



UNIARA

Universidade de Araraquara

ADOÇÃO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL ALIADO AO USO DE ENERGIA RENOVÁVEL, COM ÊNFASE EM ARARAQUARA/SP

ADOPTION OF A RESIDENTIAL AUTOMATION SYSTEM ALLIED TO THE USE OF RENEWABLE ENERGY, WITH AN EMPHASIS IN ARARAQUARA/SP

ADOPCIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN RESIDENCIAL ALIADO AL USO DE ENERGÍA RENOVABLE, CON ÉNFASIS EN ARARAQUARA / SP

Ricardo Luis da Silva¹, Melkzedekue de Moraes Alcântra Calabrese Moreira², Fabiana Florian³

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i12.2497>

PUBLICADO: 12/2022

RESUMO

Este artigo analisa o desenvolvimento atual para aumentar o acesso à eletricidade e a implementação de habitações neutras em eletricidade (habitações autônomas não ligadas à rede elétrica) em diferentes cenários. Além disso, possíveis instruções de pesquisa para tecnologias de habitação neutras em eletricidade são apresentadas com mais detalhes. Para isso, um caso de uma possível habitação neutra em eletricidade no Brasil é descrito juntamente com alguns resultados iniciais de simulações usando energia solar fotovoltaica, uma nova bateria de sal marinho e uma célula de combustível de glicerol como um sistema de *backup*. As simulações usam *software* BEopt e DstorageS. Esta análise é realizada utilizando dados medidos sobre o consumo de eletricidade em uma casa localizada na região de Araraquara/SP. Resultados preliminares mostram que uma casa no clima da região pode funcionar com eletricidade neutra, tendo uma energia solar fotovoltaica de 4 kW com uma bateria de sal marinho de 10 kWh e uma célula de combustível glicerol de 2 kW operando de forma autônoma ao longo de 2022.

PALAVRAS-CHAVE: Autonomia casa. Eletricidade Neutra. Fotovoltaica.

ABSTRACT

This article analyzes the current development to increase access to electricity and the implementation of electricity-neutral housing (autonomous housing not connected to the electricity grid) in different scenarios. In addition, possible research directions for electricity-neutral housing technologies are presented in more detail. For this, a case of a possible electricity-neutral housing in Brazil is described along with some initial simulation results using solar photovoltaics, a new sea salt battery and a glycerol fuel cell as a backup system. Simulations use BEopt and DstorageS software. This analysis is carried out using measured data on electricity consumption in a house located in the region of Araraquara/SP. Preliminary results show that a house in the climate of the region can run on neutral electricity, having a 4 kW photovoltaic solar energy with a 10 kWh sea salt battery and a 2 kW glycerol fuel cell operating autonomously throughout 2022.

KEYWORDS: Home autonomy. Neutral Electricity. Photovoltaics.

RESUMEN

Este artículo analiza el desarrollo actual para aumentar el acceso a la electricidad y la implementación de viviendas neutras en electricidad (viviendas autónomas no conectadas a la red eléctrica) en diferentes escenarios. Además, se presentan con más detalle las posibles instrucciones de investigación para las tecnologías de vivienda neutras en electricidad. Para esto, se describe un caso de una posible vivienda neutra en electricidad en Brasil junto con algunos resultados iniciales de simulaciones utilizando energía solar fotovoltaica, una nueva batería de sal marina y una pila de combustible de glicerol como sistema de respaldo. Las simulaciones utilizan el software BEopt y DstorageS. Este análisis se realiza utilizando datos medidos sobre el consumo de electricidad en una casa ubicada en la Región de Araraquara / SP. Los resultados preliminares muestran que una casa en el clima de la región puede funcionar con electricidad neutra, con una energía solar fotovoltaica de

¹ Graduando do Curso de Engenharia elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

² Orientador. Docente Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara - UNIARA. Araraquara-SP.

³ Coorientador. Docente Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara - UNIARA. Araraquara-SP.

4 kW con una batería de sal marina de 10 kWh y una pila de combustible de glicerol de 2 kW que funcione de forma autónoma durante todo 2022.

PALABRAS CLAVE: *Autonomía en el hogar. Electricidad neutra. Fotovoltaico.*

1. INTRODUÇÃO

Para iniciar, as casas eletricamente neutras são casas que têm a opção de não estar conectadas à rede elétrica e podem operar parcialmente de forma autônoma. Esse tipo de habitação pode se tornar um elemento importante na futura infraestrutura elétrica. Por um lado, como o acesso global à eletricidade dentro das habitações é um elemento importante que pode, em muitos casos, melhorar as condições de uma população, habitações neutras em eletricidade podem permitir esse acesso em regiões que não possuem infraestrutura de rede adequada. Além disso, devido às possíveis consequências das mudanças climáticas globais, a grande maioria dos países está fazendo planos para uma introdução maciça de energia renovável, especialmente solar fotovoltaica (PV) e turbinas eólicas. Essa introdução maciça de energia renovável leva, por um lado, à geração de energia local, mas, por outro lado, também a muitos desafios que precisam ser superados (MACEDO, 2011; VILELA, 2010).

