

CAPÍTULO 8

ANÁLISE DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTVOLTAICA NA CURVA DE PATO EM UM SISTEMA ELÉTRICO E A UTILIZAÇÃO DE ARMAZENAMENTO COMO MÉTODO DE MITIGAÇÃO

Data de submissão: 08/03/2024

Data de aceite: 01/04/2024

Ana Beatriz Alves

Fundação Universidade Federal de
Rondônia - UNIR
Porto Velho – RO
<http://lattes.cnpq.br/1027947764872747>

Lucas Feksa Ramos

Departamento de Eletromecânica e
Sistemas de Potência (DESP)
Universidade Federal de Santa Maria
<http://lattes.cnpq.br/4278790639558306>

RESUMO: Os gerenciamentos de uma rede elétrica têm sofrido mudanças ao longo dos anos com o avanço dos recursos renováveis. Devido à tecnologia existente possibilitar ao consumidor possuir o controle de seu consumo de eletricidade, influenciando nas diferentes condições de operação ao necessitarem de recursos flexíveis para a confiabilidade da rede. Logo, a ISO (*Internation Organization for Standardization*) criou cenários para o futuro das curvas de carga líquida observando tais mudanças. Em uma GDFV as curvas de carga possuem variações e, a partir dessas variações denota-se um fenômeno denominado de Curva de Pato (*Duck Curve*). A Curva de Pato caracteriza-se

pela queda da carga líquida (*ramp down*), durante a metade do dia, quando ocorre o pico máximo de geração de energia elétrica pelos painéis solares. Essa curva refere-se a uma exorbitante parcela de carga a ser atendida pela Geração Distribuída durante uma parte do dia, ocasionando uma queda acentuada na oferta de outras fontes do sistema elétrico e acarretando uma retomada nas horas seguintes (*ramp up*) e, assim, causam prejuízos à rede elétrica. O objetivo deste estudo é avaliar os impactos da GDFV nas curvas de carga, mais precisamente, a Curva de Pato, que impactam o sistema elétrico. Como metodologia, diversas pesquisas foram realizadas, com referenciais de artigos, teses de mestrado e doutorado e livros. Através da realização de simulações, fez-se possível realizar as comparações necessárias e indicar soluções para o problema da Curva de Pato, através da inserção de um sistema de armazenamento com baterias.

PALAVRAS-CHAVE: Geração Fotovoltaica. Curva de Pato. Baterias.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION ON THE DUCK CURVE IN AN ELECTRIC SYSTEM AND THE USE OF STORAGE AS A MITIGATION METHOD

ABSTRACT: The management of an electricity grid has undergone changes over the years with the advance of renewable resources. Due to the existing technology, the consumer has control of their electricity consumption, influencing the different operating conditions when they need flexible resources for the reliability of the network. Soon, the INTERNATIONAL Organization for Standardization (ISO) created scenarios for the future of liquid load curves by observing such changes. In a GDFV the load curves have variations and, from these variations, a phenomenon called the Duck Curve is denoted. The Duck Curve is characterized by the fall of the net load (ramp down) during the middle of the day, when the maximum peak of electricity generation occurs by solar panels. This curve refers to an exorbitant portion of the load to be served by distributed generation during part of the day, causing a sharp drop in the supply of other sources of the electrical system and causing a resumption in the hot hours (ramp up) and, thus, cause damage to the electricity network. The aim of this study is to evaluate the impacts of GDFV on load curves, more precisely, the Duck Curve, which impacts the electrical system. As a methodology, several studies were carried out, with references from articles, master and doctoral theses, and books. Through simulations, it was possible to make the necessary comparatives and indicate solutions to the duck curve problem, through the insertion of a storage system with batteries.

KEYWORDS: Photovoltaic Generation. Duck Curve. Battery.

INTRODUÇÃO

A pesquisa visa avaliar os impactos da Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV) nas curvas de carga de consumidores residenciais e industriais, e os aspectos que impactam o sistema elétrico de distribuição. Posteriormente, realizar uma análise comparativa entre as curvas de carga da GDFV que formam que se assemelha a silhueta de um pato, então denominada de Curva de Pato (*Duck Curve*), relativos aos picos de demanda e de produção de energia de alimentadores residenciais e indústrias e, ao final, indicar uma solução através da inserção de um sistema de armazenamento de energia com baterias com a finalidade de mitigar a curva de carga e, assim, proporcionar um equilíbrio na rede elétrica.

Dessa maneira, constatou-se a necessidade de uma análise das alterações do Sistema Elétrico de Energia em relação aos efeitos que a adoção da GDFV em larga escala pode ocasionar. Diante disso, é proposto uma alternativa de solução para estas situações que podem acarretar um grande problema às Redes Elétricas (PAIXÃO; ABAÍDE, 2021).

