



Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento-GES

Integração da geração hidroelétrica e solar fotovoltaica através de um sistema de armazenamento de energia elétrica a hidrogênio junto à UHE Itumbiara

**ENNIO PERES DA SILVA(1); JUAREZ CORRÊA FURTADO JÚNIOR(1); VITOR FEITOSA RIEDEL(1);
DEMÓSTENES BARBOSA DA SILVA(2); DIOGO OLIVEIRA BARBOSA DA SILVA(2); JACINTO MAIA
PIMENTEL(3);
UNICAMP(1); BASE Energia(2); FCE(3);**

RESUMO

Esse informe técnico descreve o papel de um sistema de armazenamento de energia elétrica sob a forma de hidrogênio na integração entre a geração solar fotovoltaica e a geração hidrelétrica. Essa integração é um dos objetos de estudo do projeto de pesquisa e desenvolvimento PD 00394-1606/2016, conduzido por Furnas Centrais Elétricas S.A., no âmbito da Chamada Estratégia número 21 da ANEEL. Também é apresentada uma simulação do modo de operação do conjunto hidráulico/solar fotovoltaico na UHE de Itumbiara, considerando o dimensionamento da planta solar e sistema de armazenamento de energia que compense o déficit hídrico dos últimos anos.

PALAVRAS-CHAVE

Geração solar; Integração hidráulico/solar, Painéis solares flutuantes, Armazenamento de energia elétrica, Hidrogênio.

1.0 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, instabilidades no regime hídrico, principalmente períodos de estiagem mais intensos, decorrentes de fatores naturais e/ou das mudanças climáticas, impactaram negativamente na geração de energia elétrica no Brasil. A tendência de redução da capacidade de armazenamento do parque gerador hidrelétrico interligado tem ocasionado uma diminuição da capacidade de resposta do sistema a essas instabilidades (1).

A associação da geração hidráulica com outras fontes renováveis, notadamente solar e eólica, pode contribuir para diversificar a capacidade de geração elétrica nacional. De fato, observa-se uma tendência de crescimento da geração de energia elétrica através dessas fontes, de modo que em 2017 contribuíram para 7,7% do consumo elétrico no Brasil (2).

Tendo em vista a previsão de um aumento relevante da participação da geração solar fotovoltaica na matriz energética nacional, que em 2020 alcance 2.017 TWh, faz-se necessário prever alternativas que minimizem alguns efeitos indesejáveis inerentes a essa fonte, tais como: intermitências e sazonalidades; variações de frequência; entrada e saída de grandes blocos de energia em intervalos de tempo reduzidos (<1 minuto); e recomposição do sistema a partir de desligamentos parciais ou total. Essas características comprometem a qualidade da energia elétrica produzida e a confiabilidade do suprimento através dessa fonte solar (1).

A adoção de tecnologias de armazenamento de energia elétrica pode contribuir para a redução dos efeitos relacionados à intermitência e à sazonalidade, podendo ser vistas como solução para o enfrentamento dos desafios técnicos oriundos de uma maior participação das fontes renováveis no suprimento de energia. Também podem ser associadas ao armazenamento hidráulico, contribuindo para a operação desses sistemas, além de auxiliar na integração da geração hidro/solar (3). As tecnologias que utilizam o hidrogênio, em particular, têm a

capacidade de armazenar grandes quantidades de energia elétrica, por elevados períodos, sem que ocorram grandes perdas (4).

O armazenamento permite maximizar o aproveitamento da energia renovável, de modo que nos períodos de elevada oferta dessas fontes, a parcela que excede a demanda é armazenada. O montante armazenado pode ser utilizado nos períodos de elevada demanda, contribuindo para uma maior estabilidade do sistema, além de maior penetração das fontes renováveis (3). A Figura 2, que apresenta um sistema de armazenamento de energia na forma de hidrogênio, operando conforme a oferta e a demanda de energia.

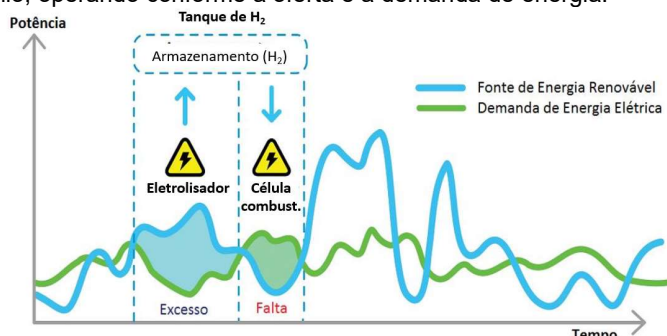


FIGURA 1 – Esquema de oferta e demanda de energia e atuação de um sistema de armazenamento de hidrogênio.