Nesse contexto, habitações eletricamente neutras podem ser um elemento que pode apoiar a integração, pois tendem a manter a energia gerada localmente. Esses dois temas levam a duas tendências opostas de desenvolvimento e implementação de habitações neutras em eletricidade; foco de cima para baixo e foco de baixo para cima. A abordagem de cima para baixo refere-se a países que atualmente já possuem uma conexão estável com a rede elétrica e querem introduzir mais energia renovável no sistema existente. Isso se aplica aos países desenvolvidos, mas também às principais cidades da maioria dos países em desenvolvimento (uma conexão estável refere-se a uma conexão de rede com uma falta de energia inferior a 300 minutos/ano) (ALMEIDA *et al.*, 2017).

No entanto, há também regiões onde a rede elétrica não existe ou existe, mas não é estável ou confiável. Por exemplo, nos países africanos subsaarianos, estão sendo implementadas soluções atuais para conectar mais cidades e áreas rurais à rede principal. No entanto, nesta parte da África, é preciso muito investimento e muita infraestrutura para fazer essa conexão. Considerando as tendências econômicas locais atuais nessas áreas, parece que não há possibilidades suficientes para aumentar o acesso à eletricidade dessa forma. Além disso, políticas ambientais e dados de prestadores de serviços públicos mostram que também há uma tendência nessas regiões para a introdução de uma quantidade considerável de energia renovável, como energia solar fotovoltaica e turbinas eólicas, entre outras (ALMEIDA *et al.*, 2017).

Em particular, a Solar PV é uma tecnologia flexível e fácil de usar que fornece eletricidade no local sem a necessidade de infraestrutura elétrica complexa. Aqui, uma abordagem de baixo para cima pode ser usada para a implementação de uma habitação 100% neutra, o que significa que habitações eletricamente neutras podem ser implementadas usando energia solar fotovoltaica e baterias de ácido chumbo. Portanto, essas habitações neutras em eletricidade também podem ser vistas como formas inovadoras de rápida implementação de energia renovável. Exemplos desses desenvolvimentos são sistemas que combinam sistemas solares fotovoltaicos, baterias e televisão na

Tanzânia e no Quênia; nessas casas, os aplicativos de tarifa móvel são usados para definir preços, permitindo que os usuários paguem por sua eletricidade (MATAVELLI, 2013).

Ambos os casos, a abordagem de cima para baixo e de baixo para cima, mostram que há uma tendência para a implementação de soluções onde casas ou grupos habitacionais produzem uma grande parte de sua eletricidade para uso próprio, com a tendência de criar soluções 100% neutras em eletricidade, pelo menos durante grande parte do tempo. Além disso, em todos esses casos, o armazenamento de eletricidade é considerado um ativo importante (ALMEIDA *et al.*, 2017).

O objetivo deste documento é rever alguns avanços no acesso à eletricidade no mundo e a implementação de moradias neutras em eletricidade em diferentes cenários. Uma visão geral dos diferentes esforços para criar casas eletricamente neutras é apresentada considerando tanto a abordagem de cima para baixo quanto de baixo para cima. Além disso, é apresentado um estudo de caso de uma casa com eletricidade neutra na região de Araraquara/SP.

Este artigo é organizado da seguinte forma: Na segunda parte, é apresentada uma breve descrição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas e como eles estão conectados ao acesso à eletricidade. Na terceira parte, explicam-se os diferentes tipos de soluções com eletricidade neutra. Na quarta parte, é apresentada a possível configuração para uma moradia com eletricidade neutra; na quinta parte, os resultados de um estudo de caso de uma habitação eletricamente neutra usando dados de uma verdadeira moradia no contexto brasileiro. Finalmente, algumas conclusões são tiradas na parte seis.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 METAS DE SUSTENTABILIDADE DAS NAÇÕES UNIDAS PARA 2030 COM FOCO NO OBJETIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O acesso global à eletricidade é necessário para reduzir a pobreza, pois sem eletricidade, o desenvolvimento dos países tende a ser lento e complicado. Atualmente, há um progresso econômico considerável em termos de infraestrutura energética. No entanto, esse crescimento não é rápido o suficiente e, portanto, foram definidos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (ONU) (ONU, 2016).

Os ODS têm 17 temas principais que fazem parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável adotada em setembro de 2015. Na agenda de 2030, os países concordaram em criar um conjunto de metas para acabar com a pobreza, proteger o planeta e garantir prosperidade para todos como parte de um novo desenvolvimento sustentável. Cada um dos objetivos tem objetivos específicos que serão alcançados nos próximos anos (ONU, 2016).

Para alcançar esses objetivos, todos os atores relevantes devem estar envolvidos: governos, setor privado, sociedade civil e indivíduos. Os ODS são distintos porque incluem as contribuições de todos os países, independentemente de seu status social (alta, média ou baixa renda). As metas mostram que o fim da pobreza é um processo combinado com métodos e estratégias para atender às necessidades sociais que promovem o crescimento econômico e, ao mesmo tempo, proteger o meio ambiente e as mudanças climáticas (MORAIS, 2019).

No caso da energia, o Banco Mundial estima que um bilhão de pessoas (aproximadamente 13% da população mundial a partir de 2017) vivem sem acesso à eletricidade, e cerca de 40% das pessoas no mundo cozinham com combustíveis fósseis em condições poluentes. Essa situação diminui sua saúde e qualidade de vida e, portanto, a ONU criou acesso universal à eletrificação e ao uso de tecnologias limpas nas metas energéticas dos ODS, com a intenção de alcançá-lo até 2030 (MORAIS, 2019).

