

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ARIANE BORGES FALLEIROS PINI

INTEGRAÇÃO ESTRATÉGICA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA E AUTOMAÇÃO:
Um Estudo de Caso para Eficiência Energética em Residências Inteligentes.

CURITIBA

2024

ARIANE BORGES FALLEIROS PINI

INTEGRAÇÃO ESTRATÉGICA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA E AUTOMAÇÃO:
Um Estudo de Caso para Eficiência Energética em Residências Inteligentes.

TCC apresentada ao curso de Pós-Graduação no Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em MBA Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Thiago José da Luz

CURITIBA
2024

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar a integração entre a produção de energia fotovoltaica e a utilização do sistema de automação projetada para uso residencial. Os dados desse estudo foram obtidos por meio do software Homebridge, gerenciado pelo Apple HomeKit, que permitiu a coleta de informações sobre a geração de energia e os índices de consumo diários monitorados nos meses de dezembro de 2023 à fevereiro de 2024 (três meses). Com base nessas informações, os primeiros dados mostraram uma porcentagem de 26% de autoconsumo. A partir desses valores, foram elaboradas ações para melhorar e aprimorar a eficiência energética, utilizando essas duas tecnologias, onde foi verificado a eficácia de práticas sustentáveis em residências de pequeno porte. Os resultados das ações implementadas demonstrou um aumento de 103.85% nos índices de autoconsumo. Esse aumento mostra que as estratégias adotadas são importantes para maximizar a eficiência e promover uma maior autonomia energética residencial.

Palavras-chave: Eficiência Energética; Autoprodução Fotovoltaica; Automação Residencial; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study aims to analyze the integration between photovoltaic energy production and the utilization of automation systems designed for residential use. The data for this study were obtained through the Homebridge software, managed by Apple HomeKit, which allowed the collection of information on energy generation and daily consumption rates monitored from December 2023 to February 2024 (three months). Based on this information, the initial data showed a 26% self-consumption rate. From these values, actions were developed to improve and enhance energy efficiency using these two technologies, where the effectiveness of sustainable practices in small residential homes was verified. The results of the implemented actions demonstrated a 103.85% increase in self-consumption rates. This increase shows that the adopted strategies are important for maximizing efficiency and promoting greater residential energy autonomy.

Keywords: Energy Efficiency; Photovoltaic Self-Production; Home Automation; Sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.2 JUSTIFICATIVA	7
1.3 OBJETIVO	7
1.4 OBJETIVO ESPECÍFICO	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1 CONTEXTO DA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	8
2.2 A SIMULTANEIDADE DA CURVA DE CONSUMO	10
2.3 GERAÇÃO SOLAR	11
3 METODOLOGIA	13
3.1 COLETA DE DADOS	15
3.2 APRESENTAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO	16
3.3 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS	17
3.4 DESENVOLVIMENTO DE HIPÓTESES	18
3.5 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS	18
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	19
4.1 TESTE DA HIPÓTESE 1	20
4.2 TESTE DA HIPÓTESE 2	20
4.3 TESTE DA HIPÓTESE 3	21
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
6 REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

A utilização de novas tecnologias em pequenas residências, é uma estratégia essencial para atingir ambientes mais ecoeficientes. Uma estratégia eficaz para diminuir a dependência de fontes de energia não renováveis e contribuir para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é o uso de energias naturais renováveis. A produção de eletricidade a partir de luz solar por sistemas fotovoltaicos oferece inúmeros benefícios que colaboram com a redução das emissões de GEE e contribuem para a diminuição da dependência de fontes de energia não renováveis (Rüther et al., 2005).

Assim como as novas tecnologias, os projetos arquitetônicos devem estar alinhados às novas necessidades e mudanças. Ao alinhar a esses objetivos, é possível criar espaços que não apenas atendam às necessidades presentes, mas também proteger e promover o bem-estar das gerações futuras. Pode-se citar como exemplo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), adotados pelas Nações Unidas em 2015 (ONU BRASIL, 2024). Boni e Meira (2024), afirmam que é crucial promover um ambiente construído que seja não apenas funcional e estético, mas também social e ambientalmente responsável. Projetar edifícios energeticamente eficientes (Objetivo 7 - Energia Limpa e Acessível) pode contribuir para reduzir as emissões de GEE (Objetivo 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima) e promover cidades sustentáveis (Objetivo 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis).

