

SISTEMA DE ARMAZENAMENTO ENERGÉTICO POR BOMBEAMENTO D'ÁGUA – MODELAGEM FÍSICA

Andrey Negreiros Pimenta, andreynegreiros@gmail.com¹
Leonel L. D. Morales, leomoraes@unb.br²

¹Centro Universitário do Distrito Federal – UDF, DF, Brasil

²Universidade de Brasília – UnB, DF, Brasil

Resumo: O armazenamento de energia por bombeamento d'água (Pumped Hydro Energy Storage – PHES), também conhecido como Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR), consiste num sistema de dois reservatórios, um de nível mais elevado e outro de nível menos elevado, que se utiliza da energia de baixo custo gerada em períodos de baixa demanda para bombear a água do reservatório menos elevado para o mais elevado. Em períodos em que a demanda energética é maior, a água é liberada para fluir de volta para o reservatório menos elevado enquanto incide sobre turbinas e produz energia. Os benefícios da integração dessa tecnologia de armazenamento com sistemas de produção de energia já foram vistos em diversos países, porém não prosperou muito ainda em território brasileiro. O trabalho tem por objetivo a modelagem física de um modelo de UHR, alimentado por fonte de tensão simula a energia média produzida em um sistema fotovoltaico na região de Brasília.

Palavras-chave: Reservatório, Energia, Protótipo.

1. INTRODUÇÃO

Num cenário onde as energias renováveis já são perceptíveis como um trunfo para solucionar a escassez de combustíveis fósseis [7] e alcançar metas de redução da emissão de gás carbônico [5], é necessário resolver seu problema subsequente de intermitência para que ela se torne mais viável e consiga suprir a demanda de energia exigida em tempo integral [7]. Para tal, uma das opções é o uso de tecnologias de armazenamento de energia, integradas a sistemas de produção, reservando a carga excedente obtida em períodos de baixa demanda (*off-pick*) e utilizando-a em períodos de maior demanda (*on-pick*).

O armazenamento de energia por bombeamento d'água (Pumped Hydro Energy Storage - PHES), também conhecido como Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR), consiste num sistema de dois reservatórios, um de nível mais elevado e outro de nível menos elevado, que se utiliza da energia de baixo custo gerada em períodos de baixa demanda para bombear a água do reservatório menos elevado para o mais elevado. Em períodos em que a demanda energética é maior, a água é liberada para fluir de volta para o reservatório menos elevado enquanto incide sobre turbinas e produz energia (Figura 1). Seus benefícios provêm do seu baixo custo de operação e manutenção, além da possibilidade de compensar os problemas de intermitência em fontes renováveis como eólica e a solar, nivelando suas flutuações características [12].

O potencial do sistema de armazenamento depende do potencial do sistema de geração de energia integrado a ele que, por sua vez, depende da magnitude entre a demanda de energia necessária e a excedente [6]. Um reservatório de UHR poderá bombear mais água à medida em que sua fonte de alimentação produza mais energia. A exemplo em sistemas fotovoltaicos poderíamos citar um dia mais ensolarado ou com correntes de ar mais intensas, no caso de sistemas eólicos.

No que se diz respeito aos sistemas eletromecânicos presentes em UHR, existem diversas opções que devem ser escolhidas de acordo sua determinada aplicação. Turbinas do tipo *Kaplan* e *Francis* são as mais utilizadas por maximizarem a eficiência e pela sua capacidade de ambos processos de bombeamento e geração de energia, similarmente a máquinas síncronas que podem operar como motor durante o bombeamento e como gerador para produção energética [9]. Um modelo mais simples seria um conjunto composto por uma unidade geradora (turbina + gerador) separada de outra para bombeamento (motor+bomba) [2].