Ainda com custos relativamente elevados, os sistemas de armazenamento são tecnologias com campos de pesquisa bastante promissor, e estão dentro de um grupo de 8 tecnologias com alto potencial transformador sobre a competitividade industrial, tendo papel estratégico e que deverá receber investimentos nos próximos anos (5). No Brasil, visando a promoção da área de armazenamento de energia, a Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, fez uma chamada pública de projetos que atendam à temática do armazenamento, Chamada ANEEL Nº. 021/2016 - Projeto Estratégico: "Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro". Trata-se de uma iniciativa para dar início às abordagens experimentais do tema no contexto nacional (1).

No âmbito da Chamada nº 21, publicada pela ANEEL em 2016, as Centrais Elétricas FURNAS estão desenvolvendo um projeto de pesquisa e desenvolvimento que visa avaliar a aplicabilidade de novas tecnologias de armazenamento de energia, em suporte à sinergia entre as fontes solar fotovoltaica e hidrelétrica. Esse projeto está sendo realizado junto à Usina Hidrelétrica de Itumbiara, localizada no rio Paranaíba, entre os municípios de Itumbiara, em Goiás, e Araporã, em Minas Gerais. Está prevista a instalação de uma planta fotovoltaica com 1 MW_p de potência instalada, correspondendo a 800 kW_p instalados no solo e os 200 kW_p restantes instalados em estruturas flutuantes no lago do reservatório da usina.

Com a planta solar fotovoltaica é possível armazenar uma quantidade de eletricidade equivalente à energia gerada a partir da irradiação solar, sob a forma de energia potencial no reservatório da usina hidrelétrica, através da redução do turbinamento, o que constitui um instrumento de controle do nível do reservatório. Além da utilização do reservatório como sistema de armazenamento de sazonalidades, as intermitências da fonte solar são compensadas com a utilização dos sistemas de armazenamento com hidrogênio e baterias, a médio prazo, no horizonte de meses, e a curto prazo, no horizonte de minutos, horas ou alguns dias. Essa operação conjunta das duas fontes primárias de energia permite um melhor aproveitamento de ambas, resultando em uma eficiência maior do conjunto, com potenciais benefícios para a confiabilidade do sistema, para a redução de riscos de déficit hidrológicos e para a redução do custo de geração de energia, além de benefícios ambientais, pelo deslocamento de fontes termelétricas e conseqüente redução de consumo de combustíveis fósseis.

Dentre as vantagens da utilização de sistemas de geração solar fotovoltaicos junto a usinas hidrelétricas, tem-se a utilização da infraestrutura já existente, como as subestações e linhas de transmissão, para escoar a energia produzida. Além disso, há um melhor desempenho dos painéis fotovoltaicos devido ao efeito de refrigeração da água em sistemas flutuantes, e também uma redução dos trâmites relacionados ao licenciamento ambiental.

Uma das etapas desse projeto consiste na avaliação dos aspectos energéticos relacionados à integração hidro-solar, operando em conjunto com um sistema de armazenamento a hidrogênio. Essa integração permite tanto aumentar a capacidade de geração, como uma melhor gestão do reservatório, economizando água nos momentos de abundância solar e utilizando o montante economizado nos momentos de menor geração renovável. Neste trabalho são mostrados os aspectos energéticos acerca da integração das fontes hidráulica e solar, operando em conjunto com o sistema de armazenamento a hidrogênio, composto por um eletrolisador, um

tanque pressurizado e uma célula a combustível. Para isso, foram utilizados os dados de geração elétrica de Itumbiara dos últimos 10 anos, apontando os dimensionamentos dos sistemas fotovoltaicos que incrementam as capacidades de geração do conjunto das duas fontes demarcando o que pode ser gerado com o sistema de armazenamento. Em todos os casos considerou-se o limite de geração da usina, através de sua potência fiscalizada, de 2.080,5 MW (2).

2.0 - HISTORICO DE GERALÇÃO NA UHE DE ITUMBIARA

De acordo com dados da Agência Nacional de Águas (ANA), disponíveis em (6), observa-se uma tendência na redução das precipitações na bacia que contempla a área do reservatório da UHE de Itumbiara. Essa redução no regime hídrico devido a instabilidades e estiagens mais severas, tem como consequência a redução do volume útil do reservatório da usina de Itumbiara. Essa tendência de redução da vazão natural da usina, bem como do nível do reservatório, o que acarretam na redução da quantidade de energia elétrica produzida pela usina. De fato, os dados históricos do Operador Nacional do Sistema (ONS), disponíveis em (2), apresentam uma clara tendência de redução da geração de energia pela hidrelétrica de Itumbiara. A Figura 2 apresenta graficamente o histórico das médias mensais do nível do reservatório, percentual do volume útil, e o percentual de potência fiscalizada gerada, no período compreendido entre 2008 a 2017.