Ao demonstrar como é possível projetar espaços que atendam às necessidades humanas sem comprometer o meio ambiente, esses projetos podem servir como exemplos inspiradores para outros profissionais e comunidades. O Projeto Casa Eficiente, uma parceria entre a CGT Eletrosul, o LABEEE (UFSC) e a Eletrobras (Procel), localizado em Florianópolis, SC, é um exemplo bem-sucedido no Brasil. A casa tem como objetivo demonstrar tecnologias que promovem a eficiência energética e o conforto ambiental em residências. Sistemas como energia solar fotovoltaica, estratégias passivas de climatização, aquecimento solar de água e uso eficiente da água são integrados na Casa Eficiente. O local abriga o Laboratório de Monitoramento Ambiental e Eficiência Energética (LMBEE) da UFSC, que realiza pesquisas e ensino em construção civil, além de ser uma vitrine de tecnologia (Projeto Casa Eficiente, 2024).

Em Curitiba está localizada a casa mais sustentável do Brasil, segundo Evelyn Nogueira (CASA, 2017). Essa casa recebeu a classificação platina do Green Building Council. A residência seguiu rigorosos padrões do conselho e foi planejada para minimizar o impacto ambiental. Para garantir conforto térmico e eficiência energética, foram adotados métodos de construção que utilizam recursos naturais, como ventilação cruzada e painéis fotovoltaicos. Isso a torna autossuficiente em energia, produzindo-a de forma limpa e renovável. Além disso, um sistema sofisticado de filtragem de água foi instalado para maximizar o uso da água da chuva para fins de irrigação e limpeza.

No Reino Unido, uma residência conquistou o título de mais energeticamente eficiente do país e ganhou o prêmio Swig Awards na categoria Eficiência Energética (Casa Vogue, 2015). Os proprietários conseguiram manter a residência funcionando com apenas R\$ 7 mensais, demonstrando uma ótima economia. O projeto baseou-se em princípios termodinâmicos, com destaque para isolamento térmico, geração de energia e sistema de aquecimento. Utilizou-se concreto para retenção de calor, painéis solares para geração de eletricidade contínua e uma bomba de calor para aquecimento da água. Destaca-se o sistema de ventilação inteligente, armazenando calor gerado por chuveiros e fogões e distribuindo ar fresco nos espaços habitáveis.

A automação residencial também é um ótimo aliado para promover eficiência energética. Junior (2018) apresenta o termo "Domótica" que vem da junção da palavra romana "domus", que significa "casa", e da palavra "robótica", que significa "controle automatizado de algo por robôs, mas que pode ser simplificado pela automatização do ambiente em si. A combinação das duas palavras dá origem a uma nova definição para o processo de automatização do ambiente doméstico ou residencial. Dentro do contexto de integração de tecnologia nas residências, também podemos associar os termos: Automação Residencial (Home Automation) e Casas Inteligentes (Smart Homes), que geralmente são empregados para descrever sistemas que automatizam funções domésticas, utilizando dispositivos conectados à internet e gerenciados por aplicativos ou por comandos de voz.

A Internet das Coisas (IoT) desempenha um papel importante, pois permite que dispositivos físicos e usuários se conectem e interajam de forma inteligente. Nesse contexto, ASHTON (2015), aponta que de uma forma mais técnica, a Internet das Coisas surgiu com os avanços em várias áreas como os sistemas embarcados, a

microeletrônica, a comunicação sem fio, a evolução do sensoriamento e, principalmente, a maior facilidade de se ter rede e dispositivos com acesso à internet. Seja esse acesso direta ou indiretamente através de redes criadas para IoT com o intuito de otimizar as comunicações de dispositivos mais simples, sem grande capacidade de processamento e ou energia.

Esse trabalho analisa a implantação desses novos conceitos tecnológicos, desde o projeto arquitetônico planejado, a utilização de uma fonte de energia natural renovável e o uso da automação integrada.

1.2 JUSTIFICATIVA

A promulgação da Lei 14.300/2022 estabelece o tratamento do excedente de energia gerado pelos consumidores (BRASIL, 2022). A introdução do "Fio B", um custo adicional para a injeção de energia excedente na rede elétrica, afetará negativamente a rentabilidade dos investimentos em sistemas fotovoltaicos. Resende (2023) afirma que essas mudanças regulatórias têm implicações diretas na rentabilidade dos projetos fotovoltaicos residenciais. Diante desse contexto, é necessário alinhar o perfil de consumo ao perfil de geração de energia.