A perquisição pela literatura técnica brasileira disponível demonstrou que existem várias teses, artigos e *papers* sobre os benefícios da integração das UHR com sistemas de geração de energia, porém nenhum apresenta um projeto de um protótipo do conjunto de armazenamento. Foi também observado na pesquisa que vários países já perceberam este benefício de integração das UHR, mas no Brasil essa tecnologia é ainda pouco presente (ver Tabela 1).

O trabalho visa a modelagem física de uma Usina Hidrelétrica Reduzida (UHR), alimentado por fonte de tensão que simula a energia média diária recebida de um sistema fotovoltaico. O projeto será direcionado para o cenário brasileiro, que apresenta uma irradiação solar diária média significativa e que não demonstra grandes variações decorrer do ano.

O projeto é um exemplar de um sistema de Usina Hidrelétrica Reversível (UHR), com componentes, geometria e funcionamento que se conciliem com o tempo disponível até a publicação deste trabalho, além dos recursos acessíveis para realização do projeto. Avanços futuros neste trabalho possibilitaram a sua otimização, inserção de novos dados e variações no exemplar.

Os custos com materiais na produção do protótipo serão catalogados para análise econômica ao final do trabalho. A quantidade de energia gerada, comparada com o valor da mesma quantidade de energia comprada pela distribuidora de energia elétrica local, resultará numa média de tempo em que o sistema cobrirá suas despesas de fabricação.

Neste trabalho define-se protótipo como o conjunto do sistema desenvolvido. O protótipo possui uma geometria que possibilite sua elaboração nas dependências do laboratório de engenharia mecânica do Centro de Ensino do Distrito Federal - UDF. Será feita, num futuro trabalho, a análise dimensional para determinar os valores de similaridade entre o protótipo e um sistema análogo, com geometria superior.

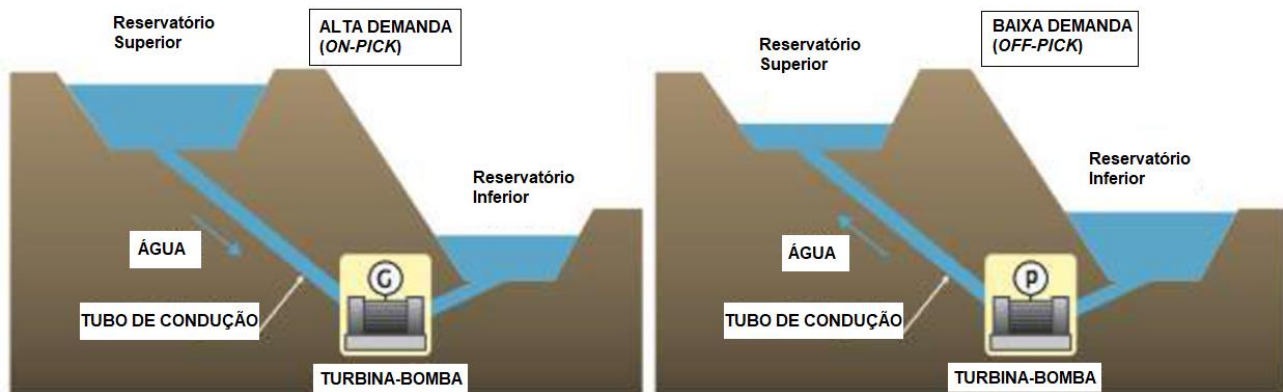


FIGURA 1. Planta de Armazenamento de por Bombeamento Hídrico. Adaptado. [11]

TABELA 1. Capacidade dos Sistemas de Armazenamento de Energia Instalados. Adaptado [2].

PAÍS	CAPACIDADE DAS INSTALAÇÕES (MW)
Japão	27438
China	21545
Estados Unidos	20858
Itália	7071
Espanha	6889
Alemanha	6388
França	5894
Índia	5072
Romênia	53
Chile	31
Brasil	20

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para iniciar o desenvolvimento do protótipo foi feito o levantamento dos materiais e equipamentos que à serem empregados no sistema e seus respectivos custo. Após a aquisição dos itens necessários foi feita montagem das partes constituintes do protótipo, de acordo com as especificações selecionadas. Com a montagem finalizada, foram realizados os seguintes testes: tempo de bombeamento, tempo de descarga do reservatório superior, energia cedida ao sistema e energia produzida pelo sistema. Essas etapas são apresentadas mais detalhadamente nos tópicos seguintes.