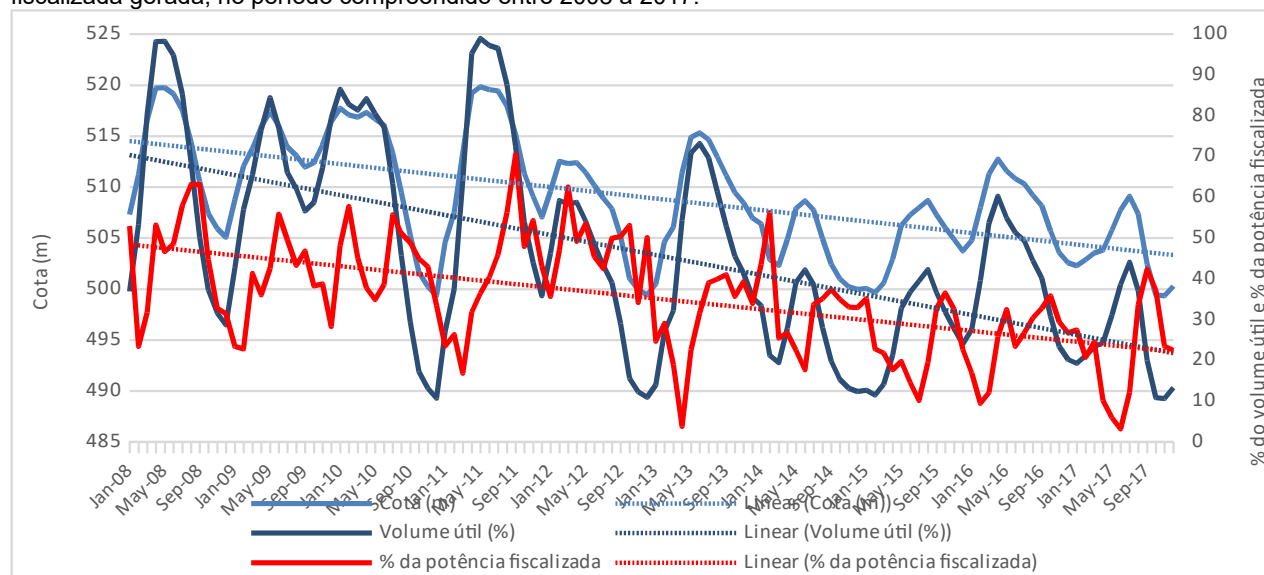


FIGURA 2 – Histórico das medias mensais do nível do reservatório, percentual do volume útil, e o percentual de potência fiscalizada gerada, no período compreendido entre 2008 a 2017 (2), (6).

A redução na geração de energia foi consideravelmente acentuada, visto que a média mensal de geração em janeiro de 2008 foi de cerca de 50% da potência fiscalizada, e em dezembro de 2017 esse valor foi de cerca de 20%. De modo geral, a média mensal de geração desse período corresponde a 734 MW, ao passo que a potência fiscalizada dessa planta de geração corresponde a 2080,5 MW, valor que corresponde a 35 % dessa potência fiscalizada.

Para compensar o déficit na geração hidráulica de Itumbiara, deve-se considerar o investimento na expansão da capacidade de geração, seja através de outras hidrelétricas, ou outras fontes. Um agravante a essa situação seria o uso de fontes fósseis de energia, tendo em vista os efeitos danosos ao ambiente e os maiores custos de geração de geração inerentes ao emprego dessa alternativa. Além disso, tem-se parte da infraestrutura da usina, como a subestação as linhas de transmissão sendo subutilizadas.

Dessa forma, tendo em vista a ociosidade dessas infraestruturas, junto a disponibilidade de área do reservatório, esse trabalho propõe-se a instalação de uma planta solar fotovoltaica flutuante, de modo que a energia solar complemente a geração hidráulica.

2.1 Dados solarimétricos da UHE de Itumbiara



As coordenadas geográficas da localização da UHE de Itumbiara são dadas $18^{\circ}24'24''S$ e $49^{\circ}5'40''W$. De acordo com os dados do programa SunData que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, fornecido pelo CRESESB existem 3 estações próximas a UHE de Itumbiara. Os dados utilizados foram da estação solarimétrica de Tupaciguara, devido ao fato de esta estação ser a mais próxima do reservatório da UHE. Considerando um ângulo de inclinação igual a latitude de Itumbiara, o valor da média diária da irradiação solar corresponde a $5,47 \text{ kWh.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$. Esses dados podem ser consultados na base de dados do CRESESB (7).