Considerando que a integração do sistema de automação residencial, a geração de energias e as IoTs ainda serem algo novo, este trabalho se apresenta de forma relevante por oferecer dados da implementação desse sistema alinhado ao uso da automação. Esta pesquisa também procura oferecer soluções práticas e inovadoras para enfrentar os dilemas apresentados pelo novo marco regulatório.

1.3 OBJETIVO

Analisar a integração da energia fotovoltaica e automação em uma residência inteligente.

1.4 OBJETIVO ESPECÍFICO

- 1) Coletar dados energéticos de geração e uso da energia;
- 2) Caracterizar e Analisar os dados coletados;

- 3) Apresentar um plano de ação para aumentar a eficiência energética e a autossuficiência;
- 4) Validar as medidas implementadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONTEXTO DA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

No Brasil, o desenvolvimento das bases para o plano nacional de IoT teve início no final de 2016 com a assinatura de um acordo de cooperação entre o então Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), 2016. O estudo foi conduzido pelo consórcio McKinsey/Fundação CPqD/ Pereira Neto Macedo, selecionado por meio da Chamada Pública BNDES/FEP Prospecção nº 01/2016 – Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), com o objetivo de realizar um diagnóstico e propor políticas públicas no tema Internet das Coisas para o Brasil. Esse estudo resultou posteriormente no Decreto nº 9.854/2019, que pretende implementar e desenvolver a Internet das Coisas no país, com base na livre concorrência e na livre circulação de dados, observadas as diretrizes de segurança da informação e de proteção de dados do BNDES (2024).

Com o enfoque na automação residencial e predial, Stevan e Farinelli (2019), apresentam uma compreensão dos fundamentos e práticas da domótica, onde a conectividade e a integração de dispositivos eletrônicos estão se tornando cada vez mais importantes na vida cotidiana. A análise de uma variedade de protocolos e tecnologias utilizados na automação residencial é uma contribuição significativa da obra. A utilização de sensores é essencial para esse ecossistema, pois fornecem dados essenciais para o funcionamento do sistema. Os sensores de movimento, temperatura, umidade e luminosidade estão entre eles e ajudam a automatizar tarefas como controlar a iluminação, a climatização e a segurança.

Os usuários que fazem a programação do sistema, são responsáveis por transformar os sinais que recebem em ações físicas. Incluídos neste grupo estão dispositivos como interruptores inteligentes, sistemas de controle de temperatura e

atuadores de fechaduras, que permitem o controle remoto e automatizado de várias partes do ambiente residencial.

A integração e o controle desses dispositivos também são discutidos na obra, são várias interfaces de controle, como dispositivos de controle físico, assistentes de voz, como por exemplo: Google Assistant, Cortana da Microsoft, Alexa da Amazon, Siri da Apple e Bixby da Samsung. Além desses aplicativos móveis, também são abordados mecanismos de integração como gateways e hubs domésticos.

Nesse livro, os autores tem como objetivo principal fornecer uma visão abrangente das oportunidades e desafios que aguardam no futuro, os artigos examinam tendências emergentes, como a integração com a Internet das Coisas (IoT), avanços em aprendizado de máquina e inteligência artificial, e as possíveis consequências da automação residencial na vida cotidiana.

Kramp (2013), introduz em seu artigo que a expressão "Internet das Coisas" (IoT), cunhada em 1999 por Kevin Ashton, o pioneiro britânico em tecnologia que co-fundou o Auto-ID Center no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, está se tornando cada vez mais convencional. Atualmente à beira de testemunhar o surgimento de um "mega-mercado", onde a automação residencial, predial, a geração e a distribuição de eletricidade, bem como telecomunicações e tecnologia da informação convergirão gradualmente à essa tendência.

Em outro estudo, Sun (2013), explora em seu artigo o uso de uma estrutura do projeto do sistema multiagente (MAS ou "self-organized system") proposto para contribuir para uma automação residencial inteligente através da domótica. Com o foco em aumentar a automação e a segurança da casa enquanto reduz o consumo de energia, ele fornece uma abordagem estruturada para desenvolver redes inteligentes de sensores e atuadores para automação residencial inteligente, enfatizando o design eficaz de comportamentos de agentes, mecanismos de colaboração e avaliação de desempenho.

Ele aborda o comportamento de forma individual com base em um modelo de crença e intenção, e coletiva com base em políticas de regulação, a avaliação e otimização de desempenho com métricas específicas, a eficiência no processamento de informações usando um mecanismo distribuído de processamento de dados, e a adaptação do sistema a mudanças através de uma automação residencial escalável e robusta.

