rotação específica e seus demais cálculos subsequentes, foram mantidos constantes para ambos os casos, variando-se apenas os parâmetros hidrológicos das diferentes regiões do território brasileiro.

Como resultados, observou-se que para o caso da região Centro-Oeste, o método proposto não se apresentou viável, uma vez que o valor de α é praticamente unitário. Embora teoricamente seja possível se implementar um grupo gerador de duas máquinas com diferentes potências para o segundo caso, esta implementação se dá apenas para Francis simples, em caso de Francis dupla ou gêmea, como visto na Tabela 12, só existe uma fração inferior disponível para a primeira máquina a partir de um $\alpha > 12$.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABREU, T. M. Proposta de metodologia para definição de quantidade de grupos geradores de pequenas centrais hidrelétricas. 2015. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.
- (2) GENERALIDADES Sobre Máquinas de Fluxo. In: VIANA, A. N. C. Máquinas Hidráulicas. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010. cap. 1, p. 1-5.
- (3) SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C. Centrais Hidrelétricas: Implantação e Comissionamento. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2009.
- (4) BORTONI, E. C. Geração de Energia Elétrica. Notas de aula, Instituto de Sistemas Elétricos e Energia. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2019.
- (5) PEREIRA, G. M. Projeto de usinas hidrelétricas: Passo a passo. 1ª. ed. Editora Oficina de Textos, 2015.
- (6) GOULART, J. N. V.; NUNES, G. G. S. Formulação RANS Aplicada ao Escoamento Monofásico e Bifásico em uma Bomba Centrífuga. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 63–70, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unb.br>. Acesso em: 29 mar. 2021.

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) THIAGO MODESTO DE ABREU. Possui graduação em Engenharia Hidrica pela Universidade Federal de Itajubá (2003) e mestrado em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Itajubá (2015). Possui pós graduação em Regulação do Setor Elétrico pela FGV (2007) e em Business Administration pela BCIT - Canadá (2018). Atualmente, atua como professor substituto na UNIFEI e cursa Doutorado em Engenharia Elétrica na mesma instituição. Possui experiência de mais de quinze anos na área de Energia, com ênfase em Regulação e Novos Negócios em projetos de energias renováveis.

(2) OTÁVIO REFUNDINI MIGUEL

Técnico em Qualidade e Produtividade pelo Colégio Técnico de Limeira (COTIL, UNICAMP); graduando em Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e atuante em projetos de geração de energia elétrica.

(3) EDSON BORTONI

Reitor da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Prof. Titular. Engenheiro Eletricista graduado pela UNIFEI (1990), mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos pela UNICAMP (1993), Doutor em Sistemas Elétricos de Potência pela USP (1998), Livre Docente pela USP/EESC (2012), Professor Visitante na EPFL em Lausanne, Suíça (2015) e no Politecnico di Torino, Itália (2019). Suas linhas de pesquisa se concentram em instrumentação, eficiência energética, sistemas energéticos, máquinas elétricas e sistemas de geração de energia. Recebeu os prêmios ISA Power Industry Division Achievement em 2018, Hydropower Foundation Educator of the Year em 2019, e Distinguished Lecturer pelo IEEE/PES em 2019.