Um dos 17 ODS é o Energy (ODS 7), que não só abrange questões relacionadas ao acesso limitado à eletricidade, mas também envolve uma estrutura mais global. O ODS 7 tem três pontos principais de ação (MORAIS, 2019):

- Acesso a serviços de energia universais e modernos;
- Dobrar a melhoria na eficiência energética;
- O dobro da participação das renováveis na produção global de energia.

Esses três pontos de ação foram mencionados pela primeira vez em 2011 pela iniciativa Energia Sustentável para Todos SEforAll e foram adaptados/incluídos nas metas do ODS 7. Em detalhes, o ODS 7 visa as seguintes metas até 2030 (MORAIS, 2019):

- Garantir acesso universal a serviços de energia acessíveis, confiáveis e modernos;
- Aumentar substancialmente a participação das renováveis no mix energético global;
- dobrar a taxa global de melhoria na eficiência energética;
- Melhorar a cooperação internacional para facilitar o acesso ao desenvolvimento de energia limpa e tecnologia, incluindo energia renovável, eficiência energética e tecnologia avançada e mais limpa de combustíveis fósseis, e promover investimentos em infraestrutura energética e tecnologia de energia limpa;
- Expandir a infraestrutura e atualizar a tecnologia para fornecer serviços energéticos modernos e sustentáveis para todos os países em desenvolvimento, em particular os países menos desenvolvidos, os Estados em desenvolvimento de pequenas ilhas e os países em desenvolvimento, de acordo com seus respectivos programas de apoio.

Esses cinco objetivos indicam as áreas em que as políticas devem ser desenvolvidas como: aumentar a participação de energias renováveis no cenário energético global e também melhorar a taxa de implementação de tecnologias de eficiência energética. No entanto, o ODS 7 Energy está interligado com os outros 16 ODS, e está ligado a 125 das 169 metas específicas do ODS, que respondem por quase 74% das metas totais. Hoje, é reconhecido globalmente que o planejamento para o acesso universal à eletricidade moderna é um dos principais objetivos do plano nacional de desenvolvimento dos países e dos ODS (MORAIS, 2019).

Estudos do Banco Mundial sobre apagões ou paralisações de energia indicam que a perda de eletricidade leva a uma perda de valor econômico nas comunidades. Por exemplo, na Tanzânia durante 2012, os apagões custam às empresas cerca de 15% de suas vendas anuais. Além disso, quando a eletricidade está estável e disponível, isso gera mais renda, trabalho e educação para as pessoas das comunidades. Além disso, quando a eletricidade moderna não está disponível, isso cria

restrições ao crescimento econômico, mas quando está estável e disponível, aumenta o crescimento e as oportunidades de emprego (MORAIS, 2019).

2.2 ELETRICIDADE NEUTRA

Uma maneira alternativa de ampliar os sistemas elétricos e aumentar o acesso à eletricidade é usando eletrificação neutra. Eletricidade neutra significa que redes menores são configuradas que não estão conectadas à rede principal. Em princípio, existem três abordagens para a eletrificação neutra: sistemas de mini-grade, micro-grade e nano-grade. São divididos da seguinte forma (ALMEIDA et al., 2017):

- Uma mini-grade geralmente opera com menos de 10 MW de capacidade instalada, e cobre uma área de cerca de 50 km². Esses sistemas são geralmente usados em comunidades e às vezes têm uma conexão restrita à rede nacional que não é muito confiável. No entanto, em muitos casos, eles operam em locais isolados, onde uma grande demanda deve ser atendida durante o dia ao longo do ano;
- Uma micro-grade é distinguida de uma mini-grade principalmente pelo seu tamanho. Opera com menos de 100 kW de capacidade e opera em um nível de baixa tensão cobrindo áreas de cerca de 3 km² a 8 km²;
- Nano-grades (por exemplo, habitação eletricamente neutra) são geralmente usadas em comunidades remotas. Eles podem ser implantados rapidamente e são usados quando uma mini-grade ou micro-grade ainda está em processo de implantação. Sistemas nano-grade são usados principalmente para habitações individuais, mas possivelmente se estendem a aproximadamente 1000 pessoas.

Uma nova alternativa para habitações neutras em eletricidade surge, quando essas habitações ainda estão fracamente conectadas à rede principal. Neste caso, habitações (edifícios ou indústrias) podem ser usadas na rede como ativos flexíveis, e podem ser temporariamente desconectadas. Por exemplo, uma casa pode ficar offline em momentos em que o consumo de eletricidade na rede é muito alto; essa abordagem pode ser usada para reduzir picos na rede principal (ALMEIDA et al., 2017).

As Mini-redes e micro-redes são geralmente alimentadas por combustíveis fósseis. Os geradores a diesel são a opção típica, no entanto, algumas novas tecnologias já foram testadas e implementadas, como células de combustível e fontes de energia renovável (por exemplo, solar fotovoltaica, turbinas eólicas etc.) combinadas com baterias. No caso ideal, uma mini/micro-rede ecológica consiste em fontes, armazenamento e um sistema de backup baseado em energia renovável. Quando as mini/micro redes são devidamente projetadas e configuradas, elas podem ser mais eficientes e econômicas do que uma rede centralizada (MACEDO, 2011).