O sistema é composto pelo conjunto de dois reservatórios, tubulação (condutos), gerador hidrelétrico, bomba hidráulica. Os níveis dos reservatórios serão monitorados por um sensor de nível d'água, conectado a arduino, que deverá também enviar o comando de iniciar e interromper o bombeamento. Um multímetro será responsável por monitorar a energia produzida pelo gerador.

A energia da fonte alimentação da bomba d'água deverá simular a energia média diária produzida por um determinado sistema fotovoltaico, no cenário da região de Brasília.

O trabalho foi destinado para região de Brasília, local onde também feita a montagem e os testes do protótipo. Para se obter uma média de tempo em que o os custos do trabalho seriam pagos pela energia que o sistema produz, foi verificado o custo total C_t com os materiais obtidos para o trabalho. Uma vez determinado o valor de C_t , será pesquisado o valor da taxa de energia cobrada pela empresa de distribuição de energia local, retirado de uma fatura referente ao mês de março de 2018 e classificada como residencial/trifásico. A quantidade de energia que o sistema produz em cada ciclo de geração, multiplicada ao valor da taxa de energia que seria comprada pela rede elétrica, resultará numa média de tempo de cobertura de custo do projeto. Custos relacionados com sensores, controladores (Arduino) e seus devidos correspondentes eletrônicos foram excluídos dessa análise.

2.1. Materiais e Equipamentos

Uma grande dificuldade observada para o desenvolvimento do protótipo foi o custo com os materiais e equipamentos. Visto isso, o levantamento de custos iniciou-se pelos componentes eletromecânicos do exemplar, uma vez que de acordo a seleção deles seria possível a definição do tipo de Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) que seria construída e a geometria equivalente dos condutos e reservatórios. Conclui-se que para reduzir os gastos com o trabalho seria feito um exemplar de UHR com unidade geradora (turbina + gerador) separada de outra para bombeamento (motor+bomba). Foi adquirido um gerador hidráulico e uma bomba hidráulica (Figura 2), com especificações nas Tabelas 2.e 3.



(a)



(b)

FIGURAS 2. Componentes do sistema. a) Gerador Hidrelétrico; b) bomba hidráulica utilizados no protótipo. Fonte Própria.

Para que os reservatórios possam ter um desnível maior o possível, os demais itens do projeto foram apropriados para a altura máxima de elevação da bomba. As especificações da bomba hidráulica adquirida indicam que ela possui uma altura de elevação máxima de 2 metros, logo a diferença entre o ponto aspiração e expiração da bomba, definido como altura estática de elevação (h_e) por Brunetti [1], apresenta esse mesmo desnível. Já o ponto de aspiração do gerador deveria ser perto da base do reservatório superior, enquanto a expiração deveria ser acima do nível limite de água definido para o reservatório inferior (definido posteriormente).

Como já se sabia que seriam feitos vários testes no sistema, com ciclos de enchimento e esvaziamento dos reservatórios, observou-se que o tempo de cada ciclo não poderia ser muito alto e que seria coincidente com o volume dos reservatórios. Dados da bomba indicam que ela é capaz de bombear a uma vazão entre 1,5 e 2L/min. Considerando o sistema como se fosse ideal, pode-se fazer uma média de tempo de enchimento do reservatório superior por meio da equação da vazão, como mostrado na Eq. (1) [1], esta relação é dada por:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (1)$$

onde Q é a vazão volumétrica, V é o volume e t é o tempo.