Ao Sistema Elétrico de Distribuição (SED) observa-se algumas mudanças conforme a entrada da Geração Distribuída Fotovoltaica, como a relação entre demanda versus produção local da energia, acarretando o excedente desta energia injetada diretamente na rede elétrica da concessionária. Devido à Geração Fotovoltaica ser dependente das condições climáticas, as quais são imprevisíveis e incertas, além de dispor de elevadas taxas

de inserção da GDFV e, dessa forma, são fatores preocupantes para as concessionárias (CALIFORNIA ISO, 2016).

A conexão da GDFV à rede ocasiona uma redução no consumo geral de energia das unidades consumidoras, onde a concessionária é responsável em efetuar uma avaliação da redução do consumo, bem como tomar decisões para manter operável à rede. Ademais, a concessionária é também responsável em avaliar as demais condições de rede que comportam a GDFV, influenciando os níveis de tensão, do fluxo de potência, carregamento de transformadores, demanda de adequações na rede, entre outros fatores. No entanto, a análise feita pelo Sistema Elétrico da Califórnia, ao qual a pesquisa em questão adotou como referência, observou que a crescente inserção da GDFV acarreta uma variação severa na curva de carga em poucas horas, em especial, ao final da tarde. A curva de carga sofre uma modificação, alterando seu formato, este que forma uma “barriga de pato”, por isso, conforme dito anteriormente, a denominação de Curva de Pato (CASTRO et al., 2018).

Portanto, se faz necessário ressaltar que, ao denotar-se um caso brasileiro, tem-se que a saída da GDFV entorno do horário das 17h00min, que apresentaria uma demanda de outras fontes, como, por exemplo, a eólica e/ou hidráulica, pois, estas possuem flexibilidade e capacidade para atender a rampa de carga. Ao realizar uma análise do problema, buscou-se maneiras de amenizar a Curva de Pato de maneira que a carga não ocasione uma sobrecarga à rede elétrica e, com isso, seja mantido o equilíbrio entre geração e demanda. O Sistema de armazenamento atua em sistemas de carga e descarga, intensidade e variabilidade de duração em função da inconstância da geração de energia e dos numerosos tipos de consumo. Contudo, deve-se atentar aos ciclos diários determinados pelos perfis de geração e consumo e se impõe a um ciclo de sazonalidade que depende do avanço da radiação solar no decorrer do ano (COPETTI; MACAGNAN, 2007).

A motivação da pesquisa dá-se através do uso de bancos de baterias aos quais seriam úteis para o atendimento da rampa de carga, servindo como uma fonte de energia armazenada, pois, a participação do Brasil na geração de energia fotovoltaica ainda é baixa, conforme dados mostrados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), referente ao ano de 2018, onde este mostra que a GDFV gerou apenas 0,5% da geração de energia média, com potência média de geração de 333MW. No mesmo ano, em 2018, no último mês, o Brasil ultrapassou uma capacidade instalada em usinas fotovoltaicas de cerca de 1,1% do total (PAIXÃO; ABAÍDE, 2021) (CALIFORNIA ISO, 2016).

Sendo assim, o objetivo de resolver o problema da integração das energias renováveis, especialmente em relação à geração distribuída fotovoltaica, nos SEE (Sistema Elétrico de Energia), pois, o comportamento da produção de energia oriunda do sistema fotovoltaico ocasiona a dificuldade no ajuste da produção ao consumo, ou seja, a geração à demanda de energia, além de causar problemas do nível de estabilidade do sistema elétrico. De tal forma, devido a esse problema, é, portanto, originada a Curva de Pato e, dessa maneira, se faz necessário encontrar um método para amenizar a Curva de Pato e,

consequentemente, o problema da integração dos fotovoltaicos aos SEE e, através desse problema, surge a ideia de trazer uma maior flexibilidade ao sistema elétrico por meio da inserção de sistemas de armazenamento de energia (FERREIRA; TAVARES, 2015).

O PROBLEMA DA CURVA DE PATO (DUCK CURVE)

A relação entre as curvas de carga e as curvas de geração distribuída fotovoltaica geram picos de demanda e esses picos estão correlacionados ao problema da Curva de Pato (*Duck Curve*). Os perfis de demanda de eletricidade seguem um padrão típico relacionado as baixas que ocorrem durante a noite, um *ramp up* (rampa alta) nas primeiras horas do dia e durante o fim de tarde para a noite, um *ramp down* (rampa baixa) nas últimas horas do dia e nas primeiras horas da manhã.

Quanto mais a energia solar fotovoltaica é inserida diretamente na rede elétrica, mas ela deslocará outras fontes de geração de energia, dessa forma, ocorrerá uma interrupção na ordem de inserção de outras fontes de energia no sistema elétrico, como por exemplo, hidrelétricas. Os painéis solares produzem mais energia durante o período entre 11 e 4 horas da manhã, onde o período de irradiância solar é maior e, para cobrir o consumo de energia em residências ou indústrias, grande parte das instalações é projetada para produzir eletricidade em excesso para atender essas demandas durante esse determinado período de tempo, devido à isso, ocasiona-se a formação de uma “barriga de pato”. Além do mais, a curva de saída da geração de energia fotovoltaica apresenta um pico de energia durante uma parte do dia em decorrência da intermitência da energia produzida., ocasionando um pico duplo em questão de tempo e, dessa forma, resultando em uma curva de carga líquida.

