



Estudos Hidrológicos para a Repotenciação de uma Central Geradora Hidrelétrica

Sara Regina Sperotto¹, Franciele Priori², Taison Anderson Bortolin³

¹ Universidade de Caxias do Sul (srsperotto@ucs.br)

² Universidade de Caxias do Sul (fpriori@ucs.br)

³ Universidade de Caxias do Sul (tabortol@ucs.br)

Resumo

A repotenciação de empreendimentos geradores de energia é uma das alternativas para garantir um melhor aproveitamento do potencial hidráulico em usinas, pequenas centrais ou centrais geradoras hidrelétricas já existentes, permitindo ganhos energéticos, econômicos e ambientais, além de, a longo prazo, ser um recurso válido para enfrentar a diminuição da capacidade das Centrais Geradoras Hidrelétricas. O presente trabalho apresenta estudos preliminares para a repotenciação da Central Geradora Hidrelétrica Do Parque, localizada em Nova Prata, partindo de estudos hidrológicos relacionados ao posto fluviométrico 86420000 – Ponte do Prata onde está instalada a Central Geradora Hidrelétrica. Estes estudos são baseados em dados medidos em campo e disponibilizados para estudo em estabelecimento de postos pluviométricos e fluviométricos e parâmetros fisiográficos da bacia hidrográfica compreendida pelo estudo.

Palavras-chave: Estudos Hidrológicos. Vazões. Central Geradora Hidrelétrica. Repotenciação.

Área Temática: Recursos Hídricos.

Hydrological Studies for Repowering of a Hydropower Generating Station

Abstract

The repowering of energy-generating ventures is one of the alternatives to ensure a better use of the hydraulic potential in already existing hydroelectric plants, small hydroelectric power plants or power plants, allowing energy, economic and environmental gains and, in the long term, to be a valid resource to address the decrease in the capacity of Hydroelectric Generating Centers. The present work presents preliminary studies for the repowering of the Hydroelectric Generating Station of the Park, located in Nova Prata, starting from hydrological studies related to the fluvimetric station 86420000 - Ponte do Prata where the Hydroelectric Generating Station is installed. These studies are based on data measured in field and made available for study in the establishment of pluviometric and fluvimetric stations and physiographic parameters of the watershed included in the study.

Key words: Hydrologic Studies. Flows. Hydropower Generating Station. Repowering.

Theme Area: Water resources.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

1 Introdução

Entre os principais usos da água, pode-se citar a geração de energia elétrica em usinas hidrelétricas, que aproveitam a energia potencial existente quando a água passa por um desnível do terreno (COLLISCHONN; TASSI, 2011).

Para produzir a energia hidrelétrica é necessário integrar a vazão do rio, e os desníveis do relevo, sejam eles naturais, como as quedas d'água, ou criados artificialmente (ANNE, 2008). A oferta de potência de geração elétrica brasileira em 2016, mostra a predominância da potência hidráulica, com 65,7% de participação, sendo gerada pelas Usinas Hidrelétricas (UHE), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e pelas Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) (BRASIL, 2017).

As Centrais Geradoras Hidrelétricas, usufruem do potencial hidráulico para a geração de energia, sendo caracterizadas desta forma por possuírem potência instalada inferior a 3 MW, conforme estabelece a resolução normativa ANEEL nº 673, de 4 de agosto de 2015. No Brasil, segundo o Ministério de Minas e Energia, existem, atualmente, 586 Centrais Geradoras Hidrelétricas com uma potência instalada de 484 MW, representando 0,3% da capacidade instalada de geração elétrica.

Segundo estudo divulgado pelo Ministério do Planejamento, a demanda por eletricidade no Brasil irá triplicar até 2050 (BRASIL, 2014), devido ao crescimento de setores como o industrial, transportes, construção civil e agropecuário. Desta forma a repotenciação de usinas geradoras de energia surge como uma alternativa para suprir parte desta demanda, visto que é uma interferência em um conjunto já construído, com o objetivo de obter ganho de potência, através do melhor aproveitamento do potencial hidráulico.