Foi definido o tempo de cerca de 10 minutos como aceitável para o ciclo de bombeamento. Utilizando-se a Eq.(1), é determinado que os reservatórios devem suportar o volume de 15 litros. Foram obtidos dois tanques plásticos para serem utilizados como reservatório, cada um com a capacidade máxima de 20 litros, com geometria de paralelepípedos regulares, com base quadrada de 900 cm².

Para que a bomba não tenha problemas devido a carga desenvolvida por vazão nula, denominada *shutoff* [8], foi determinado uma altura de recalque (nível de segurança) d'água nos reservatórios, aproveitando-se do volume máximo excedente dos tanques. A altura de recalque faz com que a mangueira de aspiração da bomba esteja sempre submersa na água, assim como a saída de descarga do reservatório superior. O volume do recalque é de 2 litros, com uma coluna d'água de 2,22 cm em relação à base de cada reservatório, controlado por um sensor de nível de água do tipo boia que inicia e interrompe o bombeamento d'água. A Figura 3 mostra um ilustrativo para melhor entendimento sobre os níveis de segurança dos reservatórios e posicionamento dos locais de aspiração e expiração d'água. O fluxo d'água na entrada do gerador também é monitorado durante o ciclo, por meio de um sensor de fluxo. Na Tab.2 são mostradas as especificações técnicas do gerador utilizado e na Tab. 3 as especificações da bomba são apresentadas.

Tabelas 2. Especificações do gerador Hidrelétrico. Fonte Fabricante.

GERADOR HIDRELÉTRICO	
Tensão Máxima de Saída	18,5 volts
Tráfego de Perda	3,6% (0,25 Mpa)
Corrente de Saída	128 a 260 mA
Área da seção de Entrada e Saída	15mm
Custo de Compra	90 reais

Tabelas 3. Especificações da bomba hidráulica utilizados no protótipo. Fonte Fabricante.

BOMBA HIDRÁULICA	
Tensão Nominal	12 volts
Corrente em Máxima Eficiência	0,06 A
Altura de elevação máxima	2m
Área da seção de Entrada e Saída	7,6mm
Vazão de Água Máxima	1,5 a 2L/min
Custo de Compra	40 reais

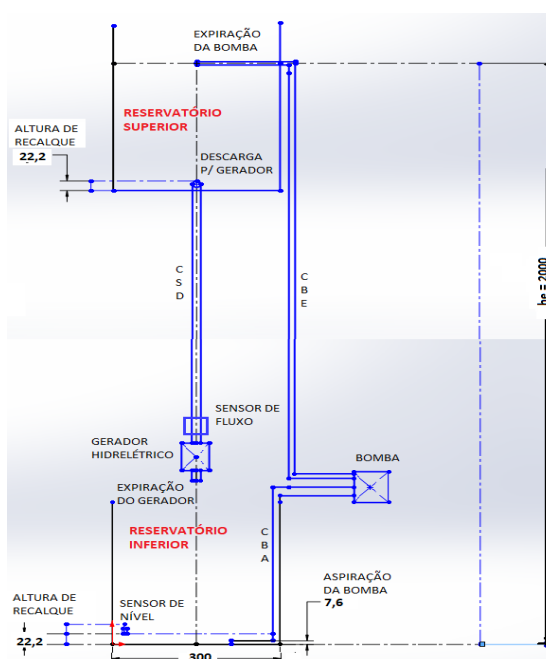


FIGURA 3. Ilustrativo do Protótipo (medidas em milímetros). Fonte Própria.