É por isso que a energia do gerador a diesel e pequenas redes hidrelétricas foram implementadas no passado. Um exemplo desse tipo está na Indonésia, onde cerca de 6.000 pessoas nas ilhas usam geradores diesel e pequenas usinas hidrelétricas para cobrir suas necessidades de eletricidade (MACEDO, 2011).

Hoje, os sistemas solares fotovoltaicos começam a assumir o controle do mercado de geradores a diesel para reduzir o consumo de diesel, o que geralmente é caro nessas áreas. Outro caso é nas Maldivas, onde grande parte da população usa geradores a diesel em uma estrutura de mini-rede para cobrir as necessidades de hotéis e algumas casas ao redor do hotel. Atualmente, há uma transição nas Maldivas para soluções de energia 100% renovável, e os primeiros passos foram dados pela fabricação de solares híbridos fotovoltaica e usinas a diesel (MACEDO, 2011).

Em particular, quando as comunidades estão longe das cidades, uma solução nano-grade pode ser usada. Neste caso, um sistema nano-grid pode ser implantado mais rápido e com menos complexidade do que uma mini ou micro-grade, que também tem uma conexão com a grade principal. Nos países em desenvolvimento, são utilizados pequenos sistemas solares fotovoltaicos (chamados de sistemas solares "nano"), que produzem alguns watts de energia solar fotovoltaica de até 1 kW e fornecem essa eletricidade para iluminar e carregar telefones celulares. Além disso, esses sistemas são usados para alimentar pequenas bombas de água e outros sistemas com baixo consumo de energia. Essas soluções de nano-grade são geralmente combinadas com baterias, e fornecem uma solução simples de fornecimento de eletricidade em situações em que a rede não está presente ou estável. Além disso, o custo da Energia Solar Fotovoltaica diminuiu rapidamente nos últimos anos, devido ao aumento do volume de mercado, e espera-se que continue a diminuir (ALMEIDA *et al.*, 2017).

O relatório sobre tendências de mercado neutro solar mostra que os produtos solares fotovoltaicos crescerão de US\$ 700 milhões em 2018 para cerca de US\$ 2,4 bilhões em 2024. Este relatório também estima que aproximadamente uma em cada três casas neutras em eletricidade usará energia solar fotovoltaica na rede até 2021. Embora o mercado de soluções de eletricidade neutra esteja aumentando consideravelmente, ainda não há incentivos e estratégias suficientes para acelerar a implementação de sistemas de eletricidade neutros, a fim de atingir as metas de ODS para acesso à eletricidade em 2030 (ONU, 2016).

A próxima seção se concentra em habitação autônoma ou nano-grade, pois este estudo e a literatura mencionada nas seções anteriores podem mostrar que as habitações nano-grade podem ser um ativo importante para os sistemas elétricos do futuro. No entanto, a criação de uma moradia 100% independente continua sendo uma tarefa que, na medida desta pesquisa, não foi totalmente alcançada. A habitação neutra em eletricidade é economicamente interessante se tiver um fornecimento de eletricidade durante todo o ano sem falta, com tecnologia acessível que pode possivelmente competir com a rede elétrica convencional.

2.3 EXEMPLO DE UM SISTEMA DE NANORREDE

As nanorredes, ou redes autônomas, estão se tornando um ativo importante que pode aumentar o acesso à eletricidade nas áreas rurais. Tal sistema com eletricidade neutra usa vários tipos de fontes de eletricidade renováveis. Eles são comumente encontrados em combinação com baterias e um sistema de energia de backup para evitar quedas de energia (ALMEIDA *et al.*, 2017). A Figura 1 ilustra uma configuração comum para uma habitação neutra em eletricidade, tendo em conta a necessidade de eletricidade para aquecimento, eletrodomésticos, produção de água e tratamento

de águas residuais. Esta nanorrede ou carcaça com eletricidade neutra tem os seguintes componentes principais:

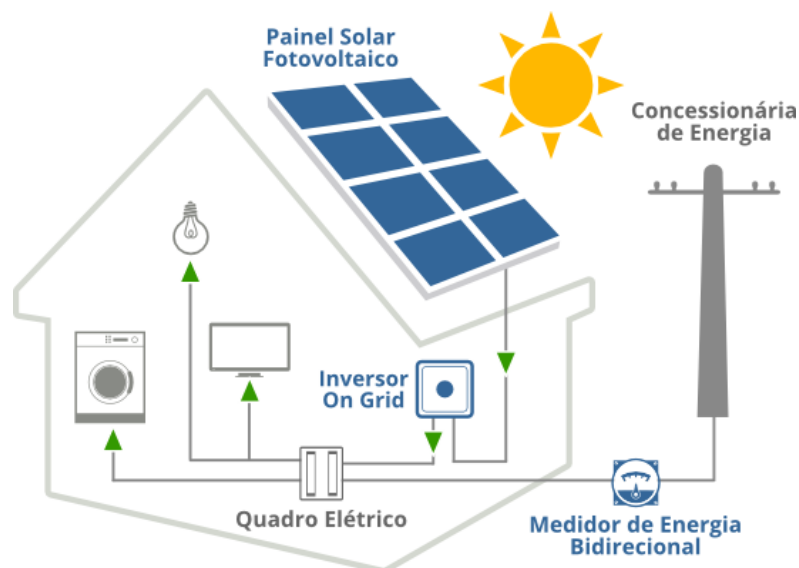


Figura 1. Configuração de uma casa neutra
Fonte: ALMEIDA *et al.*, 2017.