Os exemplos acima citados demonstram que a tendência de crescimento do mercado de automação. De acordo com a pesquisa da Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial – Aureside (2020), o número de residências no Brasil com algum tipo de sistema automatizado era de 2 milhões em 2022. A projeção é que o crescimento do mercado de automação no Brasil seja de 22% ao ano até 2025. Segundo Forbes Brasil (2022), impulsionado pela lei que promove incentivos à chamada Internet das Coisas (IoT), que deve acelerar a automação das residências no país, indicando uma tendência significativa de crescimento para os próximos anos.

2.2 A SIMULTANEIDADE DA CURVA DE CONSUMO

Para que possamos analisar a variação no consumo de energia ao longo do dia, utilizamos a curva diária de consumo. Essa curva é útil para entender os padrões de consumo de energia em residências, empresas e sistemas elétricos em geral. Ela pode revelar padrões de consumo previsíveis que refletem os hábitos, atividades diárias, influências sazonais e variações climáticas dos usuários.

GOMES, et al (2022), explica que a simultaneidade da curva de consumo se refere à relação entre a energia solar gerada e a energia consumida instantaneamente durante a geração. Essa relação é importante para determinar o percentual de energia solar gerada que está sendo consumida no momento da geração, sem ser afetada pela tarifação da concessionária de energia. Pode-se calcular o fator de simultaneidade (FS) específico para o domicílio a partir da Equação 1:

$$FS = \frac{\text{Autoconsumo (kWh/dia)}}{\text{Energia gerada (kWh/dia)}} \quad (1)$$

A curva de carga, que registra a demanda de consumo ao longo do tempo, é utilizada para calcular o fator de simultaneidade, influenciando a viabilidade financeira de sistemas fotovoltaicos para consumidores.

SANTOS, et al. (2008), discute a importância da energia solar fotovoltaica como uma fonte complementar de energia elétrica para residências, visando a sustentabilidade. Em seu artigo, a análise das curvas diárias de consumo é crucial para entender os padrões de demanda que podem ser atendidos pela geração de energia fotovoltaica. Comparando esses padrões de consumo com o potencial da

geração, fica evidente como a integração da energia solar pode se alinhar e complementar as necessidades energéticas diárias das residências.

As características e as curvas diárias de consumo de energia dos equipamentos residenciais comuns variam dependendo do tipo de equipamento, da eficiência energética e dos hábitos de uso dos moradores, entre outros fatores.

Algumas exemplos de curvas de consumo diárias para equipamentos residenciais mais comuns são a iluminação, os eletrodomésticos, aparelhos eletrônicos, sistemas de aquecimento e ar-condicionado. Elas podem variar de acordo com os hábitos dos moradores e o clima. Por exemplo, durante as horas mais quentes do dia em um dia quente de verão, o consumo de energia para ar condicionado pode ser mais alto. De forma semelhante, pode haver um aumento no consumo de energia por iluminação e aparelhos eletrônicos durante a noite. Além disso, o uso de termostatos programáveis e lâmpadas LED com sensores de movimento, pode alterar as curvas de consumo de energia, o que permite que você gerencie o uso de energia de maneira mais econômica durante o dia.

Nos últimos 15 anos, a gestão de energia doméstica passou por uma transformação significativa, impulsionada pela integração com a automação residencial. Segundo VELEZ (2024), os avanços das tecnologias sem fio e de comunicação permitiram uma integração mais inteligente e consciente dos dispositivos de controle nas residências, facilitando um uso mais eficiente da energia.

O fornecimento de soluções inteligentes, não só otimizam o consumo de energia, mas também promovem o uso responsável dos recursos naturais. A adoção de um sistema de domótica permite uma gestão mais eficiente do consumo, tarifas horárias mais baixas e contas de energia reduzidas, ao mesmo tempo que aumenta o conforto e a segurança dos usuários.