A área de descarga do reservatório superior para o gerador (Figura 3) possui uma válvula de contenção, que só deverá ser aberta quando o ciclo de bombeamento dos 15L de água estipulado tiver finalizado, iniciando-se o ciclo de geração de energia. Nota-se também pela Figura 3 que o conjunto apresenta três condutos cilíndricos d'água, denominados da seguinte forma: conduto do que conecta sensor de fluxo a área de descarga do reservatório superior (CSD), conduto que conecta a bomba com seu local de aspiração (CBA) e o conduto que conecta a bomba com seu local de expiração (CBE). O conduto CSD é feito de cano PVC e apresenta um diâmetro de área de seção transversal de 15mm e um comprimento de 1,4m. Já os condutos CBA e CBE são feitos com mangueira de plástico e apresentam um diâmetro de área de seção transversal de 7,6mm e um comprimento somado de aproximadamente 2m.

As Figura 4 apresenta o protótipo físico após a finalização da montagem. Para facilitar a coleta de dados para testes posteriores, foi integrado ao protótipo um sistema simplório de controle e automação por Arduino, apresentando num display informações do sensor de vazão no CSD, tempo decorrido, volume de descarga e controle de acionamento (*bomba ligada – B:ON*) e de interrupção da bomba (*bomba desligada – B:OFF*) por meio de sensor de nível coluna d'água. O detalhamento do sistema de controle não foi apresentado por não ser o foco deste trabalho, indagando a um possível aprofundamento sobre o assunto e desenvolvimento de trabalhos futuros.



FIGURAS 4. Protótipo físico completo após a montagem. Fonte Própria.

2.2. Testes Realizados

Após a finalização da montagem do protótipo foram iniciados os testes do sistema. Foram testados o tempo de bombeamento d'água do reservatório inferior para o superior (ciclo de bombeamento), o tempo de descarga (esvaziamento) do reservatório superior após a abertura da válvula de contenção (ciclo de geração), a quantidade de energia cedida ao sistema pela fonte de tensão que liga a bomba de 12 volts durante o ciclo de bombeamento e a quantidade de energia gerada pelo sistema pelo gerador durante o ciclo de geração.

A altura de elevação da bomba determina a quantidade de energia específica que a bomba transfere ao fluido de trabalho [1], sendo responsável pelo valor h_e da altura estática efetiva do sistema. Uma média de tempo de bombeamento d'água do reservatório inferior para o superior (ciclo de bombeamento) já havia sido feita primeiramente para auxílio na escolha do volume dos reservatórios. O tempo previsto, utilizando-se da Eq. (1) e de dados de vazão do modelo da bomba, foi de cerca de 10min. Para obter dados mais precisos, foi realizado o teste cronometrar o tempo decorrente do ciclo de bombeamento. Um sensor de nível d'água posicionado na altura de recalque de 2,22 cm do reservatório inferior controlou o acionamento e a interrupção da bomba.

A geometria do reservatório do reservatório superior, a altura da coluna d'água inicial, a altura da coluna d'água final e o diâmetro da seção transversal influenciam diretamente no seu tempo de esvaziamento [3]. Foi denominado então como T_e o tempo de esvaziamento do reservatório superior ao abrir a válvula de descarga. O volume de água que sairá pela descarga será equivalente ao volume água bombeado no ciclo de bombeamento de 15L. O tempo foi cronometrado do segundo em que a válvula é aberta até o fim da descarga. Em paralelo com este teste, foi feita a leitura da vazão no ponto de entrada do sensor de fluxo.

Durante o ciclo de geração foi observado, por meio de um multímetro, a tensão que o gerador hidrelétrico gerava. Notou-se uma tensão que oscilava com o tempo e para obter uma voltagem média do ciclo, foi feita a soma cada tensão obtida em cada período de 1 segundo e dividido por 30 períodos. Os 30 períodos escolhidos são correspondentes segundos subsequentes do momento em que já se passaram 1min de descarga do reservatório superior, assim o momento t (tempo) de descarga igual a 61s seja o primeiro período, t igual a 62s será o segundo e assim por diante. O motivo da escolha desse momento t inicial é o fato do índice de variação de voltagem do sistema ser muito alto nos primeiros segundos de abertura da válvula de descarga e nos últimos segundos do ciclo de geração. Para relacionar a tensão obtida com a energia produzida utiliza-se da equação Eq. (2), que necessita também de um valor carga elétrica C em coulombs [4]. O valor de C é dado pela corrente que passa a cada segundo (amper por segundo). Somando-se a corrente máxima de mínima de saída da turbina (Tabela 2) e dividindo-se por dois, determina-se um valor médio de corrente elétrica (i) durante os 3,5min do ciclo de geração.

$$J = v \times C \quad (2)$$

onde v é a voltagem, C é a carga elétrica e J é a energia.