Para avaliar a operação da geração hidráulica integrada a geração solar fotovoltaica é necessário conhecer a distribuição da irradiação solar ao longo de um dia. Admitindo um dia de céu claro, é possível determinar o percentual da radiação solar diária total em cada hora do dia, através da razão entre a irradiação horária, e a irradiação total, conforme apresentado na equação E1 (4).

$$\text{Fração da radiação} = \frac{\text{Irradiação horária}}{\text{Irradiação total}} = k I_0 \cos^2 \delta$$

Onde I_0 representa a intensidade média de energia que atinge o topo do planeta, e k é o fator de atenuação de I_0 , devido a absorção, reflexão da radiação na atmosfera. Esses valores são constantes, e se cancelam na equação E1. A variável δ corresponde ao ângulo referente a estação do ano (sendo 0° para os equinócios de março e setembro e $23,27^{\circ}$ para os solstícios de junho e dezembro), e φ é o ângulo referente a latitude da UHE de Itumbiara que corresponde a $18,41^{\circ}$. O termo $15^{\circ}(H-12)$ uma aproximação para a determinação do ângulo horário, com H sendo a hora do dia em décimos (4). Dessa forma, obteve-se a distribuição teórica da irradiação solar ao longo do dia, considerando um dia de céu claro, é apresentada na Figura 3a. Na Figura 3b são apresentados dados reais da radiação solar de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), medidos pela estação de Itumbiara, e disponíveis em (8).

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

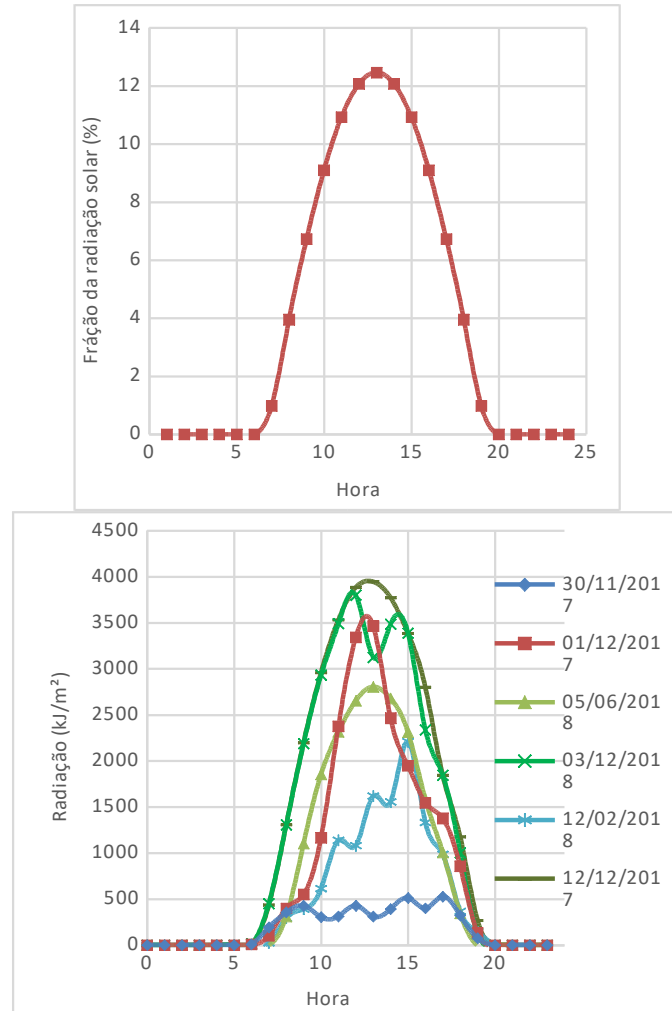


FIGURA 3 – (a) Distribuição teórica da irradiação solar ao longo do dia em Itumbiara, considerando um dia de céu claro; (b) Distribuição da radiação solar medida pela estação de Itumbiara–GO (8).

Após a definição dos dados solarimétricos da UHE de Itumbiara, é necessário selecionar o modelo do painel fotovoltaico a ser utilizado. A certificação dos diversos modelos de painéis fotovoltaicos comercializados no Brasil, é feita pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO). Esse órgão publica anualmente a tabela de eficiência de energética para sistemas de energia fotovoltaica, a qual apresenta diversas características como área, eficiência, tensão de operação e potência. Essa tabela está disponível em (9).