Conforme a produção solar diminui durante o período da noite, a carga líquida sofre um aumento equivalente, logo, a geração solar é desligada e substituída por outros recursos energéticos, como por exemplo, recursos eólicos, hidrelétricos, termoeletrônicos, de biogás, entre outros. Durante o ciclo das 4h às 9h, ocorre um fenômeno conhecido como rampa da noite ou como visto anteriormente, *ramp up*. Essa rampa da noite refere-se ao período de maior uso de eletricidade por parte dos consumidores, gerando uma curva acentuada na demanda por energia, enquanto a quantidade de geração solar fotovoltaica disponível apresenta uma queda e, essa queda forma, graficamente, o “pescoço” do pato.

Em outras palavras, a Curva de Pato é a curva de potência total menos a curva de geração de energia fotovoltaica e, portanto, o problema da *Duck Curve* é visto graficamente, denotando o excesso de geração de energia durante o meio de um dia e a oferta insuficiente em um curto espaço de tempo. Em suma, tal problema resultará no desequilíbrio entre as fontes de alimentação e de demanda de carga, sendo assim, torna-se um perigo para a operação segura e estável do Sistema de Energia.

Debater a Curva de Pato significa atender a necessidade de se reduzir a “barriga” do pato e encurtar o “pescoço” e, para isso, encontra-se no Sistema de Armazenamento de Energia com Baterias a oportunidade de mitigar a produção de energia solar ao longo de todo o dia, acarretando mudanças no comportamento dos consumidores em detrimento da diminuição da demanda de energia durante os horários de pico. Portanto, a finalidade de se avaliar os riscos originados por esse problema, desenvolveu-se um estudo de caso, com foco em demonstrar, primeiramente, que a curva é prejudicial à rede elétrica e, segundo, apresentar uma solução de mitigação da curva para finalmente comparar, através de simulações, o comportamento do sistema a partir da inserção do sistema de armazenamento à GDFV .

ESTUDO DE CASO

A relação entre as curvas de carga e as curvas de geração distribuída fotovoltaica geram picos de demanda e esses picos estão correlacionados ao problema da *curva de pato* (*duck curve*). Os perfis de demanda de eletricidade seguem um padrão típico ao qual está relacionado a baixas durante a noite, um *ramp up* (uma rampa alta) nas primeiras horas do dia e durante o fim de tarde para noite, um *ramp down* (rampa baixa) nas últimas horas do dia e nas primeiras horas da manhã.

Quanto mais a energia solar fotovoltaica entrar diretamente na rede elétrica, mais ela deslocará outras fontes de geração de energia, com isso, ocorrerá uma interrupção na ordem de inserção de outras fontes de energia, como hidrelétricas, por exemplo, no sistema elétrico. Os painéis solares produzem mais energia durante o período entre 11 horas e as 4 horas da manhã, quando a irradiância solar é maior e, para cobrir o consumo de energia em uma casa ou empresa, grande parte das instalações é projetada para produzir eletricidade em excesso durante essas horas, devido à isso, cria-se então uma “barriga” de pato. Sendo assim, a curva de saída da geração de energia fotovoltaica apresenta um pico de energia durante uma parte do dia devido à intermitência da energia produzida. Sua variação possui uma tendência que não é própria da típica curva de carga diária, ocorrendo um pico duplo em questão de tempo e, dessa maneira, resultando em uma curva de carga líquida que se assemelha à silhueta de um pato, por tal fato, portanto, é conhecida como *Duck Curve*, ou simplesmente, *Curva de Pato*.

Conforme a produção solar diminui durante o período da noite, a carga líquida sofre um aumento equivalente. Assim, como já foi mencionado anteriormente, a geração solar se desliga, sendo substituída por outros recursos energéticos como eólicos, hidrelétricos, termoeletrônicos, de biogás, entre outros. Durante o período de 4h às 9h, ocorre um fenômeno conhecido como “rampa da noite”, ao qual se refere ao período de maior uso de eletricidade por parte dos consumidores, gerando uma acentuação na demanda por energia, enquanto a quantidade de geração solar fotovoltaica disponível apresenta uma queda, onde esse período é referido como o “pescoço” do pato.

Dessa maneira, tem-se que o conceito da *Duck Curve* é a de representar por meio de gráficos o problema da geração excessiva ao meio do dia e a oferta insuficiente para a rampa rápida em um curto espaço de tempo. Em suma, esse problema resultará na redução da energia fotovoltaica e no desequilíbrio entre as fontes de alimentação e de demanda de carga, sendo assim, um perigo a operação segura e estável do sistema de energia.

Debater sobre a curva de pato significa a necessidade de se reduzir a barriga do pato e encurtar o pescoço e, para isso, encontra-se no sistema de armazenamento de energia com baterias a oportunidade de amenizar a produção de energia solar ao longo de todo o dia, ocasionando mudanças no comportamento dos consumidores para diminuir a demanda durante os horários de pico.