Conforme Oliveira (2012), seja uma UHE, uma PCH ou uma CGH, no decorrer de sua vida útil necessitará de intervenções para manutenção e/ou modernização e/ou repotenciação, total ou parcial, que se fazem necessárias para manter as instalações e equipamentos do empreendimento em níveis aceitáveis de qualidade de funcionamento, para operação satisfatória e eficiência na geração de energia.

A repotenciação de empreendimentos hidrelétricos está sendo vista como a melhor estratégia para a transformação de ativos de baixa performance em ativos de alta rentabilidade, o qual acrescenta que esta alternativa permite aumentos de potência de até 30% e tem permitido economias de 60% em relação a um novo empreendimento (VEIGA, 2001).

Neste contexto, este trabalho abordará uma análise hidrológica com intuito de avaliar a viabilidade da repotenciação de uma Central Geradora Hidrelétrica, denominada Do Parque, localizada no município de Nova Prata – Rio Grande do Sul. Segundo o Banco de Informações de Geração – ANEEL, tal CGH, atualmente, é capaz de gerar 128 kW de potência, a qual é utilizada para abastecer o parque de águas termais Caldas de Prata, localizado, também, em Nova Prata.

2 Metodologia

Para a realização dos estudos hidrológicos, inicialmente, foi delimitada a bacia hidrográfica na qual está inserido o empreendimento, sendo que, para este estudo foi considerado como exutório da bacia o posto fluviométrico 86420000, latitude -28.6775 e longitude -51.6081 - Ponte do Prata, onde está localizada, também, a Central Geradora Hidrelétrica. A fim de fazer a delimitação da bacia, determinar a rede de drenagem, e os parâmetros fisiográficos da mesma, foi utilizado o software Idrisi Selva e os dados sobre a localização do posto fluviométrico foram extraídos do site Hidroweb.

A Figura 1 mostra a estrutura da CGH do Parque, ilustrando a tomada d'água, o canal de adução, a tubulação que liga o canal às turbinas, as turbinas e a saída d'água.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Figura 1 – Representação fotográfica da estrutura da CGH



Fonte: Autores, 2017

A análise dos dados de vazão é de extrema importância quando se realiza um estudo para a geração de energia, pois é a partir deles e da altura hidráulica que a potência é estimada, através do método da energia assegurada. A caracterização dos dados de vazão embasando-se nos dados do posto fluviométrico, foi realizada utilizando o software Hidro 1.3 que possibilitou obter dados como a curva de permanência de vazões, vazões mínimas, médias e máximas.

Além das vazões de permanência, foi avaliada a vazão máxima a partir da distribuição de probabilidade do tipo Gumbel que analisa a probabilidade de que uma determinada vazão venha a ser igualada ou excedida em um ano qualquer. A vazão utilizando a distribuição de Gumbel para um dado tempo de retorno pode ser calculada através da Equação 1.

$$x = \bar{x} - s \cdot \left\{ 0,45 + 0,7797 \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{TR}{TR-1} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

Onde:

x = vazão máxima para uma dada probabilidade (m^3/s);

\bar{x} = média das vazões máximas anuais (m^3/s);

s = desvio padrão;

TR = tempo de retorno (anos).

A fim de determinar a potência da CGH, foi utilizada a metodologia da energia assegurada, que é a energia que pode ser suprida pelo empreendimento de geração de energia,



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

com garantia de 95% de atendimento, desta forma, a vazão utilizada para o cálculo é a Q95. A energia assegurada é determinada através da Equação 2.

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot e \quad (2)$$

Onde:

P = Potência (W);

γ = Peso específico da água (N/m²);

Q = Vazão (m³/s);

H = Altura hidráulica (m);

e = Eficiência da conversão de energia hidráulica em elétrica (depende da turbina, do gerador e do sistema de adução, variando entre 0,76 e 0,87).

