

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DA VIABILIDADE ENERGÉTICA DE UM SISTEMA HÍBRIDO PCH-SOLAR NO RIO GRANDE DO SUL

Samuel Ricardi – sricardi@ucs.br

Tiago Cassol Severo - tcsevero@ucs.br

Marilda Machado Spindola

Universidade de Caxias do Sul, Campus Universitário da Região dos Vinhedos – CARVI

6.4. Marés, ondas e outras fontes renováveis

Resumo. Este trabalho apresenta um estudo sobre o dimensionamento e a viabilidade energética de um sistema híbrido de geração de energia elétrica composto por uma PCH (Pequena Central Hidroelétrica) e uma USF (Usina Solar Fotovoltaica) para operar no estado do Rio Grande do Sul. A meta é a obtenção da menor variação na geração de energia elétrica do sistema híbrido durante o período de um ano, para conseguir atender cargas que tem uma demanda constante de energia. A análise realizada neste projeto mostra os dados de uma PCH em operação onde pode se observar a sazonalidade o potencial hídrico do local. Cada PCH possui uma característica técnica devido ao local de sua instalação, em função disso foi projetada uma USF que pudesse ser equiparada a PCH e suprindo a diferença de energia quando a sazonalidade não for favorável. Fazendo a simulação da energia gerada por cada usina, observou-se que a PCH possui uma variação na produção de energia anual de, aproximadamente, 7% e a usina solar, de mesma potência, apresentou uma variação de 4%, quando a geração é combinada para se tornar um sistema híbrido possui uma geração com menor variação, podendo alcançar uma redução de 6% na variação anual do sistema híbrido com a usina solar adaptada.

Palavras-chave: Sistema Híbrido; Geração de Energia; Fontes Renováveis.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com as pesquisas realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), o Brasil apresenta um crescimento no consumo de energia elétrica devido ao aumento da população e pelo crescimento do setor industrial, sendo assim, é necessário ampliar as fontes de geração de energia para suprir a demanda do país, sem aumentar os impactos ambientais que novas construções de usinas termoeletricas ou hidroelétricas podem ocasionar. Uma alternativa é construir usinas baseadas em fontes renováveis, como solar, eólica ou anexadas a outras fontes de geração já existentes, que são conhecidas como usinas híbridas.

As usinas híbridas são compostas por dois ou mais formas de geração de energia elétrica, ou com sistema de armazenamento, construídas num mesmo espaço, local ou terreno. Neste tipo de geração compartilhada, as fontes de geração estão próximas sendo possível fazer o compartilhamento das estruturas de conexão e o acesso à rede de distribuição economizando investimentos. Além disso, a sazonalidade das fontes de geração pode se complementar para ter uma geração de energia elétrica mais consistentes durante o ano (ANEEL,2021b).

O Rio Grande do Sul é o terceiro estado com a maior potência instalada para geração proveniente das PCHs, possuindo 53 unidades geradoras em operação. Em relação as USFs, atualmente existem 14 empreendimentos em GD (Geração Distribuída) com potência instalada superior a 500kWp e 11 empreendimentos em GC (Geração Centralizada). O estado vem incentivando a instalação de novas USF através de isenção de ICMS sobre mini e microgeração e a redução dos juros sobre os financiamentos de novas instalações em usinas até 1,0MWp (ANEEL, 2021b)

Este trabalho tem por objetivo principal analisar a viabilidade energética de converter a PCH RS 155 que já está em operação num sistema híbrido a partir do acréscimo de uma USF visando a menor variação da geração elétrica durante o período de um ano.

2. REVISÃO DO POTENCIAL HÍDRICO E SOLAR

2.1 Sobre as PCHs

No Brasil, aproximadamente 60 % da energia elétrica gerada é proveniente de fontes hídricas, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2021b). As usinas hidrelétricas são classificadas de acordo com a capacidade instalada e são divididas em três tipos. A Central Geradora Hidráulica (CGH) tem capacidade de geração de até 1 MW de potência, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) tem capacidade de geração de 1 MW até 30 MW de potência e as Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) tem capacidade de geração maior de 30MW de potência.

Na Fig. 1 é representado a quantidade e a potência total no Brasil, a quantidade e a potência total de cada um tipo de geração hídrica. Dentro da geração hídrica as PCH representam 5,03% da produção de energia elétrica no Brasil.