Portanto, com a finalidade de se avaliar esse problema, desenvolveu-se um estudo de caso com foco em demonstrar que primeiro, a curva é prejudicial à rede elétrica e, segundo, seja apresentada uma solução para amenizar a curva de pato para finalmente comparar, por meio de simulações, o comportamento do sistema a partir da inserção do sistema de armazenamento.

ANÁLISE, TRATAMENTO DE DADOS E RESULTADOS

O estudo proposto foi o de realizar uma análise do impacto da geração solar fotovoltaica nas curvas de carga que geram o problema da carga líquida a qual a sua forma se assemelha com a silhueta de um pato (curva de pato).

Levou-se em consideração, dados básicos de geração de energia fotovoltaica, como a área estabelecida em metros quadrados (m^2) dos painéis solares, dados básicos de irradiância, simulando o comportamento do Sol em um dia normal, além de optar por um transformador comum, abaixador, de média tensão; bem como buscou-se balancear a rede entre o sistema de potência e a geração solar fotovoltaica. Além disso, definiram-se as características do sistema simulado para parametrizar cada bloco do circuito. Portanto, buscou-se realizar a construção da simulação da maneira mais simples possível para mostrar ser possível obter os resultados positivos esperados.

Inicialmente, tem-se que principal ponto desse estudo é o de analisar o impacto da geração distribuída fotovoltaica (GDFV) na curva de pato de um sistema elétrico e encontrar um método de mitigar a curva através da utilização de sistemas de armazenamento de energia com baterias (SAEB).

Primeiramente, elaboraram-se diagramas de modo a mostrar de forma simples e esquemática a ligação entre o *power grid*, ou simplesmente, sistema elétrico de potência em relação aos painéis fotovoltaicos enquanto geração distribuída fotovoltaica, e as demandas de energia, sendo estas residenciais e industriais. Na Figura 1, verifica-se o diagrama para o sistema fotovoltaico conectado à rede, junto as demandas a serem atendidas e, na Figura 2, tem-se o mesmo diagrama, porém, com a inserção de um sistema de armazenamento de energia com baterias.

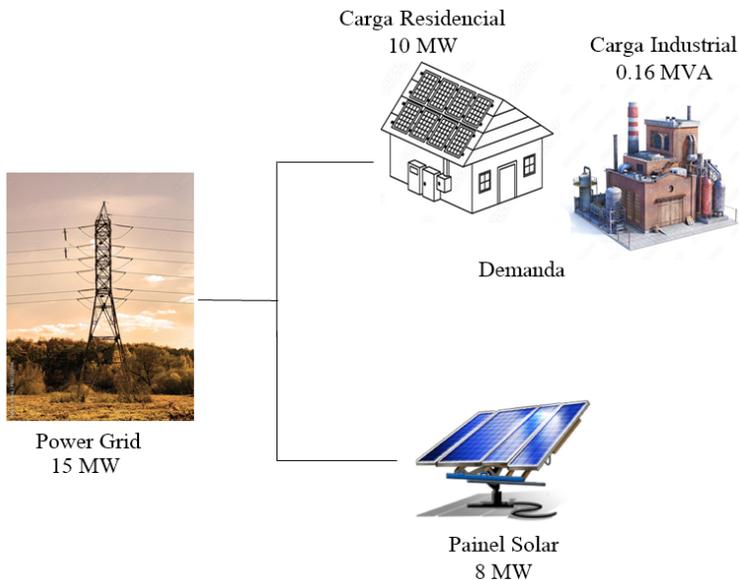


Figura 1 – Diagrama representando o Sistema de Geração Distribuída Fotovoltaica ligada à Rede Elétrica.

Fonte: Autoria própria.

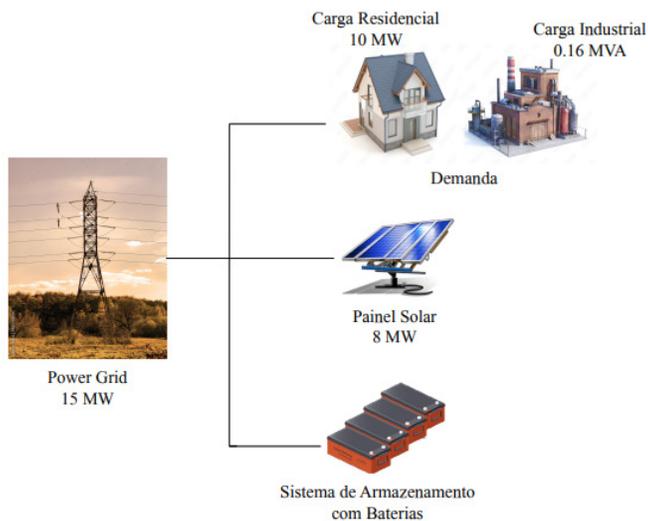


Figura 2 – Diagrama representando o Sistema de Geração Distribuída Fotovoltaica ligada à Rede Elétrica com Sistema de Armazenamento de Energia com Baterias.

Fonte: Autoria própria.