2.3 GERAÇÃO SOLAR

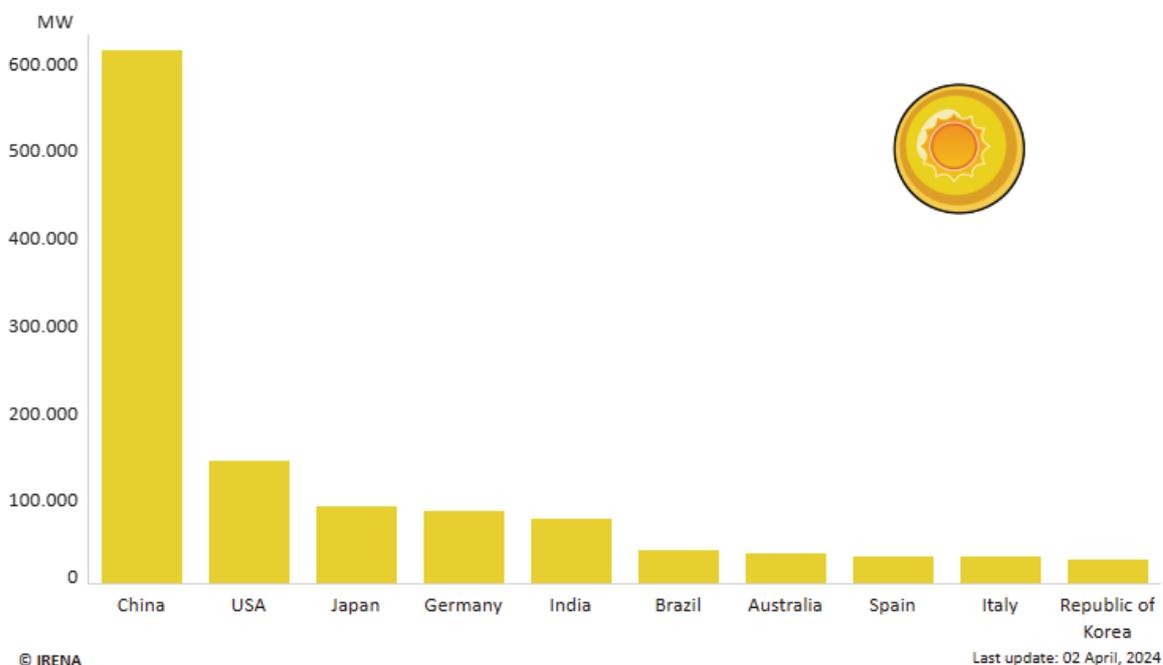
Conforme descreve O PORTAL SOLAR (2024), o Brasil possui uma excelente capacidade para a produção de energia solar, com a possibilidade de aproveitar completamente esse potencial para se tornar uma verdadeira potência no mercado fotovoltaico. Segundo ABSOLAR (2024), entre 2012 e 2023, os investimentos em sistemas solares fotovoltaicos somaram cerca de R\$130,7 bilhões e foram gerados

aproximadamente 780,1 mil empregos no período. Esses números indicam um crescimento significativo do setor de energia solar no Brasil, contribuindo para a economia e a criação de empregos no país.

Em 2024, São Paulo se estabelece como o estado com maior capacidade de Geração Distribuída fotovoltaica instalada, com 2.800,3 MW. Logo após vem Minas Gerais, com 2.684,3 MW, e Rio Grande do Sul, com 2.145,4 MW. São 1.890.095 sistemas fotovoltaicos ligados à rede, o que contribuiu para que a produção de energia elétrica fotovoltaica batesse recordes, com uma potência instalada de 20.417,0 MW.

Segundo Agência Internacional para as Energias Renováveis (Irena) indica que o Brasil ocupa agora a sexta posição no ranking global de produção de energia solar fotovoltaica, apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Ranking global de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica.



Fonte: IRENA, 2024.

Esse levantamento indica que o Brasil atingiu a marca de 37,4 GW, superando, entre outros, Austrália, Espanha, Itália e Coreia. Até o ano de 2019 o Brasil ocupava a 12ª posição. Os dados, divulgados no final de março de 2024, trazem o cumulativo referente a 2023.

A adoção de tecnologias limpas e de baixo carbono atende aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) – Agenda 2030 da ONU, em específico o objetivo 7 (ODS7), que é a de energia sustentável para todos, segundo (UGREEN, 2024).

Como relata TOMAZ (2020), a energia fotovoltaica traz consigo uma série de benefícios para o meio ambiente e a economia. Ao reduzir as emissões de GEE, contribui para mitigar o aquecimento mundial. Além disso, ao aproveitar uma fonte inesgotável de energia renovável, como o sol, diminui a dependência de combustíveis fósseis não renováveis. Isso não apenas preserva os recursos naturais, mas também ajuda na conservação da biodiversidade, pois não requer a destruição de ecossistemas naturais para sua geração. Do ponto de vista econômico, os sistemas fotovoltaicos oferecem uma redução significativa nos custos de energia a longo prazo.