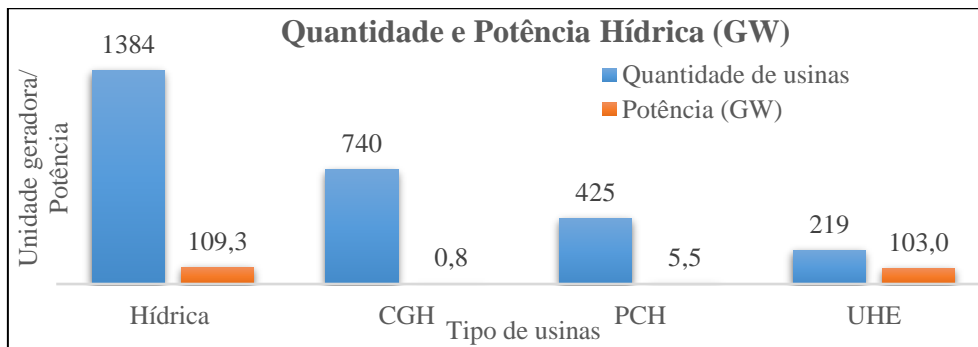


Figura 1: Gráfico apresentando a geração hídrica no Brasil. (ANELL,2021)

O estado do Rio Grande do Sul possui 135 usinas hídrica em operação, 2 unidades em construção e 13 empreendimentos em fase de projeto. As PCHs são responsáveis por fornecer 12,14% da energia proveniente da fonte hídrica e representam 7,05% da energia elétrica total gerada no estado (ANELL,2021).

As PCH possuem três subdivisões referente a capacidade de regulação do seu reservatório.

- A fio d'água;
- Acumulação com regulação diária do reservatório;
- Acumulação com regulação mensal do reservatório.

As PCHs a fio d'água são construídas em rios que possuem vazões iguais ou maiores que a descarga necessária à potência instalada para atender à demanda máxima prevista em períodos de estiagem. O sistema de adução é construído para fornecer a descarga necessária para a turbina, tendo um aproveitamento parcial e o volume de água do reservatório é desprezado e com isso o vertedouro funcionara na maior parte do tempo, liberando o excesso de água tornando o projeto mais simplificado, pois dispensa os estudos de regularização de vazões, não tem a necessidade de estudos da sazonalidade da carga e facilitando os estudos da concepção da tomada d'água (Pinho *at al*, 2008).

Já as PCHs de acumulação com regulação diária do reservatório são empregadas quando a vazão do rio em períodos de estiagem não atende a descarga necessária para fazer a geração da demanda máxima prevista, com isso o reservatório fornecerá o adicional para fazer a geração da energia elétrica. Esse sistema é utilizado quando o rio possui uma variação de vazão ao longo do dia, com isso o reservatório acumula água no período de maior vazão para compensar no período de menor vazão durante um dia (Rosa, 2021).

Finalizando, as PCHs de acumulação com regulação mensal do reservatório são feitas pelas médias mensais de vazão no período de estiagem, com isso o reservatório é dimensionado para atender a regularização mensal das vazões médias diárias e com isso atendendo a demanda máxima do projeto, ou seja, a vazão do rio não possui variações significativas durante o mês, podendo ser considerado a média diária igual a média mensal para o dimensionamento do reservatório (Neto e Carvalho, 2012).

O dimensionamento das PCHs é feito a partir do levantamento topográfico do local de instalação, a vazão fornecida pelo rio em períodos de estiagem, a altura entre a barragem e a casa de máquinas para fazer a determinação do tipo de adução e o modelo de turbina. A potência P [W] de uma PCH é determinada pela Eq. 1:

$$P = p * g * H * Q * n \quad (1)$$

O rendimento está relacionado com a transformação da energia mecânica em energia elétrica pelo gerador, para ocorrer essa transformação de energia precisasse de vários equipamentos como a turbina, o gerador elétrico e o eixo para fazer a ligação entre eles. Esses equipamentos possuem perdas mecânicas relacionadas ao atrito provocado pelos mancais, sistema de ventilação, pelo atrito nas escovas do sistema de excitação, além dessas perdas o gerador elétrico apresenta perdas provocadas pela histerese e correntes de Foucault, que é a variação da densidade de fluxo magnético no entreferro do gerador e por efeito joule (J) nas bobinas ocasionado pela passagem da corrente elétrica. Os geradores utilizados atualmente apresentam rendimentos que variam de 88 a 96% da sua capacidade de conversão (Rosa, 2021).