Nesse estudo optou-se pela seleção do modelo CS6X-320P (com área de 1,92 m²), do fabricante *Canadian Solar*, visto que esse fabricante possui instalações em Sorocaba, local relativamente próximo ao local de instalação da planta solar, o que contribui para facilitar eventuais serviços de assistência técnica. Esse fabricante também já forneceu cerca de 594 mil módulos fotovoltaicos para o complexo de Pirapora (localizado em MG), com capacidade instalada de 191 MW_p. Além disso, esse fabricante faz parte do consórcio vencedor do leilão A4 de energia da ANEEL, tendo ofertado preço de R\$123,33/MWh para fonte solar (10), (11). A potência do módulo selecionado corresponde a 320 W_p, de modo que produção diária média de cada painel fotovoltaico corresponde a 1,75 kWh (320 W_p x 5,47 kWh.m⁻².dia⁻¹).

2.2 Justificativa para a instalação do sistema de armazenamento de energia

Para suprir o déficit de geração hidráulica, a planta solar deverá possuir potência tal que complemente a

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

geração hidráulica junto a subestação. Tendo em vista que a média de geração hidráulica nos últimos 10 anos corresponde a 734,7 MW, a capacidade da planta solar fotovoltaica deve ser de 1.345,8 MW. A energia fotovoltaica média diária a ser gerada pelos painéis fotovoltaicos corresponde a 32.299,2 MWh. Como cada painel fotovoltaico produz apenas 1,75 kWh, são necessários 18.456.686 painéis fotovoltaicos. A área de cada módulo selecionado é de 1,92 m², de modo que a área ocupada por todos os painéis equivale a 35,44 km², valor que representa 4,5% da área total do lago do reservatório (12).

Por outro lado, o período compreendido entre às 12:00h e 13:00h (meio-dia), é o de máxima irradiação solar, de modo que a planta solar recebe 12,5% do total da irradiação diária. Nesse caso a energia a ser despachada pela subestação nesse intervalo de tempo corresponde a 12,5% dos 32.299,2 MWh, ou seja, a 4.037 MWh. Esse valor que quase o dobro (1,94) da capacidade máxima da subestação, o que evidencia a necessidade de instalação de um sistema de armazenamento de energia.

2.3 O sistema de armazenamento de energia a hidrogênio

O sistema de armazenamento de energia sob a forma de hidrogênio é composto essencialmente por um eletrolisador, um tanque de estocagem de hidrogênio e uma célula combustível. O eletrolisador é o equipamento responsável pela produção de hidrogênio gasoso através da eletrólise da água, a qual se processa por meio do fornecimento de energia elétrica em corrente contínua. O gás produzido fica armazenado nos tanques de estocagem até o momento oportuno para a sua utilização. Por fim, a célula a combustível converte o hidrogênio gasoso em eletricidade, por um processo reverso ao da eletrólise, a qual pode ser despachada para a rede (4). A Figura 4 apresenta esquematicamente um sistema de armazenamento de energia sob a forma de hidrogênio.

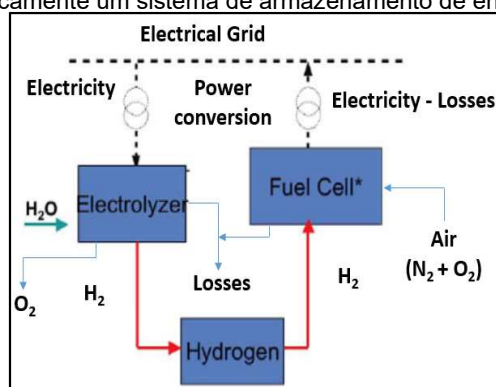


FIGURA 4 – Esquema de um sistema de armazenamento de energia sob a forma de hidrogênio.

De modo geral, a eficiência do eletrolisador varia entre 50 a 70%, ao passo que na célula combustível é de aproximadamente 40%, sendo que as perdas no tanque de estocagem de hidrogênio podem ser desprezadas. A eficiência média de um sistema completo de armazenamento de energia na forma de hidrogênio é da ordem de 30 % (13). No caso dos equipamentos a serem instalados junto a UHE de Itumbiara no âmbito do projeto P&D, tem-se um eletrolisador de 270 kW, com capacidade de produção de H₂ de 50 Nm³/h e um consumo de 5,4 kWh/Nm³. O tanque de estocagem possui volume total equivalente a 900 Nm³ com capacidade de armazenar 81 kg de hidrogênio a pressões de 30 bar. Por fim, a reconversão do hidrogênio é feita por uma célula a combustível de 300 kW, que possui consumo de 215 Nm³/h H₂, com a produção de 1,40 kWh/Nm³. A eficiência teórica desse sistema corresponde 25,9%. Também serão instalados um banco de baterias de 500 kWh, para absorver pequenas flutuações de carga.