Posteriormente, desenvolveu-se um circuito, conforme Figura 3, referente a um sistema de geração fotovoltaica conectado à uma rede de distribuição utilizando o *software simulink*, ao qual faz parte do *software matlab*, para simular o comportamento do sistema perante o excesso de geração de energia inserido diretamente na rede. Para o mesmo circuito, tem-se o intuito de se inserir ao sistema de geração fotovoltaica um sistema de armazenamento de energia com baterias para que esse sistema amortize a curva de pato.

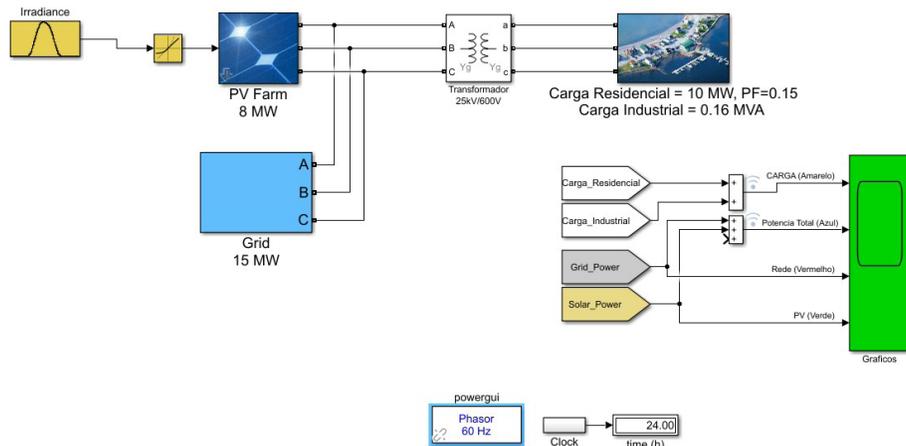


Figura 3 – Simulação do Circuito de um Sistema de Geração Distribuída Fotovoltaica conectado à Rede Elétrica.

Fonte: Autoria própria

Nas curvas de carga, tem-se o bloco do subsistema referente às cargas residenciais e industriais no sistema simulado ao qual pode ser visualizado conforme a Figura 3. A parte de cima do subsistema corresponde às cargas industriais, com a presença de uma máquina assíncrona e um motor, como também, dados da potência elétrica em kW (*kilowatt*) e de velocidade do rotor em p.u (sistema por unidade). A parte de baixo do subsistema refere-se às cargas residenciais, com ganhos de potência ativa (W) e potência reativa (MVA). No bloco do subsistema, tem-se que para a carga industrial o uso de um potencial reativo para que a *smart grid* se aproximasse de um cenário real e, para as cargas residenciais, tem-se uma carga normal.

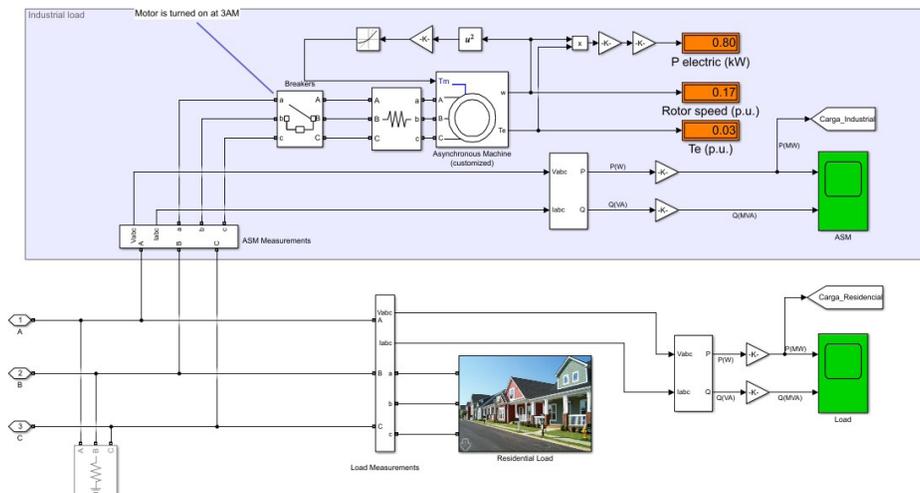


Figura 3 – Bloco do subsistema das cargas residenciais e industriais.

Fonte: Autoria própria.