O rendimento do gerador é dado pela potência elétrica útil (P_u) fornecida ao circuito externo e sua potência total do conjunto (P_T), calculada pela Eq. (2).

$$\eta = \frac{P_u}{P_T} \quad (2)$$

2.2 Sobre as USFs

No Brasil as USF são responsáveis por produzirem aproximadamente 1,86% da energia consumida, com uma potência total de 3.327 MW na geração centralizada. Somente no ano de 2020 a potência instalada cresceu 25 % em

relação a 2019, para o ano de 2021 a ABSOLAR projeta um crescimento de 37% para a geração Centralizada e 90% para a geração distribuída, representados na Fig. 2. Nos quatro primeiros meses de 2021 apresentou um crescimento de mais 7,5% somente em geração centralizada e na geração distribuída o crescimento foi de aproximadamente 18% nos primeiros quatro meses de 2021 (ABSOLAR, 2021).

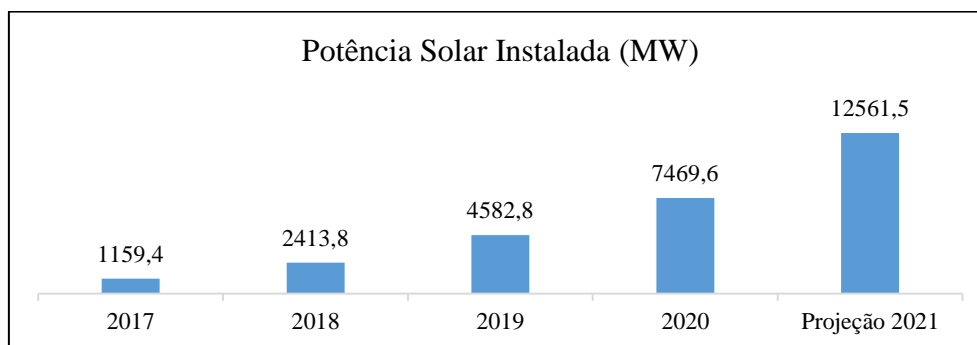


Figura 2: Potência instalada e projeção para 2021, adaptado (ABSOLAR, 2021)

A energia gerada pelas USF na modalidade de geração centralizada no estado do Rio Grande do Sul é de 4.318,61 kW, que representa 0,05% da potencia total de geração do estado (ANELL,2021). Esse potencial é pouco explorado, o estado possui um média anual que varia de 4,55 a 5,25 kWh/m² demonstrando um potencial significativo para a produção de energia solar quando comparado com outras regiões do Brasil (Neto e Carvalho, 2012).

O projeto das USF possui uma complexidade menor em relação as outras usinas, sua composição é dada pelos módulos fotovoltaicos onde ocorre a geração da energia elétrica em corrente contínua, os inversores são utilizados para converter a corrente contínua em corrente alternada, utilizado transformador para a elevação da tensão até a requisição da linha de transmissão local e ser transmitida aos centros consumidores (Kalogirou, 2016).

Para fazer o dimensionamento de uma USF, é necessário determinar a área disponível do local de instalação e analisar a radiação solar para o dimensionamento da usina. Os módulos são determinados através de sua eficiência que é a porcentagem de energia da luz do Sol convertida em energia elétrica, por m² da área do módulo. O dimensionamento dos inversores é feita levando em consideração a sua potência nominal do sistema de módulos fotovoltaicos ligados em série para fornecer a potência ao inversor. A potência total do conjunto dos módulos, dependendo do inversor escolhido, pode ser até 25% maior que a potência do inversor, pois o módulo solar não consegue entregar sua potencia total de forma contínua e devido a sazonalidade da radiação solar diária e a temperatura do local de instalação que impacta, em média de 0,45% de sua potência para cada 1°C acima de 25°C (Silva e Moreira, 2015).

Com a determinação da potência dos módulos e inversores, é determinado o transformador para a elevação da tensão da usina até o nível de tensão da rede de transmissão local. Os módulos são fixados sobre uma estrutura metálica que facilita a montagem e manutenção diminuindo a influência do vento sendo esta inclinação dos baseada nos valores da latitude e longitude local (Beigelman, 2013).

2.3 Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos são compostos por duas ou mais fontes de geração de energia elétrica diferentes em um mesmo local, onde suas usinas geradoras fazem a complementação entre si da energia gerada e compartilham a mesma infraestrutura de conexão e transmissão. No Brasil, esse sistema de geração híbrida é pouco utilizado, sendo que a ANEEL abriu somente em 21/10/2020 a primeira fase da consulta pública 061/2020 para debater com a sociedade sobre a normatização para usinas híbridas e associadas, modificação na emissão das outorgas de geração e outros assuntos relacionados (Matos, 2013).