A Eq. (2) pode ser utilizada para relacionar também a tensão inserida na bomba com a energia gasta pela mesma. Na parcela do cálculo referente a carga elétrica, o tempo será correspondente ao tempo cronometrado do ciclo de bombeamento. Tensão inserida na bomba é constante e de 12 volts.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A realização dos testes possibilitou a determinação de valores mais próximos dos reais para o tempo do ciclo de bombeamento, tempo de descarga no ciclo de geração, energia cedida ao sistema para o bombeamento e energia gerada pelo sistema.

A bomba do protótipo, que apresenta uma h_e de 2 metros, tomou um tempo cronometrado de aproximadamente 11 minutos para finalizar o ciclo de bombeamento e levar os 15 litros de água para o nível superior. Com uso dos dados de vazão cedidos pelo fabricante da bomba, foi feita a previsão de 10 minutos para esse ciclo, considerando-se um fluxo de 1,5L/min. A diferença entre o tempo experimental e o teórico é justificada pelas condições reais do sistema nos testes, com pequenas perdas de carga que absorvem parte da energia do sistema.

O tempo de descarga do ciclo de geração, cronometrado do segundo em que a válvula é aberta até o fim da descarga, foi de aproximadamente 3,5 minutos. Recorrendo a Eq. (1) determinou-se uma vazão teórica de 4,28 L/min. A vazão experimental monitora pelo sensor de fluxo variou entre 4,27 e 4,40L/min, resultado muito satisfatório e que comprova que o ciclo não apresenta perdas de carga muito significantes. Para trabalhos futuros, fazendo-se uma análise dimensional para definir um sistema similar em escala maior, as perdas de carga devem ser consideradas, uma que em dimensões maiores elas irão interferir de maneira mais significativa nos dados.

A tensão produzida durante o ciclo de geração apresentou pequenas oscilações, demonstrando a necessidade de se obter um valor médio. A voltagem média calculada nos 30 períodos foi de aproximadamente 5,79 volts e sua variação pelo tempo pode ser vista no gráfico 1. A carga elétrica C durante o ciclo foi de 40,74 Coulombs, resultante da multiplicação da corrente média de 194mA (Tabela 2) com o tempo de 210s. Com a Eq. (2) conclui-se que a energia produzida pelo sistema foi de cerca 235,9 J. Seguindo a mesma lógica, conclui-se que a energia cedida ao sistema para o funcionamento da bomba durante os 11min do ciclo, com uma tensão média de 0,06^a é de 475,2 J (segundo consta na Tabela 3).