- Geração de eletricidade: turbinas solares fotovoltaicas ou eólicas;
- Armazenamento de energia: geralmente baterias de chumbo-ácido, íons de lítio ou NiMH para residências neutras em eletricidade;
- Unidades de reserva: um gerador ou célula de combustível, uma cogeração (combinar calor e energia) baseada em fontes renováveis (por exemplo, biogás ou *pellets* de madeira) ou pequenas centrais de biodiesel;
- Uma ligação a uma linha de rede, se presente, que só é incluída para absorver o excedente de eletricidade;
- Dispositivos em uma casa que consomem a maior parte da eletricidade; neste caso, aparelhos padrão, uma unidade de limpeza de água, uma estação de tratamento de águas residuais, gerenciamento de resíduos sólidos e unidades de aquecimento e resfriamento.

A combinação dessas diferentes tecnologias de geração pode fornecer toda a eletricidade necessária para uma casa operar diariamente durante todo o ano. No entanto, na prática, ainda não está disponível uma solução tecnológica rentável e eficiente que possa ser integrada em diferentes cenários. Existem apenas alguns casos de habitação neutra em eletricidade no mundo, de modo que essas abordagens estão relacionadas a pequenas casas neutras em eletricidade ou moradias compactas, como no sul do País de Gales e na Itália.

Estas abordagens mostram que as tecnologias atuais são, em princípio, capazes de fornecer a eletricidade necessária para uma habitação neutra em termos de eletricidade; No entanto, um fornecimento de eletricidade rentável durante todo o ano para toda a energia necessária em uma casa continua a ser um grande desafio.

2.4. ESTUDO DE CASO DE UMA CASA NEUTRA EM ELETRICIDADE EM ARARAQUARA

Nesta seção, um estudo de caso para uma casa neutra em eletricidade é apresentado. O objetivo deste estudo foi demonstrar que é tecnicamente viável desenvolver uma moradia neutra. A economia da habitação neutra em eletricidade está além do escopo deste artigo.

A Figura 2 mostra a configuração de uma casa neutra em eletricidade usando novas tecnologias sustentáveis de armazenamento de energia no Brasil. A maioria dessas tecnologias é produzida na Holanda (a bateria de sal marinho e a célula de combustível de glicerol). O desenvolvimento deste caso é feito para observar se o consumo de energia em uma casa em Araraquara/SP pode ser suprido por energias renováveis e sistemas de armazenamento.

Em geral, a configuração usa várias tecnologias para gerar a eletricidade necessária para uma casa. Para conseguir isso, a energia solar fotovoltaica é usada em conjunto com uma bateria.

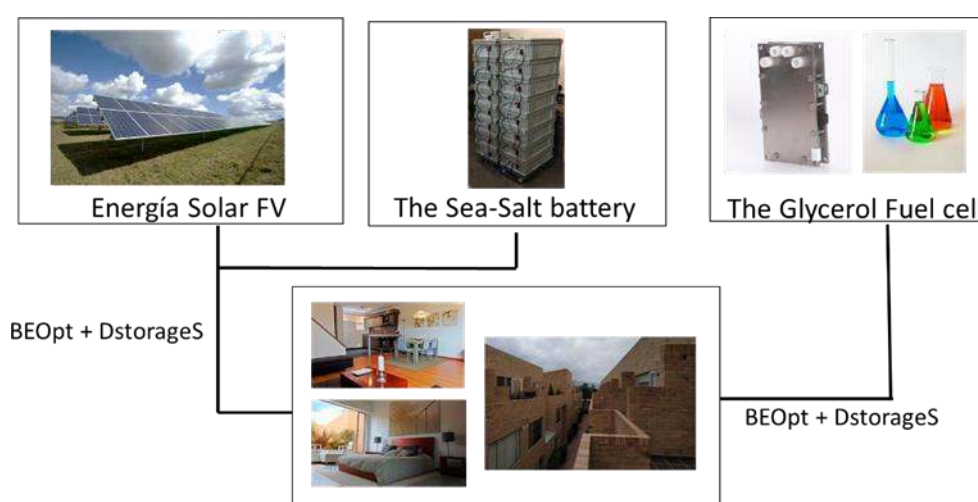


Figura 2. Protótipo de uma casa neutra em eletricidade em Araraquara.
Fonte: Vilela (2010).

Durante o dia, a energia solar fotovoltaica fornece eletricidade e durante a noite ou durante a baixa irradiação solar, a bateria é usada como o principal fornecedor de eletricidade. Além disso, uma célula de combustível é usada como uma unidade de energia de backup. A célula de combustível só é usada quando a energia solar fotovoltaica e a bateria não são capazes de atender à demanda de eletricidade (VILELA, 2010).