Os sistemas híbridos mais utilizados no Brasil são aqueles que possuem como fonte de geração primária o diesel e para complementar a geração utilizam uma ou mais fonte renovável. A fonte de energia renovável depende das características do local de instalação e são utilizados, principalmente, em comunidades isoladas, devido ao gerador a diesel tem maior confiabilidade e possibilitar a geração em qualquer circunstância climática. O primeiro sistema instalado foi na ilha de Fernando de Noronha - PE e funciona utilizando as fontes eólico-diesel totalizando uma potência nominal de geração de 2,1MW (Pinho *al et* 2008).

Outro aproveitamento híbrido, é o sistema fotovoltaico-eólico que começou a ser utilizado recentemente devido ao avanço no desenvolvimento e aperfeiçoamento dos aerogeradores e, principalmente, dos módulos fotovoltaicos. O sistema instalado pela empresa Enel Green Power (EGP), em PE, é uma das primeiras usinas eólicas-solares, entrando em operação no final de 2014 com o parque eólico de 80MW e, posteriormente, a operação de duas usinas solares com capacidade de 11MWp, produzindo 17GWh por ano de geração elétrica híbrida (Pinho *al et* 2008).

3. METODOLOGIA

Com a motivação de incorporação de novas fontes de energia renováveis na matriz energética, o aproveitamento da estrutura de transmissão já existente visando uma geração mais uniforme durante o ano, este projeto propõe analisar a transformação um sistema hídrico em operação em um sistema híbrido. Este sistema híbrido é composto por uma PCH já existente e uma USF a ser dimensionada, onde se apresenta a análise de cada usina separada para verificar a variação na sua geração e, posteriormente, a análise de geração deste sistema híbrido proposto. Para se obter um sistema de geração de energia mais estável durante o período de um ano é feito o redimensionamento da USF levando em conta os picos de geração de cada uma das fontes de energia.

Assim, este artigo possui três tópicos principais descritos a seguir.

3.1 Analisar os recursos energéticos das fontes hídrica e solar

A análise consiste em duas partes, sendo primeiro a escolha da PCH em funcionamento no estado do Rio Grande do Sul, levando em consideração a sua localidade, o seu relevo em que foi construída, a sua área disponível para a construção de uma usina solar sem a necessidade de fazer desmatamento para a construção. Após a escolha da PCH necessita-se saber a vazão média do rio para o cálculo da potência hídrica gerada mensalmente.

Na segunda parte é feito o dimensionamento da usina solar que poderá proporcionar a complementação de energia elétrica. Assim, a potência da PCH é um parâmetro inicial de entrada para fazer o dimensionamento da usina solar, sendo necessário analisar a sazonalidade da radiação solar para calcular a quantidade de módulos.

3.2 Analisar a viabilidade energética do sistema híbrido PCH-Solar no RS

Com o sistema hídrico analisado e o sistema fotovoltaico já dimensionado são calculados os seguintes itens:

- Geração de energia da PCH anualmente,
- Geração de energia da usina solar anualmente,
- Geração total do sistema híbrido anualmente.

3.3 Redimensionar a USF

A partir da energia gerada pelas usinas PCH e solar durante o período de um ano, é analisado a variação do sistema híbrido possui. Para diminuir a variação na geração entre os meses é feito o redimensionado a USF, devido a facilidade de ajustar sua potência instalada, através da adição ou remoção dos módulos fotovoltaicos e tem um menor custo na execução da obra. Se esse ajuste fosse realizado na PCH é necessário maiores investimentos, como o aumento da casa de máquinas, compra de nova turbina e realização de escavações para instalação e assim tem precisa de um investimento maior do que a USF.

4. PROJETO

4.1 Escolha da PCH e geração

A PCH escolhida é a PCH RS-155 que pertence ao grupo Ceriluz, localizada na comunidade de Santana, no município de Ijuí, no Rio Grande do Sul. Foi escolhida essa PCH por possuir uma topografia plana, não possuir mata nativa ao seu arredor e uma área disponível para a construção da usina solar.

A PCH possui uma potência instalada de 5,982 MW, com uma queda de água de 8,14 metros e a vazão máxima da turbina de 80,82 m³/s.

Esta PCH possui em sua propriedade uma área total para a construção da usina solar fotovoltaica de, aproximadamente, 78.248 m², dividida em três áreas. Esta propriedade foi analisada a partir do software Google Earth. A primeira área tem 26.674 m², a segunda área possui 26.732 m² e a terceira área possui 24.842 m². Estas áreas estão representadas na Fig. 3.



Figura 3: Áreas disponíveis para construção da USF analisadas pelo Google Earth.

Uma forma de prever a potência gerada pela PHC é pelo histórico dos dados da sazonalidade fluviométrica da região em questão. A partir desses dados é possível obter a vazão média mensal do rio, em m³/s. Esse parâmetro está disponível no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2021).