3.0 - INTERGRAÇÃO HIDRO/SOLAR NA UHE DE ITUMBIARA

A subestação da usina possui capacidade de 2080,5 MW, podendo injetar no SIN um montante de 49.932 MWh por dia. No entanto, a média de geração hidráulica nos últimos 10 anos foi de 17.632,8 MWh, valor que corresponde a apenas 35,9 % da capacidade da subestação, mostrando que essa infraestrutura está subaproveitada.

Esse estudo visa dimensionar uma planta solar fotovoltaica e um sistema de armazenamento de energia, que combinada a hidrelétrica produza energia suficiente para utilizar a capacidade máxima da subestação ao longo do dia. O dimensionamento da planta solar, considera a irradiação de um dia de céu claro.

Para verificar tanto a contribuição da planta solar fotovoltaica, como a operação da mesma junto a usina hidrelétrica, e o papel do sistema de armazenamento de energia, admite-se que a geração hidráulica varie ao longo do dia, sendo nula ao meio dia. Dessa forma, a planta solar fotovoltaica produz energia suficiente para compensar o déficit de geração hidráulica dos últimos 10 anos.

O uso de um sistema de armazenamento de energia a hidrogênio se adequa a essa situação em virtude das grandes quantidades de energia que devem ser armazenadas. O excesso de energia solar fotovoltaica produzido, é enviado para o eletrolisador, e a reconversão do hidrogênio produzido, é realizada quando não há excesso na geração solar fotovoltaica. A Tabela apresenta os valores da geração de energia ao longo do dia para a fontes solar e hidráulica, junto com o excesso de energia, e a produção de eletricidade através da célula a combustível.

Tabela – Geração de energia ao longo do dia para a fontes solar e hidráulica e SAE.

Hora	Fração (%)	Energia fotovoltaica (MWh)	Energia hidráulica (MWh)	Energia fotovoltaica injetada na rede (MWh)	Excesso (MWh)	Produção de H ₂ (10 ³ Nm ³)	Produção CaC. (MWh)	Energia injetada na rede (MWh)
1	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
2	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
3	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
4	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
5	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
6	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
7	0,8	594,1	931,6	594,1	0,0	0,0	554,8	2080,5
8	3,9	2836,8	931,6	1148,9	1687,9	295,1	0,0	2080,5
9	6,7	4926,6	931,6	1148,9	3777,7	660,4	0,0	2080,5
10	9,1	6721,2	570,3	1510,2	5210,9	911,0	0,0	2080,5
11	11,0	8098,2	260,9	1819,6	6278,6	1097,7	0,0	2080,5
12	12,2	8963,9	66,3	2014,2	6949,7	1215,0	0,0	2080,5
13	12,6	9259,1	0,0	2080,5	7178,6	1255,0	0,0	2080,5
14	12,2	8963,9	66,3	2014,2	6949,7	1215,0	0,0	2080,5
15	11,0	8098,2	260,9	1819,6	6278,6	1097,7	0,0	2080,5
16	9,1	6721,2	570,3	1510,2	5210,9	911,0	0,0	2080,5
17	6,7	4926,6	931,6	1148,9	3777,7	660,4	0,0	2080,5
18	3,9	2836,8	931,6	1148,9	1687,9	295,1	0,0	2080,5
19	0,8	594,1	931,6	594,1	0,0	0,0	554,8	2080,5
20	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
21	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
22	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
23	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
24	0,0	0,0	931,6	0,0	0,0	0,0	1148,9	2080,5
Total	100,0	73540,5	17632,8	18552,2	54988,3	9613,3	13747,1	49932,0

A planta fotovoltaica deve produzir diariamente 73.540,5 MWh, sendo necessário uma capacidade instalada de 3064,2 MW. Nesse caso, são necessários 42.023.143 painéis fotovoltaicos, que ocupam uma área de 80,68 km², equivalente a 10,4% da área alagada do reservatório. É importante mencionar a magnitude da planta necessária, visto que a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no Brasil corresponde a 1.889 MW (ONS).