A CGH possui duas turbinas do tipo Francis. Essas turbinas, segundo Caus e Michels (2014), são utilizadas em quedas superiores a 20 metros, possuem um rendimento máximo mais elevado, velocidades maiores e menores dimensões.

Para avaliar se a Central Geradora Hidrelétrica é capaz de gerar a energia assegurada em todos os meses do ano, foi realizada uma comparação entre as vazões médias de cada mês e a vazão média dos meses.

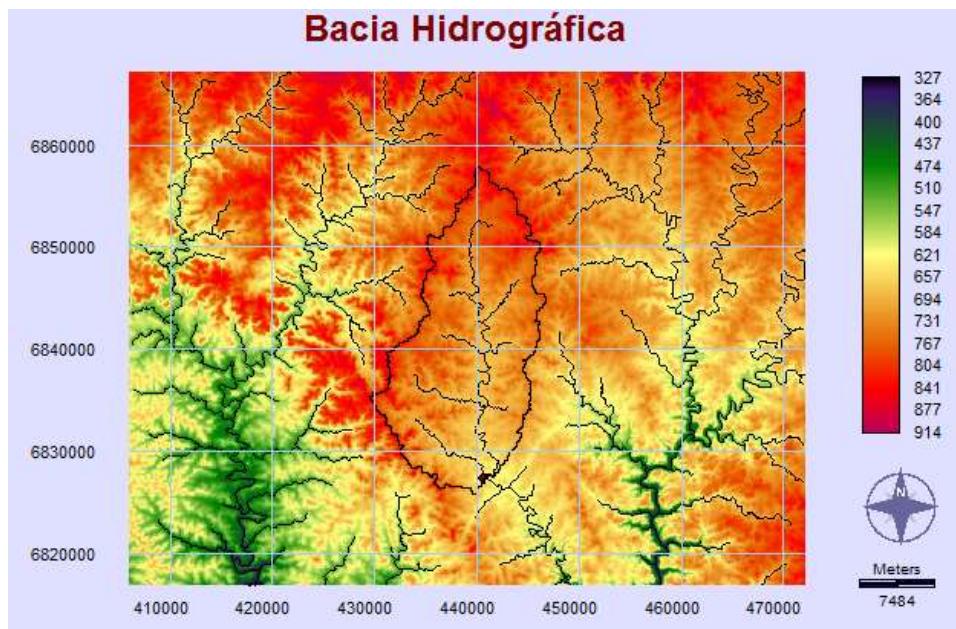
3 Resultados e Discussões

3.1 Bacia Hidrográfica

Segundo Tucci (2009), bacia hidrográfica é a área de captação natural dos fluxos de água originados a partir da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório. Já Garcez e Alvarez (1988), definem bacia hidrográfica como sendo uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda a vazão afluente possa ser medida ou descarregada através desse ponto.

A bacia hidrográfica em questão está inserida na região hidrográfica do Atlântico Sul, na bacia Taquari-Antas. O município de Nova Prata está localizado na sub-bacia. A Figura 2 mostra um mapa da elevação do terreno em que está compreendida a área de estudo, com a delimitação da bacia hidrográfica que está sendo estudada, a rede de drenagem compreendida pela mesma e o exutório.

Figura 2 - Mapa de elevação do terreno com a delimitação da bacia, rede de drenagem e exutório





6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Os parâmetros fisiográficos de uma bacia hidrográfica permitem conhecer o comportamento hidrológico da mesma, auxiliando nos estudos de escoamento. A Tabela 1 mostra os parâmetros fisiográficos da bacia estudada.