Formou-se um banco de dados a partir dos históricos das vazões horária de cada dia do rio desde o ano de 2016 foram analisados com o uso do MatLab. Calculou-se a vazão média diária e mensal de cada ano e, no final, a média de cada mês entre os anos disponíveis.

4.2 Dimensionamento da usina solar

A produção de energia elétrica através da energia solar fotovoltaica é expressa ao longo de um dia através das Horas de Sol Pleno (HSP), expressa em horas (h) e a Irradiação Solar é expressa em W/m². A multiplicação dessas duas variáveis representa a radiação solar diária de um determinado local que recebeu ao longo de um dia, expressa em kWh/m². A energia gerada por uma USF é proveniente da radiação solar que incide sobre os módulos e no seu interior a radiação solar é convertida em energia elétrica. Para saber qual é a radiação solar do local da instalação da USF, consultou-se o banco de dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE,2021).

De acordo com o local de interesse calculou-se os dados da radiação solar média mensal. Entre os modelos de módulos solares disponíveis no mercado, foi escolhido o modelo CS6X-320P, da Canadian Solar. Com uma potência de 320W e uma eficiência de 16,68%.

Para estimar a geração de energia elétrica de uma usina solar é necessário levar em consideração as perdas do sistema. Baseado em estudos apresentados por Miranda (2014) foi adaptado a Tab. 1, onde são apresentados os principais tipos de perdas da usina, suas respectivas variações e valores típicos esperados considerando a realidade do local de instalação do sistema projetado.

Tabela 1: Perdas analisadas de um sistema fotovoltaico, adaptado (Miranda, 2014).

Tipos de perdas	Variação (%)	Valor considerado (%)
Desvio no rendimento nominal do módulo	0 á 10	2
Temperatura no módulo	0 a 6	1,7
Perdas nos condutores no lado DC	1 a 3	1,2
Perdas nos condutores no lado CA	0,7 a 2	0,8
Mismatch no MPPT	1,5 a 3	1,75
Sombreamento	0 a 100	0,05
Diodos e conexões	0,3 a 1	0,5
Transformadores (como os de isolamento no inversor, por exemplo)	2 a 4	2
Degradação na incidência solar inicial	1 a 10	1,5
Sujeira nos módulos	2 a 25	2
Perda referente a inclinação do arranjo em relação ao relevo	-	1,5
Total de Perdas		15

Para calcular a potência gerada pela usina solar, foi utilizada a Eq. 3, que leva em consideração a potência instalada, a radiação média mensal no plano inclinado e o fator de desempenho (FD), que leva em consideração o aproveitamento da geração de energia considerando as perdas mensuradas na tabela anterior.

$$E = PFV . HTOT . n FD \quad (3)$$

5. RESULTADOS

5.1 Geração anual da PCH

Para determinar a geração mensal da PCH, foi necessário ter o rendimento do gerador, com os dados fornecidos na ficha técnica da PCH RS 155, foi isolando a variável n da Eq. 1 e obtido um rendimento de 88,6%. Foi estabelecido que a PCH trabalha 6 horas por dia em sua capacidade máxima de operação, isto é, gerando energia elétrica para ser injetada na rede elétrica.

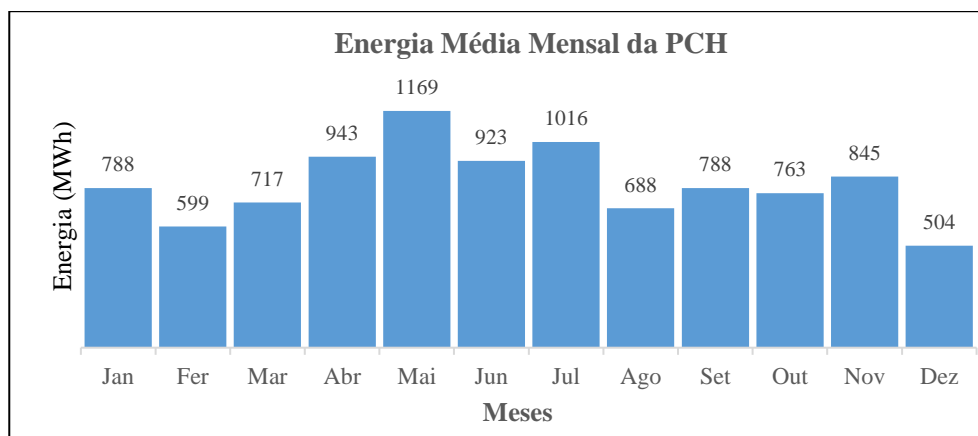


Figura 4: Energia média gerada pela PCH mensalmente num período de um ano.