Além disso, nota-se que a célula a combustível é responsável por despachar 13.747,1 MWh de energia na rede, valor equivalente a 27,5% da energia total injetada na rede. Por outro lado, o excesso de energia corresponde a 54.988,3 MWh, que corresponde ao valor de energia que é destinado ao eletrolisador. Isso indica que a eficiência do sistema de armazenamento é 25,0%. O excesso de energia solar fotovoltaica, é superior a capacidade máxima de escoamento de energia através da subestação, o que pode ser melhor observado na Figura 5 que apresenta a geração de energia através das diferentes fontes ao longo do dia.

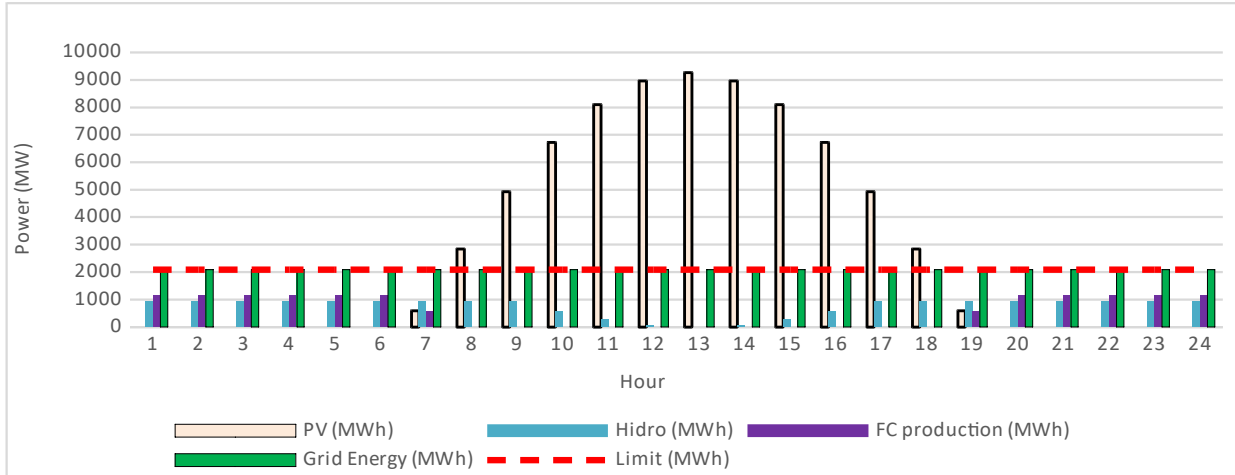


FIGURA 5 – Geração hidráulica e solar, produção de eletricidade via CaC e energia injetada na rede ao longo do dia.

A Figura 5 mostra a envergadura da geração solar em relação a geração hidráulica e a energia máxima que pode ser injetada na rede. Para a utilização da capacidade máxima da subestação, é necessário que cerca de 75% da energia fotovoltaica produzida seja destinada para a produção de hidrogênio, ao passo que apenas 18% dessa energia é reinjetada na rede. A Figura 6a apresenta o balanço de energia, considerando um dia de geração com sol claro. De fato, para atender a esse sistema é necessário além de uma gigantesca planta solar fotovoltaica, um sistema de grande porte de armazenamento a hidrogênio. A Figura 6b apresenta o sistema de armazenamento a hidrogênio, com as suas respectivas capacidades máximas de operação.

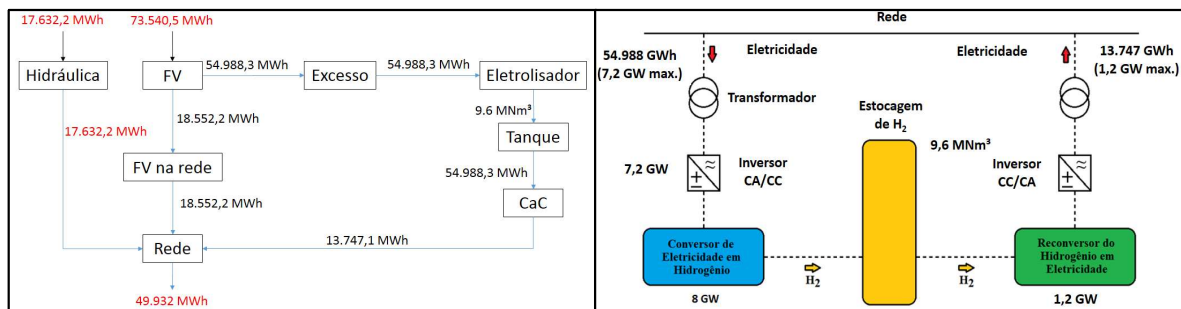


FIGURA 6 – (a) Balanço de energia, considerando um dia de geração com sol claro; (b) Capacidades máximas de operação do SAE a H₂.