Abaixo está uma descrição mais detalhada das tecnologias para esta configuração de habitação neutra em eletricidade:

a. Solar PV

Vários tipos de painéis solares fotovoltaicos comerciais podem ser usados para casas neutras em eletricidade. Os dados de produção de energia solar fotovoltaica podem ser encontrados de diferentes fontes; ver Pecan Street, nos EUA, em dados da empresa de eletricidade Enel – São Paulo, ou em dados recolhidos a partir de medições de registradores de produção/consumo de eletricidade (VILELA, 2010).

b. A bateria Sea-Salt

Esta bateria é um novo sistema de armazenamento de energia baseado em grafite de carbono e com um eletrólito feito de sal marinho e aditivos. A bateria está atualmente sendo testada na Holanda, Estados Unidos, Bélgica e Israel, e espera-se que esteja no mercado a partir de 2025. Esta bateria já foi usada em pesquisas para uso em redes inteligentes. Em termos de custo, a bateria é feita de materiais abundantemente disponíveis, e o custo esperado para 2025 é de 100 a 300 euros/kWh. O produtor afirma que a bateria é capaz de 10.000 ciclos de eletricidade com baixos sinais de degradação (ALMEIDA et al., 2017).

c. A célula de combustível de glicerol

A célula de combustível de glicerol é um sistema eletroquímico que é capaz de transformar glicerol diretamente em eletricidade usando um catalisador de baixo custo. O glicerol é um subproduto (produto residual) da produção de biodiesel. Esta tecnologia foi previamente pesquisada por um dos autores deste artigo. Atualmente, o sistema está em desenvolvimento e espera-se que esteja no mercado até 2025 (MATAVELLI, 2013).

d. BEopt e DstorageS

BEopt é um pacote de simulação de eletricidade doméstica desenvolvido nos EUA pelo departamento de infraestrutura e *DstorageS* é uma ferramenta para gerenciamento descentralizado de energia derivada do *DEMKit*, uma ferramenta desenvolvida na Universidade de Twente, na Holanda (MATAVELLI, 2013).

e. O DEMKit e o DstorageS

Eles usam simulações dinâmicas discretas de séries temporais, usando uma abordagem de modelagem de baixo para cima. Uma biblioteca com componentes de dispositivo, grade e controle está disponível na ferramenta. Já os componentes genéricos do dispositivo estão disponíveis para modelar o comportamento de um dispositivo e suas restrições operacionais, como a capacidade da bateria. Os algoritmos de controle anexados podem ser usados para otimizar a operação dos dispositivos, levando em consideração as restrições dadas (VILELA, 2010).

Os dispositivos fornecidos podem ser conectados a um modelo de rede física, de modo que seja possível avaliar os efeitos das ações de controle sobre a energia fornecida e a qualidade da energia (a bateria de sal marinho e a célula de combustível de glicerol são sistemas criados pela empresa Dr. Ten BV como parte de sua pesquisa em andamento sobre tecnologias de armazenamento de energia sustentável) (MATAVELLI, 2013).

Com BEopt e DstorageS, avaliou-se o desempenho de uma casa neutra em eletricidade, equipada com energia solar fotovoltaica, uma bateria de sal marinho e uma célula de combustível de glicerol. Além disso, as simulações podem ser usadas para determinar os parâmetros adequados de aparelhos, como o tamanho dos painéis fotovoltaicos, a capacidade de armazenamento da bateria e a célula de combustível, para que a casa possa ser usada fora da rede por um ano inteiro.

O consumo de eletricidade utilizado para esta simulação (ver linha preta na Figura 3) foi registrado em uma casa em Araraquara/SP composta por 4 moradores. A casa está equipada com eletrodomésticos normais (geladeira, micro-ondas, TV, máquinas de lavar roupa).

3. METODOLOGIA

O trabalho se trata de uma pesquisa qualitativa, que aponta o desempenho de uma casa neutra sustentada por placas fotovoltaicas na cidade de Araraquara/SP no período de abril – setembro/2022 por meio de simulações no Storage Simulator. Com BEopt e DstorageS, avaliou-se o desempenho de uma casa neutra em eletricidade, equipada com energia solar fotovoltaica, uma bateria de sal marinho e uma célula de combustível de glicerol. Além disso, as simulações podem ser usadas para determinar os parâmetros adequados de aparelhos, como o tamanho dos painéis fotovoltaicos, a capacidade de armazenamento da bateria e a célula de combustível, para que a casa possa ser usada fora da rede por um ano inteiro.

O objetivo das simulações com DstorageD foi investigar se o consumo da casa poderia ser coberto por energia solar fotovoltaica, bateria e unidade de backup. Para armazenamento, a bateria de sal marinho foi usada como um dispositivo ideal, o que significa que a bateria pode ser 100% descarregada. Ao contrário das baterias de íons de lítio, a bateria de sal marinho pode suportar 100% de descarga sem danos. A célula de combustível de glicerol é considerada como uma unidade de reserva, apenas para ser usada quando a bateria de sal marinho e a energia solar fotovoltaica não são capazes de fornecer a eletricidade necessária para a habitação.

No DstorageS, a célula de combustível de glicerol é programada para iniciar quando a bateria está abaixo de 20% da capacidade. Os resultados preliminares com BEopt e DstorageD para uma casa neutra em eletricidade no Brasil com energia solar fotovoltaica, a bateria de sal marinho e uma célula de combustível de glicerol, com perfis de energia de uma semana durante abril de 2022, são apresentados na Figura 3.