Analisando a energia gerada pela PCH nota-se que possui uma variação significativa durante o período de um ano. Nos meses de abril a julho tem a maior geração de energia devido ao período de chuvas da localidade. A variação da energia gerada pela PCH durante o período de um ano, é de aproximadamente 665 MWh.

5.2 Geração Anual da Usina Solar

Para o estudo inicial da usina solar foi determinado que ela possuiria a potência instalada próxima da PCH, sendo assim determinou se uma potência de 5,98 MWp. Assim, sendo necessários 18.694 módulos fotovoltaicos ocupando uma área de aproximadamente, 35.870 m². Com as perdas totais já mensurada na Tab. 1, em torno de 15%, o fator de desempenho (FD) do sistema é de 85%. Com esses valores e o conjunto de dados da radiação solar, foi possível estimar a geração de energia fotovoltaica mensalmente durante o período de um ano, apresentado na Fig. 5.

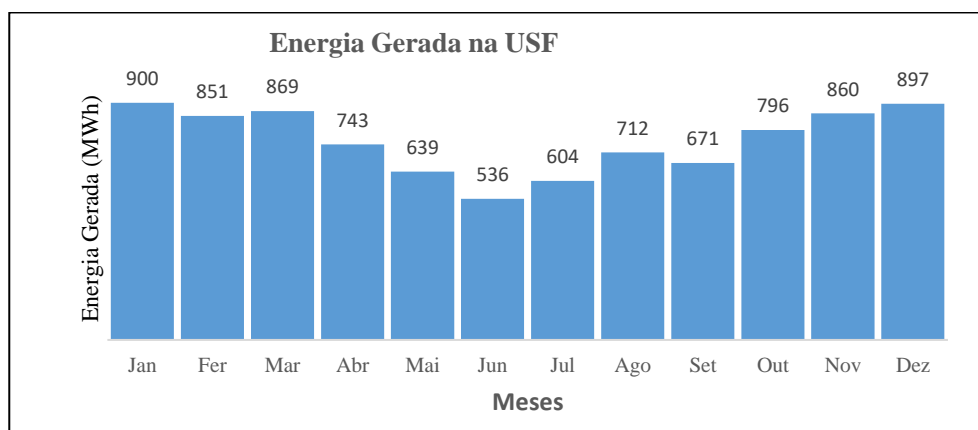


Figura 5: Energia gerada pela USF no período de um ano.

A energia gerada pela USF possui um padrão de comportamento onde em janeiro começa com a geração máxima e vai reduzindo até junho voltando a aumentar a geração até dezembro. Isso acontece devido as condições climáticas do local. Para a USF, a maior geração ocorre nos meses de novembro a março, sendo os meses com baixa incidência de chuvas e uma maior incidência da radiação solar. A usina possui uma variação de geração de energia de 364MWh durante o período de um ano.

5.3 Geração Anual do Sistema Híbrido

A geração do sistema híbrido é a combinação da energia gerada pela PCH e pela USF, onde são geradas de forma diferentes e unidas através de um barramento em comum para serem interligadas ao sistema de distribuição. A energia obtida pelo conjunto mensalmente está representada na Fig. 6.

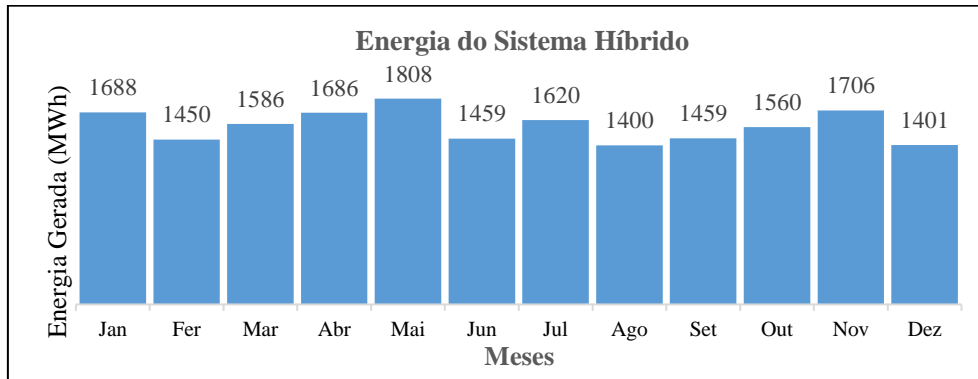


Figura 6: Energia média mensal do sistema híbrido PCH-USF.