Tabela 1 – Parâmetros fisiográficos

Descrição	Valor
Área (km ²)	316.83
Perímetro (km)	122.4
Declividade média (porcentagem)	8.33
Coeficiente de compacidade de Gravelius	1.94
Relação circular	0.27
Comprimento do rio principal (km)	45.1
Declividade média do rio principal	2.11
Tempo de concentração Kirpich (h)	10.24
Tempo de concentração Watt e Chow (h)	10.3

Fonte: Autores, 2017

De acordo com os parâmetros fisiográficos encontrados, pode-se concluir que a bacia é de pequena dimensão. Ademais, os valores do índice de circularidade e coeficiente de compacidade sugerem que a bacia hidrográfica possui um formato alongado, e com isso, menor propensão à enchentes.

A declividade média, mostra que a bacia possui superfícies inclinadas, geralmente em relevo ondulado nos quais o escoamento superficial é médio (TEIXEIRA, 2010).

3.2 Vazões

Através dos dados de vazão observados, é possível averiguar o comportamento do curso d'água, verificando períodos de cheia e de seca. Uma das principais ferramentas para analisar dados de vazão, é a curva de permanência. Uma curva de permanência de vazão, também conhecida como curva de duração, é um traçado gráfico que informa com que frequência a vazão de dada magnitude é igualada ou excedida durante o período de registro das vazões (JÚNIOR, 2018).

Essas curvas permitirão a identificação de valores característicos de níveis ou vazões associadas a diferentes probabilidades de permanência no tempo, importantes para estudos de enchimento de reservatórios, operação da usina e, em alguns casos, para o estudo do desvio do rio e estudos energéticos, dentre outros (ELETROBRÁS, 2000).

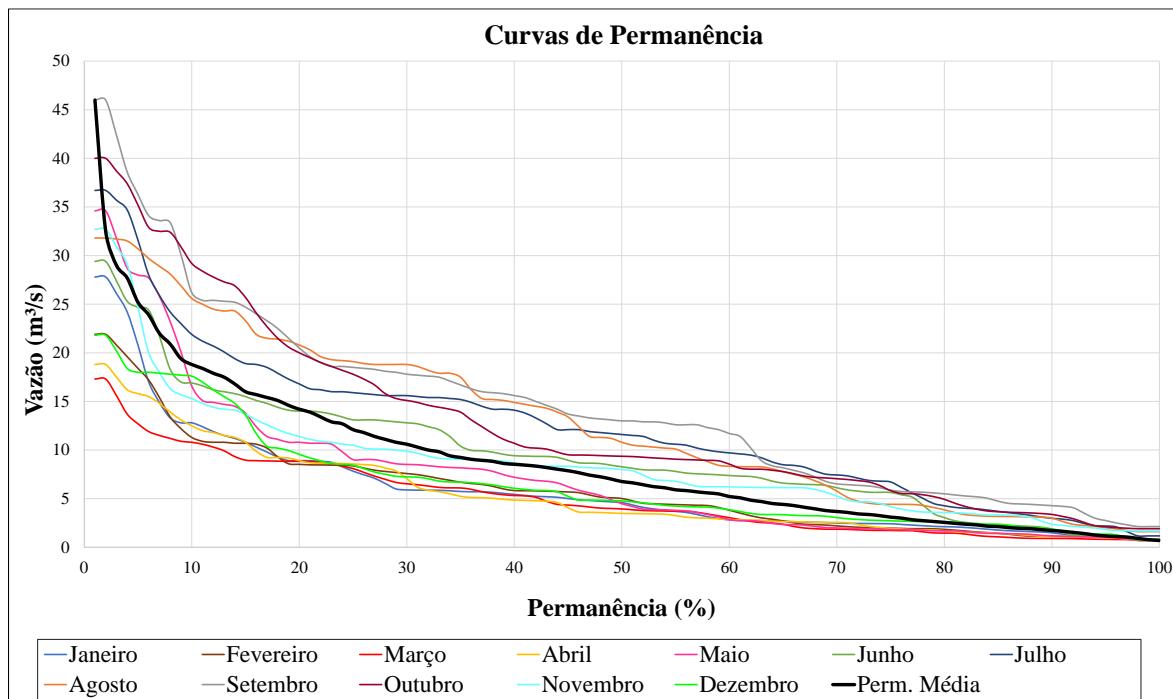
Com base nos registros das vazões da estação fluviométrica, de 1959 a 2006, foram determinadas as curvas de permanência das vazões médias mensais e a curva de permanência média da série completa, conforme mostra a Figura 3.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Figura 3 – Curvas de Permanência