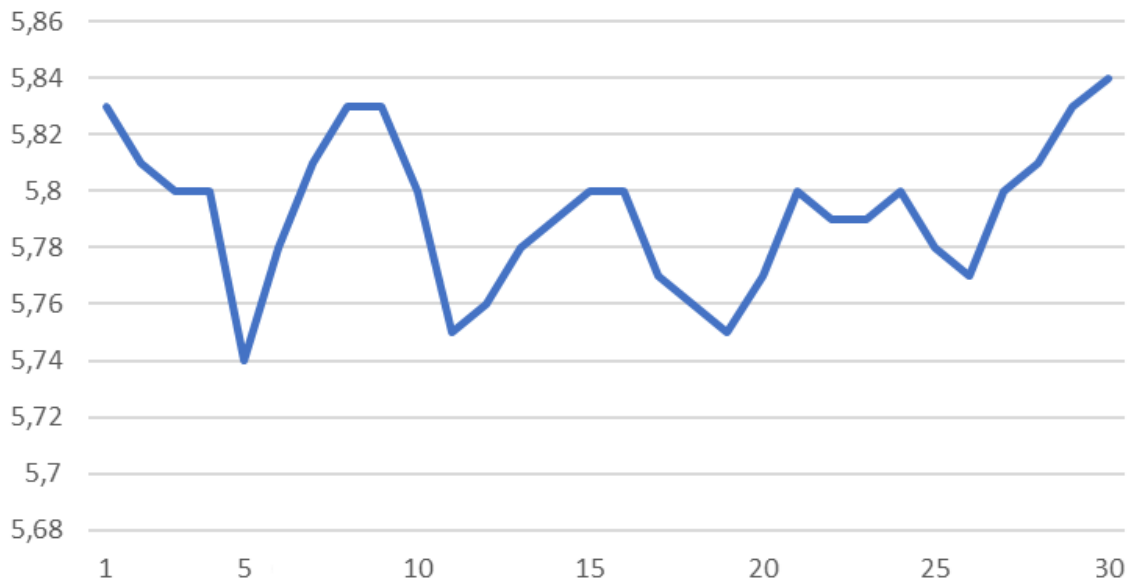


FIGURA 5. Gráfico de Tensão (volts) vs Período (segundos). Fonte Própria.

A diferença entre a energia produzida e a gasta (cedida) no sistema foi de 239,3 J. Ter-Gazarian [10] adota em sua literatura uma definição de eficiência geral ξ_h de um sistema de armazenamento por bombeamento d'água, dada pela Eq. (3).. Conclui-se que a eficiência do sistema foi de 49,64 %.

$$\xi_h = \frac{E_g}{E_g} \quad (3)$$

Onde E_g é a energia gerada e E_p é a energia cedida para o funcionamento da bomba, estes parâmetros são definidos segundo [10].

A tarifa de energia da distribuidora local indica o custo de 1kwh (quilowatt-hora) sendo 0,56 reais. Convertendo-se para Joules, o valor seria de 3,6MJ por 0,56 reais. Os maiores custos de fabricação do sistema vieram dos equipamentos de eletromecânicos adquiridos (gerador hidrelétrico e bomba hidráulica) e somam quantia de 130 reais. Os condutos de cano PVC e suas componentes (válvula de contenção, luvas e joelhos de encanação, cola para cano PVC, fita isolante veda rosca e flange) custaram aproximadamente 45 reais. Somando todos componentes considerados, o custo de fabricação do protótipo foi de 175 reais. Se cada ciclo de geração gera uma carga E_g de 235,9 joules, a cada 15260,7 ciclos será economizado valor de 0,56 reais. Sabendo o tempo TE do ciclo, estimou-se um tempo de aproximadamente 31 anos para o custo do protótipo seja paga com sua geração de energia, considerando apenas o tempo do ciclo de geração.

4. CONCLUSÃO

O protótipo conseguiu ser feito com as devidas configurações de uma usina hidrelétrica reversível. Sua capacidade de geração, mesmo com baixa carga e por pouco tempo, demonstrou o exemplar como uma alavanca de incentivo para a integração de sistemas de armazenamento com sistemas de produção de energia renovável, além da possibilidade de construção de modelos de UHR numa geometria que permita seu uso em projetos de pequeno porte, como para residências e fazendas.

O tempo de retorno monetário do projeto demonstrou que a configuração do exemplar não foi satisfatória no quesito custo e benefício, necessitando mudanças por exemplo no modelo do gerador escolhido, uma vez que ele tem o custo mais elevado do protótipo e capacidade de geração máxima desperdiça, pois pode chegar até 18 volts com uma vazão maior. A aplicação de uma bomba mais eficiente poderia resultar num aumento da altura efetiva utilizando-se da mesma quantidade de energia cedida e, consequentemente, numa redução do tempo de retorno do protótipo.