Na análise realizada anteriormente de cada usina foi observado que a PCH possui a maior geração entre os meses de abril a julho e a USF sua maior geração é entre os meses de novembro a março. Assim, quando as usinas são transformadas em um sistema híbrido a sua geração é somada e observa-se uma geração mais uniforme durante o período de um ano.

A variação do sistema híbrido foi de 408 MWh comparado com a PCH houve uma redução de 63% na variação e quando comparada com a USF teve um aumento na variação de 11%. Mesmo com o aumento da variação de uma usina o resultado do sistema é positivo pois as usinas se complementam na geração.

5.4 Redimensionamento da USF

A variação da energia gerada pela PCH é significativa, então quando adicionado a energia gerada pela USF se obteve um sistema de geração mais estável diminuindo a variação. A partir disso, percebeu-se que se poderia ajustar a potência instalada da usina solar para alcançar uma redução da variação de geração de energia elétrica ainda mais significativa. A alteração da potência foi realizada na USF por não estar construída, ter maior modularidade na construção, envolver menores impactos ambientais quando comparada com a PCH.

Para alcançar a menor variação do sistema híbrido aumentou-se a potência da USF para 8MWp, e conseqüentemente aumento a energia gerada pela usina que está representada na Fig. 7. Para a nova potência estabelecida são necessários 25.000 módulos e uma área de aproximadamente 48.000m².

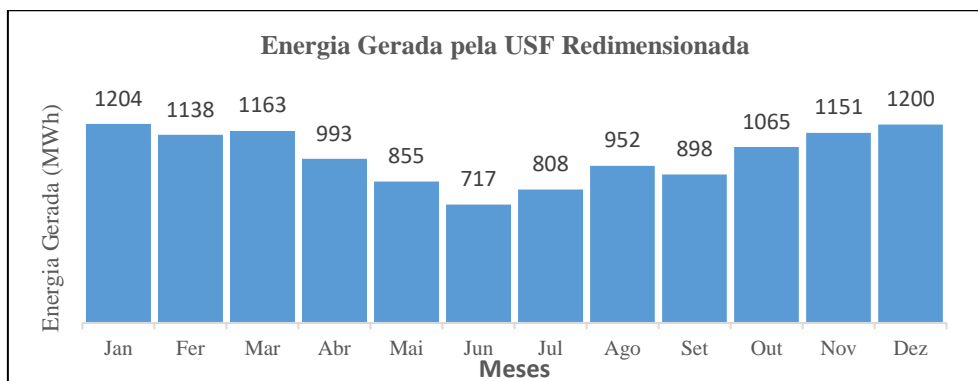


Figura 7: Energia gerada pela USF com 8MWp de potência.

A geração da PCH não foi alterada as horas de trabalho e somou-se a nova energia gerada pela USF obtendo a energia total do sistema híbrido apresentado na Fig. 8.

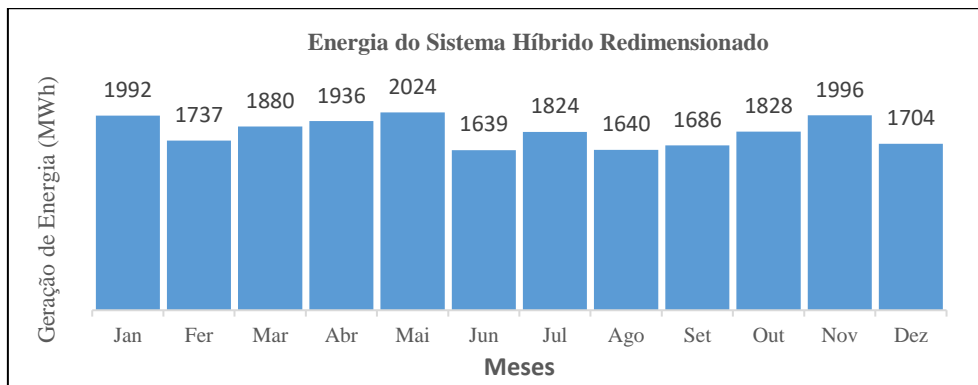


Figura 8: Energia do sistema híbrido com USF de 8MWp.

Com os novos valores de energia gerada pelo sistema híbrido obteve-se uma variação total de 384 MWh, isso significa uma redução de 6% comparado com o sistema anterior.

6. CONCLUSÃO

Em resumo, este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade de um sistema de geração de energia híbrido, partindo de uma PCH já instalada e dimensionar a potência de USF para se alcançar uma geração com menor variação durante um ano, sendo possível atender a demanda de uma carga constante ou para participar dos contratos Flat do mercado livre de energia. Inicialmente foi apresentado o cenário nacional e do estado do Rio Grande do Sul da geração hídrica e fotovoltaica, e aos principais sistemas híbridos utilizados no Brasil. Em seguida começou a analisar os dados sobre a sazonalidade do local para conseguir fazer a estimativa da geração de energia de cada fonte.