Para realizar esses procedimentos, alguns pontos foram considerados, como o *clock* de tempo de 86.400 pontos de segundos, correspondente às 24h para simular um dia normal de geração de energia. Para o bloco referente ao *grid*, corresponde à rede, limitou-se sua capacidade em 15MW, onde se simulou a rede como um gerador, pois, caso fosse utilizado uma rede de fato, a rede seria infinita e, devido a isso, não seria possível controlar o limite máximo no *software matlab*. Por isso, optou-se pelo uso de um gerador simulando a rede de 15MW, para se obter o limite máximo. Caso o limite máximo de 15MW de potência seja atingido, há a ocorrência de um *blackout*, ou seja, um apagão. Portanto, a definição de 15MW se deu de forma proposital. Para o transformador, escolheu-se um transformador abaixador, de média tensão e Y (estrela) aterrado de 25kV/600V, optando-se assim pelo transformador mais simples para o circuito. Além disso, inseriu-se um painel fotovoltaico com capacidade de 8MW, com 10% de eficiência e área de $15e^4$ em m^2 . Ademais, conectou-se o painel fotovoltaico à potência instalada do sistema, simulando a rede elétrica e o interligando às cargas residenciais e industriais. Para a carga residencial, definiu-se um valor base de 10MW de capacidade e 0,15 de fator de potência (FP), e uma carga industrial com 0,16MVA, (fator reativo e ativo às cargas). Em suma, com a implementação do circuito, realizou-se então um balanceamento de carga, pois, com o sistema em modo permanente, o *power grid* e a carga, quando adicionados a geração solar fotovoltaica, geraram a curva de pato conforme pode ser visualizado na Figura 4.

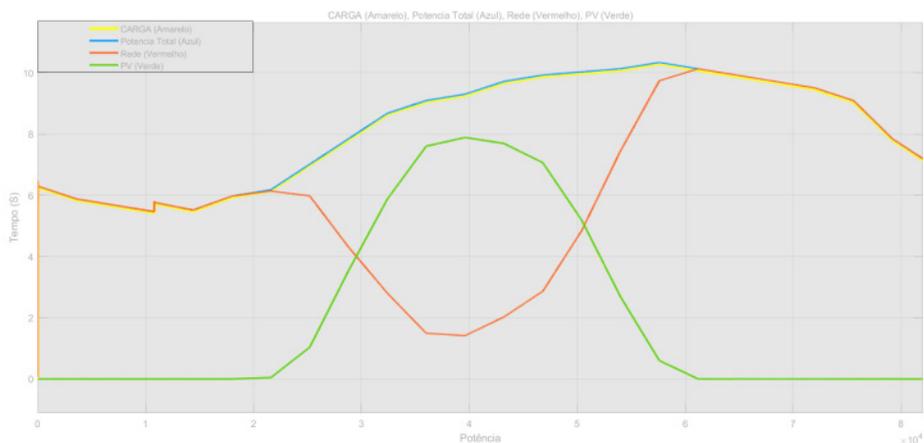


Figura 4 - Curva de Carga entre a soma total das demandas das cargas residenciais e industriais e a potência total do sistema.

Fonte: Autoria própria

Na Figura 4 também pode-se ver no circuito o bloco *irradiance* usando *unlock up* que sobe e desce, ou seja, faz exatamente o que o Sol faz. As cargas foram definidas e diferenciadas por cores para efeito de visualização nos gráficos gerados. As cargas residenciais e industriais foram representadas pela cor amarela, e a potência total representada pela cor azul. Para a energia solar gerada pelos painéis fotovoltaicos utilizou-se a cor verde e, assim, através do *scope*, se fez possível gerar o gráfico das curvas.

Na Figura 4 também pode-se ver no circuito o bloco *irradiance* usando um *lock up* que sobe e desce, ou seja, é utilizado para se comportar de forma semelhante ao Sol. As cargas foram definidas e diferenciadas por cores para efeito de visualização nos gráficos gerados. As cargas residenciais e industriais foram representadas pela cor amarela, e a potência total representada pela cor azul. Para a energia solar gerada pelos painéis fotovoltaicos utilizou-se a cor verde e, assim, através do *scope*, se fez possível gerar o gráfico das curvas.

Aos resultados, observou-se através do mesmo circuito da Figura 3, porém, com a inserção de um sistema de armazenamento de energia com baterias, para que se observe o comportamento das curvas de carga, enquanto curva de pato, a partir do uso de um banco de baterias como backup para a rede. Dessa forma, os resultados obtidos foram através das baterias, onde a energia fotovoltaica será armazenada, porém, a curva de geração se manterá. Entretanto, conforme o fotovoltaico for desligando, para que não ocorra a inserção direta da energia solar na rede elétrica, a energia armazenada nas baterias será utilizada. Para visualizar a mitigação da curva, foram gerados gráficos, aos quais podem ser vistos através das Figura 5, Figura 6 e Figura 7.

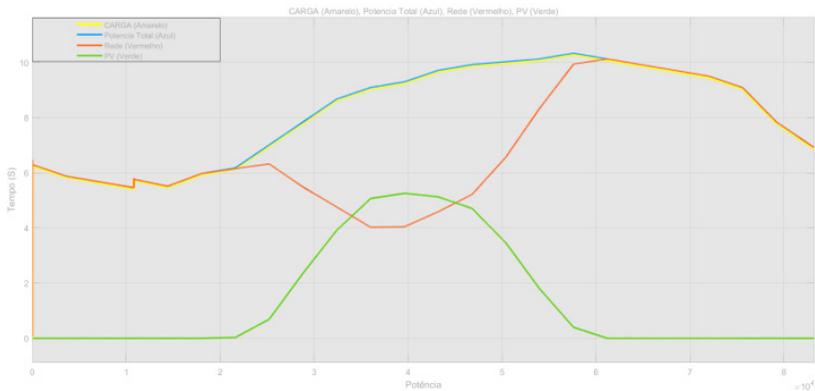


Figura 5 – Primeiro gráfico da Curva de Pato sendo mitigada.