O consumo da habitação (linha preta) e os perfis solares fotovoltaicos (linha amarela) foram fornecidos pelos moradores da habitação e também modelados através do programa BEopt e a análise do tamanho das baterias de sal marinho e da célula de combustível de glicerol foram modeladas com DstorageS.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 3 mostra os dados de consumo de eletricidade, produção de energia solar fotovoltaica, bateria simulada de sal marinho e produção de célula de combustível de glicerol de backup durante a primeira semana de abril de 2019. Observou-se em detalhes que o perfil geral da energia solar fotovoltaica foi constante durante os dias e uma saída máxima de eletricidade de 2,6 kW foi observada. Por outro lado, o consumo de habitação apresentou um valor máximo de 0,8 kW durante a primeira semana de abril de 2022.

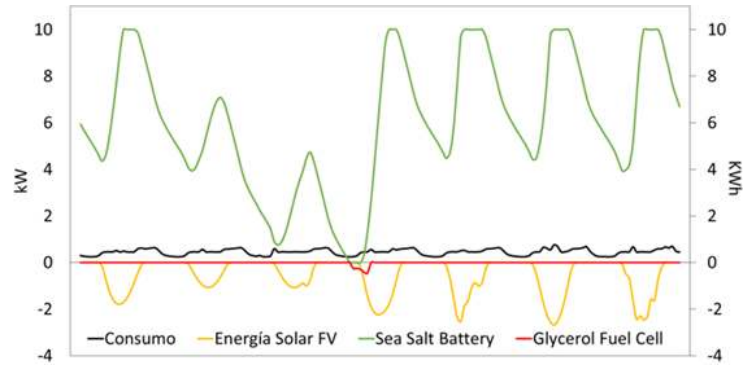


Figura 3. BEopt e DstorageS resultados do consumo de uma casa neutra em eletricidade em Araçatuba com energia solar fotovoltaica, uma bateria de sal marinho e uma célula de combustível de glicerol durante a primeira semana de abril de 2022.

Fonte: O autor (2022), com base em Arlet *et al.* (2018).

A Figura 3 também mostra que a bateria de sal marinho armazenou o excedente de eletricidade que veio da energia solar fotovoltaica durante o dia. Além disso, a bateria de sal marinho é normalmente descarregada durante a tarde e a noite (a bateria modelada tem um tamanho de 10 kWh). Além disso, durante a noite, observou-se que a bateria de sal marinho nem sempre cobria o consumo necessário. Em tais situações, a célula de combustível de glicerol de 2 kW (linha vermelha) cobria essa demanda e estava ativa até que a energia solar fotovoltaica cobrisse a demanda da casa no dia seguinte.

A Figura 4 mostra dados para o consumo de eletricidade, produção de energia solar fotovoltaica e simulação do conteúdo de eletricidade correspondente da bateria de sal marinho com a célula de combustível de glicerol por uma semana em junho de 2022. Em detalhe, observou-se que o perfil da energia solar fotovoltaica se manteve constante durante esta semana e a produção máxima de eletricidade foi de 2,8 kW.

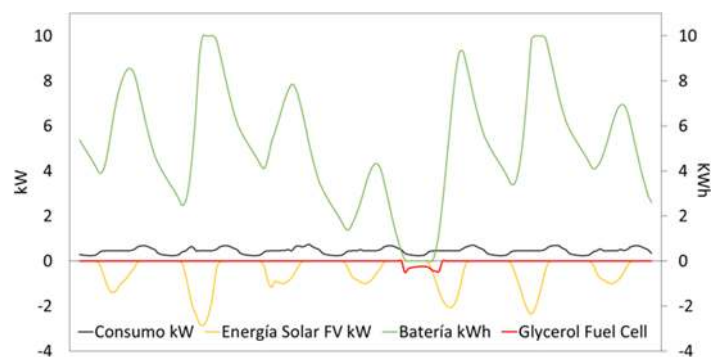


Figura 4. Resultados BEopt e DstorageS do consumo de uma casa neutra em eletricidade com energia solar fotovoltaica, uma bateria de sal marinho e uma célula de combustível de glicerol durante a primeira semana de junho de 2022.

Fonte: O autor (2022), com base em Arlet *et al.* (2018).

Por outro lado, o consumo de habitação apresenta um valor máximo de 0,75 kW durante a semana de novembro de 2019, o que é inferior ao consumo na semana de junho de 2019 (0,8 kW). Além disso, observou-se que a bateria de sal marinho armazenava o excedente de eletricidade que vinha da energia solar fotovoltaica durante o dia. Além disso, a bateria de sal marinho de 10kWh era normalmente descarregada durante a tarde e a noite, e isso ocorria durante períodos semelhantes ao

mês de abril. Da mesma forma, durante a noite, observou-se que a bateria de sal marinho nem sempre cobria o consumo necessário. Em tais situações, uma célula de combustível de glicerol de 2 kW (linha vermelha) cobria essa demanda e estava ativa até que a energia solar fotovoltaica cobrisse a demanda da casa no dia seguinte.

Para resumir, observou-se que uma casa no palco apresentada no estudo foi capaz de se desconectar da rede por ter um sistema solar fotovoltaico de 4 kW com uma bateria de sal marinho de 10 kWh e uma célula de combustível de glicerol de 2 kW durante as semanas acima mencionadas de abril e novembro de 2019.