Nota-se que a geração das PCH possui uma grande variação devido que os reservatórios não têm capacidade de armazenar grandes quantidade de água para utilizar períodos de estiagem. Já as USF têm uma menor variação na sua geração devido a radiação solar ser mais constante durante o ano. Na primeira análise notou-se que a variação das usinas teve uma redução quando foram analisadas como um sistema híbrido.

Na segunda análise buscou-se diminuir a variação na geração do sistema híbrido fazendo o redimensionamento da usina solar. Durante as análises observou-se que aumentando a potência instalada da USF em 33,7% é possível obter uma redução de 6% na variação da energia geração pelo sistema híbrido.

Assim, conclui-se que a análise da viabilidade elétrica traz resultados animadores devido que tornar uma geração existente em um sistema híbrido pode resultar numa geração mais continua aumentando a capacidade de geração mensal de energia e dar mais segurança ao Sistema Elétrico Brasileiro. Portanto, como ideia para futuros trabalhos seria adicionar outras fontes de energia renováveis como a eólica e a biomassa para verificar o comportamento da geração num sistema híbrido e, incluir a análise econômica dessas ampliações do projeto.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Infográfico ABSOLAR. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- ANA, Agência Nacional de Águas. Rede Hidrometeorológica Nacional Sistema HIDRO - Telemetria. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/gerarGrafico.aspx>. Acesso em: 02 mai. 2021.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2003_GuiaEmpreendedorPCH.pdf/9a6fc69a-01cc-614f-bf4c-c7e2649d49ed. Acessado em 01 jun. 2021.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de informações de geração da ANEEL SIGA, 2021b. Disponível em <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acessado em: 05 abr. 2021.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF%5B1%5D.pdf. Acesso em: 01 abr. 2021.
- Beigelman, B. Boaventura. A energia solar fotovoltaica e aplicação na usina solar de Tauá. 2013. 74f. Tese de Graduação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Kalogirou, S. A. Engenharia de Energia Solar: processos e Sistemas. 2. ed. Rio de Janeiro: ed. 2, 2016.
- Matos, M. B. Análise Energética de um Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico com Armazenamento de Energia Elétrica através do Hidrogênio e Banco de Baterias. 2013. 127 f. Tese Doutora em Planejamento de Sistemas Energéticos, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Campinas.
- Miranda A. B. C. Montesano, 2014. Análise da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Tese de Graduação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- NETO, Manuel R.B., CARVALHO, Paulo. 2012. Geração de energia elétrica. Érica Ltda
- PINHO, J. T., BARBOSA, C. F. O., PEREIRA, E. J. S., SOUZA, H. M. S., BLASQUES, L. C. M., GALHARDO, M. A. B., MACÊDO, W. N. 2008 Sistemas híbrido. Soluções energéticas para a Amazônia: tecnologias de energias renováveis. Ed. 1. (Brasília – Brasil).
- ROSA, Luiz P., Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10205>. Acesso em: 20 mai. 2021
- SILVA, GUILHERME T. M. MOREIRA. Dimensionamento e análise de viabilidade econômica de usina fotovoltaica em nova Iguaçu – RJ. 2015. Tese de Graduação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SIZING AND ANALYSIS OF THE ENERGY FEASIBILITY OF A PCH-SOLAR HYBRID SYSTEM IN RIO GRANDE DO SUL

Abstract. *This work presents a study on the dimensioning and energetic viability of a hybrid electric power generation system composed of a PCH (Small Hydroelectric Power Plant) and a USF (Solar Photovoltaic Plant) to operate in the state of Rio Grande do Sul. It is to obtain the smallest variation in the electric energy generation of the hybrid system during a period of one year, in order to be able to supply loads that have a constant demand for energy. The analysis carried out in this project shows data from a PCH in operation where the seasonality of the local water potential can be observed. Each PCH has a technical characteristic due to the location of its installation, as a result of which a USF was designed that could be assimilated to a PCH and supplying the energy difference when seasonality is not favorable. Simulating the energy generated by each plant, it was observed that the PCH has a variation in annual energy production of approximately 7% and the solar plant, of the same power, showed a variation of 4%, when the generation is combined to become a hybrid system has a generation with less variation, being able to achieve a reduction of 6% in the annual variation of the hybrid system with the adapted solar plant.*

Key words: *Hybrid System; Power generation; Renewable sources.*