Para o uso da capacidade máxima da subestação, o uso do sistema de armazenamento demanda de equipamentos tais como transformadores, inversores de frequência de grande porte, aspecto que quando tratado sob a ótica financeira pode inviabilizar o empreendimento. Além disso, outro entrave a essa alternativa é quanto produção de eletrolisadores e células a combustível de elevadas capacidade, o que pode representar um desafio para a indústria.

4.0 - CONCLUSÃO

Esse informe técnico apresentou a contribuição do uso da energia solar para o incremento da geração de eletricidade junto a UHE de Itumbiara. A planta solar fotovoltaica em conjunto com o sistema de armazenamento de energia a hidrogênio, quando operado em conjunto com o reservatório da hidrelétrica permite o aumento da quantidade de energia despachada na rede elétrica, anulando qualquer grau de ociosidade a subestação dessa usina.

O aumento da geração de eletricidade até o limite suportado pela subestação é possível, desde que seja

utilizado um sistema de armazenamento de energia. Por outro lado, o sistema utilizado nesse trabalho possui eficiência da ordem de 25 %, o que exige a instalação de uma grande planta solar fotovoltaica. Dessa forma, em virtude da baixa eficiência do sistema a hidrogênio, é desejável que o armazenamento no próprio reservatório da hidrelétrica seja priorizado.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANEEL (2016). Chamada nº 021/2016. Projeto Estratégico “Arranjos Técnicos e Comerciais Para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro” Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília –DF. 2016.
- (2) ONS (2019). Resultado Histórico da operação. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Brasília DF, 2019. Disponível em http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx
- (3) IEA (2017). Tracking Clean Energy Progress. International Energy Agency. Paris – France, June, 2017.
- (4) Silva, E.P. Fontes Renováveis de Energia, 1ª Edição. Livraria da Física, São Paulo, 2014
- (5) UNICAMP. Requisitos para a sobrevivência da indústria. Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP. Acessado em 05/05/2019. Disponível em <http://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/02/20/requisitos-para-sobrevivencia-da-industria>
- (6) ANA (2019). Dados de operação dos reservatórios SIN. Agência Nacional de Águas. Brasília DF, 2019. Disponível em <http://sar.ana.gov.br/MedicaoSin?dropDownListEstados=14&dropDownListReservatorios=19025&dataInicial=01%2F01%2F2008&dataFinal=28%2F05%2F2008&button=Buscar>
- (7) CRESSES (2019) Potencial Solar – Sun Data v 3.0. Centro de referência para as energias Solar e Eólica Sergio Brito. CEPEL. Rio de Janeiro –RJ. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>.
- (8) INMET (2019). Dados das Estação Automáticas. Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília – DF. Disponível em http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTazNQ==.
- (9) INMETRO (2019)– Tabela de Eficiência Energética – Sistema de Energia Fotovoltaica - Módulos - Edição 01/2018. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf
- (10) ANEEL (2018). ANEEL homologa parcialmente resultado do Leilão de Geração “A-4”. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília –DF. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-homologa-parcialmente-resultado-do-leilao-de-geracao-a-4-656877?inheritRedirect=false
- (11) ABSOLAR (2017) Energia Fotovoltaica Impulsiona Cadeia Produtiva. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. São Paulo – SP. Disponível em <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-fotovoltaica-impulsiona-.html>
- (12) FURNAS (2019). Sistema Furnas de Geração e Transmissão – Usina Hidrelétrica de Itumbiara. Furnas Centrais Elétricas do Brasil, Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: http://www1.furnas.com.br/hotsites/sistema-furnas/usina_hidr_itumbiara.asp
- (13) IEA 2014. Technology Roadmap: Energy Storage. International Energy Agency, 19 March 2014.



6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Ennio Peres da Silva

LH2 - Rua Cora Coralina, 330, Cidade Universitária (UNICAMP) - CEP 13083-896
?, – Brasil. Tel: (+55 19) 3521-1240 – Email: lh2ennio@ifi.unicamp.br



XXV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3507
GES/08

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

Possui graduação em Física pela Universidade de São Paulo (1977), mestrado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (1981) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (1989). Atualmente é coordenador do Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP (LH2), secretário executivo do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH) e professor no curso de Pós-graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência multidisciplinar com ênfase nas áreas de Física e Engenharia Mecânica, trabalhando com o aproveitamento das fontes renováveis de energia, geração distribuída e em sistemas isolados, atuando principalmente nos seguintes temas: produção, tratamento e armazenamento de hidrogênio, células a combustível, energia elétrica e fontes renováveis.