Para avanços futuros do projeto pretende-se trocar o conjunto de equipamentos eletromecânicos por uma máquina síncrona que consiga realizar as duas tarefas de gerar energia e bombear água. O sistema de automação do trabalho será melhor estudado e detalhado para que possa ser reduzida a necessidade de um operário humano durante o funcionamento dos ciclos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus professores e orientadores que estavam dispostos a ceder um pouco de seu tempo para me guiar e contribuir com meu aprendizado. A instituição de ensino do Centro Universitário de Distrito Federal, UDF, por ter cedido o espaço laboratorial para elaboração do trabalho e a Universidade de Brasília, UnB pela parceria na pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Brunetti, F. (2008). Mecânica dos Fluidos. 2ª Ed., São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall.
- [2] Canales F., A., Beluco A., Mendes, C. A. B. (2015). Usinas hidrelétricas reversíveis no Brasil e no mundo: aplicação e perspectivas. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- [3] Ciria, (1996) Construction Industry Research and Information Association. Design of flood storage reservoirs. Inglaterra, 140 páginas.
- [4] Halliday R, W. (2009). Fundamentos de Física. Vol. 3. 8 ed. Editora LTC.
- [5] International Hydropower Association, IHA. Hydropower Status Report of 2017. Disponível em <<https://www.hydropower.org/2017-hydropower-status-report>>. Acesso em 20 de março de 2017.
- [6] Letcher, T. M. (2016). *Storing Energy - With Special Reference to Renewable Energy Sources*. Editora Elsevier, 1ª Edição.
- [7] Soares M., Moura P. (2010). Metodologias e Tecnologias para a Integração em Larga Escala de Fontes Renováveis Intermitentes. Tese de Doutorado em Engenharia Electrotécnica e Computadores, Universidade de Coimbra.
- [8] Munson, B. R, Young, D.F, Okiishi, T.H. (2002). Fundamentos da Mecânica dos Fluidos. Ed. Edgard Blucher, Tradução da 4ª edição americana.
- [9] Sallam, A. A., Malik, Om P. (2015). Power System Stability: Modelling, Analysis and Control. Volume Único. The Institution of Engineering and Technology, IET. 472p.
- [10] Ter-Gazarian, A. (1994). Energy Storage for Power Systems. The Institution of Engineering and Technology: 232p.
- [11] USA. Energy Storage Association, ESA. Energy Storage Database. Disponível em <<http://energystorage.org/energy-storage/technologies/pumped-hydroelectric-storage-report>>. Acesso em 30 de Março de 2018.
- [12] Zuculin, S. (2014). A Retomada do Conceito de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Setor Elétrico Brasileiro. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

PUMPED HYDRO ENERGY STORAGE SYSTEM – PHYSICAL MODELING

Andrey Negreiros Pimenta, andreynegreiros@gmail.com¹
Leonel Leonardo Delgado Morales, leomoraes@unb.br²

¹Centro Universitário do Distrito Federal – UDF, DF, Brazil

²Universidade de Brasília – UnB, DF, Brazil

Abstract. The Pumped Hydro Energy Storage (PHES), also known as Reversible Hydroelectric Power Plant, consists in a system with two reservoirs, one of low-level and other of high-level, that uses the low-cost energy generated on low demand periods to pump the water of the low-level reservoir to the high-level. During periods where the energetic demand is higher, the water is released to flow back to the low-level reservoir while hits turbines and produces energy. The benefits of the integration of this storage technology with energy production systems have already been seen in many other countries, but it didn't prosper significant yet on Brazilian territory. The work aims to the physic modeling of a PHES, fed by a power source that simulates the energy produced by a photovoltaic system in the region of Brasília.

Keywords: Reservoir, Energy, Prototype.