Com base na curva de permanência média mensal e dos dados da série completa, foi possível à obtenção da Q95, vazão de referência para a instalação de Centrais Geradoras Hidrelétricas, visto que é a vazão que ocorre em 95% do tempo. Neste estudo, a Q95 média corresponde a 1,16 m³/s.

Através da análise das curvas de permanência mensais e a curva de permanência média, é possível concluir que os meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro possuem a sua curva acima da curva média, demonstrando que, nesses meses, ocorrerão maiores vazões. Já os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio têm sua curva de permanência mais abaixo, o que significa que, as vazões serão menores. Outrossim, é possível destacar que o rio em estudo não é intermitente, pois as curvas de permanência não têm seu final antes da permanência de 100%, ou seja, não houveram meses em que o rio estivesse seco, dentro do período de estudo.

Para analisar a viabilidade da repotenciação, foram comparadas as vazões médias, com 95% de probabilidade de ocorrência, de cada mês com a vazão média dos meses, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Q95 mensal

Mês	Q95 (m ³ /s)	Mês	Q95 (m ³ /s)
Jan	1.02	Jul	2.19
Fev	1.05	Ago	2.01
Mar	0.81	Set	2.75
Abr	1.01	Out	2.11
Mai	1.02	Nov	1.84
Jun	1.23	Dez	1.35
Média		1.16	

Fonte: Autores, 2017



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Em 7 meses a Q95 será superior à vazão média de referência, 1,16 m³/s, garantindo o funcionamento da CGH, entretanto durante 5 meses, a vazão média não é atingida, sendo março o mês com a menor vazão, 30% inferior à média.

3.2.1 Vazões máximas

Analisando as vazões do Rio da Prata foi possível selecionar, de cada ano, apenas o valor da maior vazão, para obter a série de vazões máximas. Para encontrar a máxima vazão para o período de retorno de 100 anos, foi utilizada a distribuição de Gumbel, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Vazões Máximas através do método de Gumbel

GUMBEL		
Prob x>	TR (anos)	Q (m ³ /s)
0,01	100	246,6
0,02	50	221,1
0,04	25	195,3
0,10	10	160,6
0,20	5	133,2
0,50	2	91,7

Fonte: Autores, 2017

Através da Tabela 3, pode-se verificar as máximas vazões para diferentes períodos de retorno, até o de 100 anos, que é o que deve ser avaliado para a construção de uma CGH. Para este período, a máxima vazão atingida é de 246,6 m³/s, logo, para um período de retorno de 100, anos a estrutura deverá ser projetada para suportar a vazão máxima estimada em 246,6 m³/s.

Durante o período analisado, a máxima vazão encontrada na série foi de 108 m³/s, e, para este evento, o tempo de retorno é de 2,78 anos, ou seja, há uma probabilidade de ocorrência de 36%.

3.3 Energia assegurada

A Central Geradora Hidrelétrica do Parque, conta com uma estrutura de adução em forma de canal retangular, e, no trajeto final em conduto forçado, sendo que a altura hidráulica é de 24 metros. Duas turbinas, que atuam conjuntamente com dois geradores, são responsáveis por converter a energia hidráulica em elétrica, gerando 128 kW de potência.