Os resultados acima são suportados por simulações criadas por períodos de tempo mais longos, como mostra a Figura 5. A simulação é apresentada ao longo de um período de 12 meses, de janeiro a dezembro de 2019. Observa-se que os resultados suportam a simulação realizada para as semanas de abril e novembro (ver Figuras 3 e 4). No entanto, deve-se notar que durante os meses de janeiro, março, abril, novembro e dezembro, a célula de combustível de glicerol é usada com mais frequência do que durante o resto dos meses. Isso poderia ter sido esperado, com base nas diferenças climáticas bimodais na área.

Figura 5. BEopt e DstorageS resultados do consumo de uma casa neutra em eletricidade com energia solar fotovoltaica, uma bateria de sal marinho e uma célula de combustível de glicerol durante o ano de 2022 (até setembro).

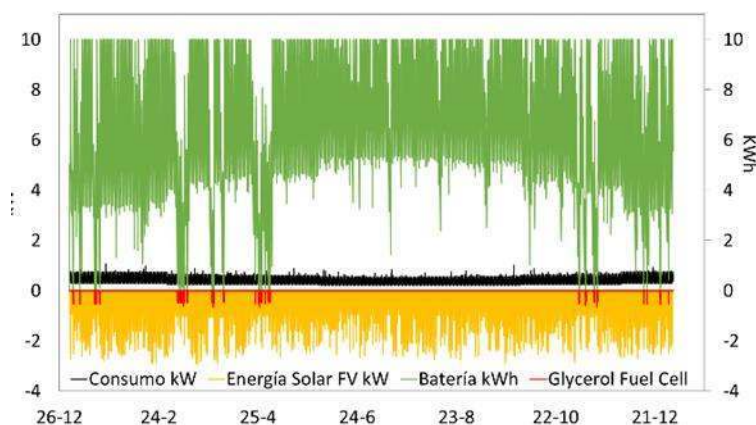


Figura 5. BEopt e DstorageS resultados do consumo de uma casa neutra em eletricidade com energia solar fotovoltaica, uma bateria de sal marinho e uma célula de combustível de glicerol durante o ano de 2022 (até setembro).

Fonte: O autor (2022), com base em Arlet *et al.* (2018).

5. CONCLUSÕES

Casas neutras em eletricidade podem ser um ativo importante para a rede elétrica; por um lado, aumentar o acesso à eletricidade no mundo e, por outro lado, permitir uma melhor integração das fontes de energia renováveis no sistema energético. Iniciativas para melhorar o acesso à eletricidade são abundantes, mas a taxa de implementação de soluções práticas está bem abaixo do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 Energia das Nações Unidas (ODS 7) até 2030.

Este problema foi encontrado para ser mais evidente na África Subsaariana, onde as tendências atuais no acesso à eletricidade calculadas pelo Banco Mundial indicam que eles não serão capazes de alcançar o ODS 7 até 2030. Por outro lado, a atual introdução global de energia renovável no nível da habitação leva a um desequilíbrio da eletricidade.

Em termos de equilíbrio entre consumo/geração, que no futuro poderá provocar escassez de eletricidade em alguns períodos do ano. Surpreendentemente, a implementação da geração de energia renovável usando a abordagem ascendente de habitação neutra em eletricidade está acontecendo a um ritmo mais rápido nos países em desenvolvimento do que nos desenvolvidos.

Neste artigo, foi demonstrado que, para um estudo de caso de Araraquara/SP, a abordagem de baixo para cima da habitação neutra em eletricidade pode ter o potencial de criar uma solução possivelmente mais eficaz no futuro para aumentar a geração renovável. A abordagem integra o uso de uma nova tecnologia de bateria (bateria de sal marinho), uma célula de combustível (célula de combustível de glicerol) e um sistema inteligente de gerenciamento de energia descentralizado (DstorageS). Observou-se que uma casa localizada na cidade de Araraquara/SP pode ser desconectada da rede, tendo uma energia solar fotovoltaica de 4 kW com uma bateria de sal marinho de 10 kWh e uma célula de combustível de glicerol de 2 kW operando durante todo o ano.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. T. *et. al.* Análise de Viabilidade para Implantação do Sistema de Energia Solar Residencial. **e-xacta**, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p. 117-136, 2017. Disponível em: www.unibh.br/revistas/exacta/. Acesso em: 20 set. 2022.

ARLET, J. *et. al.* Power Outages and Firm Performance: A Comparative Analysis. **Electricity Tariffs**, 2018. Disponível em: <http://pubdocs.worldbank.org/en/444681490076354657/Electricity-Tariffs-Power-Outages-and-Firm-Performance.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2022.

MACEDO. W. N. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2011. 183f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MATAVELLI, A. C. **Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas**. 2013. 34f. Monografia (Engenheiro Químico) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, SP, 2013.

MORAIS, José Mauro de. **Caderno ODS 7: assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos**. Brasília: Ipea, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/2PUeWPL>. Acesso em: 12 set. 2022.

ONU. **A Agenda 2030**. Organização das Nações Unidas Brasil, 2016. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 19 set. 2022.

VILELA, O. C. **Caracterização, simulação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água**. 2010. Tese (Doutorado) - Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.