Fonte: Autoria própria.

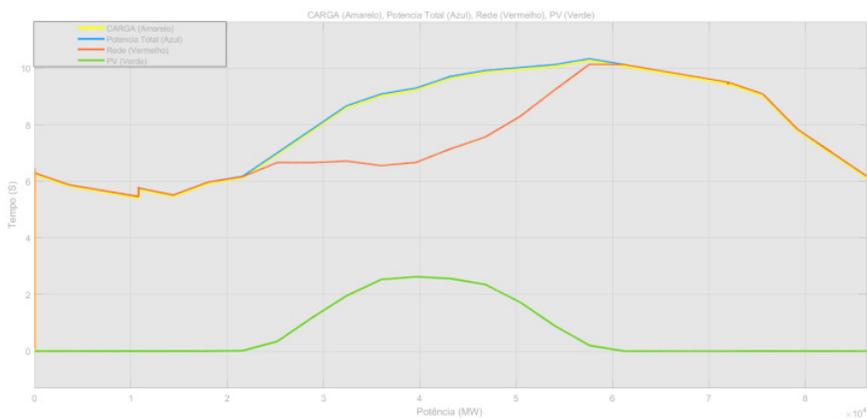


Figura 6 – Segundo gráfico da Curva de Pato sendo mitigada.

Fonte: Autoria própria.

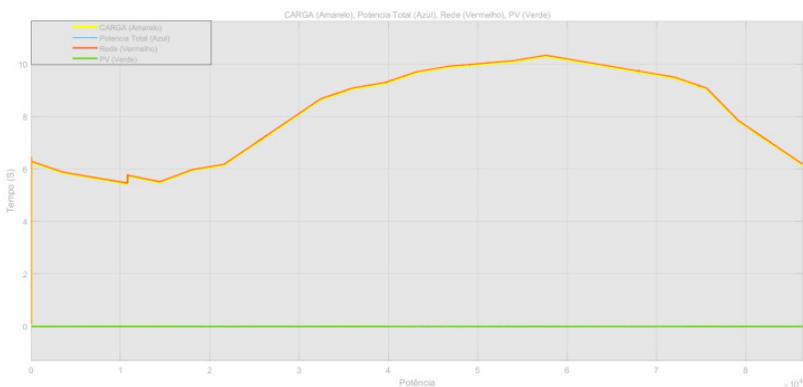


Figura 7 – Terceiro gráfico da Curva de Pato sendo mitigada.

Fonte: Autoria própria.

Assim, com base nas simulações feitas e nas análises dos gráficos, viu-se que o problema da curva de pato pode ser mitigado através da adesão de sistemas de armazenamento. Entretanto, os resultados analisados tiveram como base a diminuição gradual da área dos painéis fotovoltaicos em metros quadrados, partindo inicialmente de para, depois para e, finalmente, até zera e, conseqüentemente, diminuir a curva.

Logo, analisando-se as simulações, observa-se que o sistema de armazenamento permite o aproveitamento e armazenamento da produção de energia solar do meio-dia para uso durante o pico da noite e, dessa maneira, reduzir a necessidade de outras fontes de energia para suprir a rampa da noite (*ramp up*). A interligação entre as tecnologias solares e de armazenamento também reduzem o custo para consumidores e concessionárias e, de forma simultânea, eleva a confiabilidade da rede.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As preocupações causadas pela influência da Geração Distribuída Fotovoltaica na Curva de Pato que causam impactos à Rede Elétrica ainda são de pouco conhecimento público no cenário brasileiro e em alguns lugares do mundo, sendo o caso mais conhecido o ocorrido na Califórnia, conforme California ISO (2016). Dessa maneira, alguns aspectos dessa pesquisa tornaram-se importantes ao longo de sua realização, pois, desde a revisão bibliográfica até a elaboração do circuito simulado, se fez possível observar as conseqüências que a Curva de Pato pode causar em um Sistema Elétrico, causando desequilíbrio de Rede, como o excesso de energia injetada diretamente na Rede, ocasionando grandes problemas ao Sistema Elétrico.

Percebeu-se também que, com a inserção de um *power grid* maior que 15MW, como foi utilizado no estudo, poderia acarretar um apagão na Rede Elétrica, além de ser necessário utilizar-se de uma fonte de energia que atue no sistema para além da geração fotovoltaica. Observou-se também que, para se alimentar o painel solar de 8MW, era necessário o uso de um *power grid*. Com a rede máxima em 15MW, notou-se que é possível que entre os horários de 12h e 13h a rede “puxe” a capacidade de 15MW do *power grid* com os 8MW do sistema fotovoltaico, somando uma carga de 22MW. No entanto, a carga do fotovoltaico poderia entrar em regime de falta e, assim, as cargas seriam balanceadas, voltando ao ponto anterior.