Por meio da Q95 média dos meses, foi recalculada a potência utilizando a metodologia da energia assegurada, considerando que a CGH opere com a menor eficiência possível, e=0,76.

$$\begin{aligned} P &= \gamma \cdot Q \cdot H \cdot e \\ P &= 9810 \times 1,16 \times 24 \times 0,76 \\ P &= 207.563,9 \text{ W} \\ P &= 207,56 \text{ kW} \end{aligned}$$

Para verificar se a Central Geradora Hidrelétrica será capaz de gerar a energia assegurada em todos os meses do ano, e a repotenciação ser viável, foi calculada a potência que poderia ser gerada em cada mês, segundo mostra a Tabela 4.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Tabela 4 – Energia Assegurada mensal

Mês	Potência (kW)	Mês	Potência (kW)
Jan	182.51	Jul	391.87
Fev	187.88	Ago	359.66
Mar	144.94	Set	492.07
Abr	180.72	Out	377.55
Mai	182.51	Nov	329.24
Jun	220.09	Dez	241.56
Média		207.56	

Fonte: Autores, 2017

De junho a dezembro, representando 58,33% do ano, poderia ser gerada uma potência superior à energia assegurada média, ou seja, a Central Geradora Hidrelétrica poderia trabalhar acima da média. Já nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio, a energia assegurada seria inferior a energia assegurada média, 207,56 kW, isto é, em 41,67% do ano a CGH operaria abaixo da média. Contudo, os valores são superiores à potência hoje instalada na CGH, garantindo a viabilidade da repotenciação.

4 Conclusão

Com base nos estudos hidrológicos realizados na sub-bacia do Taquari-Antas, referentes ao exutório considerado, é possível afirmar que:

- A vazão média que ocorre em 95% do tempo, Q95, é 1,16 m³/s, porém após a análise da vazão média de cada mês, será utilizada para a energia assegurada uma vazão de 1 m³/s;
- A vazão máxima, para um período de retorno de 100 anos, utilizando a metodologia de Gumbel, é 246,6 m³/s.

A Central Geradora Hidrelétrica poderá passar por uma repotenciação, visto que, em todos os meses a energia assegurada é superior a potência instalada atualmente. Considerando que a nova potência instalada seja igual a 180 kW, valor escolhido para garantir uma energia assegurada com maior tempo de uso a cada ano, esta será atendida em 11 meses do ano, o que viabiliza a repotenciação da CGH, uma vez que trará um aumento de 52 kW, ou seja, operará com uma capacidade 40,6% superior a atual.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Referências

- BARBOSA JÚNIOR, Antenor Rodrigues. **Elementos de Hidrologia Aplicada:** Permanência de Vazão. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/8_permanencia_de_vazao.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.
- BRASIL. ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2017.
- BRASIL. ANEEL. **Banco de Informações de Geração: BIG.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Empreendimento/ResumoUsina.asp>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL nº 673 de 4 de agosto de 2015.** Estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/ren2015673.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Resenha Energética Brasileira.** Brasília:2017. 32 p.
- BRASIL. Programa de Aceleração do Crescimento. Ministério do Planejamento. **Demand por eletricidade no Brasil vai triplicar até 2050.** 2014. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/13554306>>. Acesso em: 11 jan. 2018.CAUS, Tuane Regina; MICHELS, Ademar. **Energia Hidrelétrica: Eficiência na Geração.** 2014. 27 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Eficiência Energética Aplicada Aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1380/Caus_Tuane_Regina.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 jan. 2018.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R.. **Introduzindo hidrologia.** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS, 2011.
- ELETROBRÁS. **Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas.** 2000. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2017.
- GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988. 291 p.
- OLIVEIRA, Marcos André de. **Repotenciação de Pequenas Centrais Hidrelétricas: Avaliação Técnica e Econômica.** 2012. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/wp-content/uploads/2015/02/estudo-repotenciacao-hidrelectricas.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2018.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

TEIXEIRA, Celimar Azambuja. **Hidrologia Aplicada.** 2010. 133 f. Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/03/hidro_celimar.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

TUCCI, Carlos E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2009. 943 p.

VEIGA, José Alberto Campos da. **Oportunidade de Negócio com a Repotenciação de Usinas: Aspectos Técnicos, Econômicos e Ambientais.** 2001. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/producao/2002/Teses/Tese_Jose_Roberto.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2018.