Por fim, ao realizar-se a simulação do circuito, obteve-se então o gráfico da Curva de Pato e, a partir disso, fez-se possível encontrar uma maneira de mitigar a curva. Conforme visto na Figura 7, a curva pôde ser mitigada, ilustrando que sistemas de armazenamento para a geração distribuída fotovoltaica, em especial, o armazenamento com baterias equilibra o sistema elétrico e impede que a energia da geração fotovoltaica seja injetada diretamente na rede.

Finalmente, conclui-se que, apesar dos percalços durante a execução do estudo e da complexidade dos fatores que se apresentaram ao longo dos testes realizados, os resultados são tidos como satisfatórios dentro do que foi proposto, no que tange a inserção de banco de baterias a GDFV para amenizar a Curva de Pato gerada e, assim, mostrou-se que este é sim um ponto positivo ao Sistema Elétrico.

Para possíveis trabalhos futuros, estabelece-se que neste estudo a metodologia utilizada pode ser aplicada para qualquer carga, desde que se tenham os dados referentes à região a qual se queira analisar, desde o uso de dados básicos de operação, até dados específicos. No entanto, alguns assuntos abordados necessitam de mais novas pesquisas, para se obter mais detalhes acerca da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, avaliando não somente a geração dos sistemas fotovoltaicos, bem como as melhorias na qualidade das redes conforme as tecnologias empregas.

Por fim, tem-se que o estudo tinha como objetivo avaliar e propor uma solução para o problema da Curva de Pato e, a partir do que foi proposto, considera-se que o resultado obtido foi satisfatório, entretanto, a escolha da utilização de dados básicos se dá por alguns motivos, entre eles, o tempo disponibilizado para a realização, pois, para se realizar uma pesquisa mais aprofundada e mais complexa, seria necessário um tempo maior para a sua realização, bem como elaborar diversos cálculos e realizar um estudo aprofundado sobre controle e harmônicas. Sendo assim, optou-se portanto, por uma via mais objetiva e simples, tratando única e especificamente sobre o problema da Curva de Pato e a sua influência em relação às Redes Elétricas.

REFERÊNCIAS

PAIXAO, J. L. D.; ABAIDE, A. D. R. Métricas para a Avaliação do Impacto da Geração Distribuída Fotovoltaica na Curva de Carga. Centro de Excelência em Energias e Sistemas de Potência - CEESP, p. 2, 2021.

CASTRO, G. et al. TDSE 79: Impactos Sistêmicos da Micro e Minigeração Distribuída. [S.l.: s.n.], 2018. v. 79. 1–62 p. ISBN 9788593305467.

California ISO. *What the duck curve tells us about managing a green grid. Technical Report*, p. 4, 2016. Disponível em: <FlexibleResourcesHelpRenewables_FastFacts.pdf (caiso.com)>.

COPETTI, J. B.; MACAGNAN, M. H. Baterias em sistemas solares fotovoltaicos. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar, p. 1–10, 2007.

AYRÃO, V. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Conceitos, Aplicações e Estudos de Caso. **International Copper Association Brazil**, 2018.

BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. **Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental**. [S.l.: s.n.], 2000. V. 11. 3-9p.

BORTOLOTO, V. A. et al. Geração de Energia Solar On Grid e Off Grid. VI Jornada Científica e Tecnológica, p. 6, 2017. Disponível em <http://www.fatecbt.edu.br/ocs/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/viewFile/1069/1234>.

BOWMAN, D. M. et al. Fire in the Earth System. *Science*, v. 324, n. 5926, p. 481-484. 2009. ISSN 00368075.

BORBA, M. C. V.; GASPAR, N. F. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho.** [S.l.: s.n.], 2007. 300 p. ISBN 9789069845319.

DANIEL, P. et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016.

DENHOLM, P. et al. Overgeneration from Solar Energy in California: A Field Guide to the Duck Chart (NREL/TP-6A20-65023). **Technical Report**, n. November, p. 46, 2015. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65453.pdf>.

DOMINGOS, S. F.; MONTEIRO, L. G.; BOAVENTURA, W. d. C. Estado da Arte Para Previsão da Radiação Solar. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS 2018**, p. 11, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/742>.

ELÉTRICO, O. N. d. S. **Atuação ONS no Sistema Elétrico.** 2022. 1-9 p. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-ons/atuacao>.

FERREIRA, J. H.; TAVARES, C. Desenvolvimento, Implementação e Simulação de um Controlador para Sistemas de Armazenamento de Energia com Baterias. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em Engenharia Electrotécnica e de Computadores., único., p. 131, 2015.

GÖNEN, T. Electric Power Distribution System Engineering. [S.l.: s.n.], 2018. V. 94. IFC p. ISSN 01420615.

HIL, S.; REBECHI, R. I. O. O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Conectada ao Sistema de Distribuição Urbano: estudo de caso para um alimentador com pico de carga diurno. 100 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

IDEAS, P. Batteries – Types & working. 2022. 1-12 p.