O SEBRAE (2024) informa que a energia solar contribui para a criação de empregos verdes, estimulando a indústria de suprimentos e gerando oportunidades em várias etapas da cadeia produtiva. À medida que mais pessoas adotam a energia solar, surgem oportunidades em áreas como vendas, marketing, financiamento e consultoria, à medida que a demanda por soluções solares aumenta. As empresas especializadas em painéis solares, inversores e outros componentes estão prosperando, com um aumento significativo na demanda por produtos relacionados à energia solar. A instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos estão gerando novas oportunidades de emprego para engenheiros, técnicos e profissionais qualificados. Esse setor também estimula a inovação e o desenvolvimento tecnológico, impulsionando a pesquisa de novas soluções para a geração de energia limpa e sustentável.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em uma residência unifamiliar localizada na cidade de Sorocaba, interior de São Paulo. Segundo ABSOLAR (2024) o estado destaca-se por possuir a maior capacidade de Geração Distribuída fotovoltaica instalada no Brasil.

Esta residência foi selecionada como objeto de estudo devido à disponibilidade dos proprietários em compartilhar todo o processo de construção após a conclusão dos projetos arquitetônicos, elaborados pela autora deste trabalho. A facilidade de acesso à toda infraestrutura e o fornecimento de dados foram cruciais para a

realização da pesquisa. A colaboração dos clientes permitiu um acompanhamento detalhado das etapas de construção, possibilitando a coleta de informações essenciais para os resultados obtidos.

Os proprietários almejavam ter uma casa sustentável e automatizada. Planejada em um terreno de 300 m² com um aclave de 12 metros com 235 m² de área construída. Sendo planejado em três platôs: o primeiro subsolo abriga a garagem e a base para a piscina, o segundo abriga toda a parte térrea e o terceiro pavimento onde ficam os dormitórios conecta-se a um mezanino destinado à recreação, a ilustração desse projeto é representada na Figura 2. A residência foi projetada com práticas ecoeficientes, com fonte de energia natural renovável através dos painéis fotovoltaicos, captação e armazenamento de água de reuso em cisternas, estudo de projeção de fachadas para otimização de iluminação natural, e automatização, com conceitos da domótica e smart home.

Figura 2 – Representação gráfica tridimensional da residência.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

A metodologia adotada neste projeto de automação residencial envolveu diversas etapas interligadas e planejadas. Inicialmente, a autora deste trabalho, atuou como arquiteta responsável. Após a conclusão do projeto arquitetônico, foi necessário a realizar uma etapa adicional de compatibilização com uma equipe multidisciplinar

de engenheiros. Esta fase visava garantir a integração dos sistemas de automação, equipamentos, materiais e tecnologias em conciliação com os requisitos estruturais e elétricos da residência.

3.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados é fundamental para a pesquisa e a aplicação das novas tecnologias, especialmente no que diz respeito à integração de energia fotovoltaica e sistemas de automação. A obtenção de informações através dos dados e gráficos fornecidos pelo sistema Homekit, serão utilizados para avaliar o desempenho, encontrar padrões e otimizar a eficiência energética.

Os dados foram coletados entre os meses de dezembro de 2023 à fevereiro de 2024, durante 3 meses. A análise dos dados será feita através dos gráficos gerados pelo sistema. Na Figura 4, podemos verificar um exemplo de como a energia está sendo direcionada dentro da residência. Dentro de um sistema Homekit, possuem três medições específicas relacionadas ao consumo e à geração de energia, sendo:

- **Power Meter channel energy:** mede a quantidade de energia que está sendo consumida pelos dispositivos conectados. Representada pelas cores Azuis.
- **Power Meter channel energy returned:** mede a quantidade de energia que está sendo devolvida à rede elétrica. Representada pelas cores Roxas.
- **Energy Day:** mede a energia diária gerada pelos painéis solares. Representada pela cor Laranja.

Figura 4 – Gráfico de Energia Utilizada e Retornada em Janeiro de 2024.



Fonte: Homekit - Fornecida pelo proprietário E.S., 2024.

As medições dos painéis solares foi feita através Kit Gerador Fotovoltaico, composto por 6 placas solares com potência de 3,96 kWp, um microinversor Monofásico APsystems e pelo aplicativo do sistema de monitoramento remoto.

3.2 APRESENTAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO

O ecossistema HomeKit da Apple foi o sistema escolhido pelo proprietário por sua facilidade e compatibilidade com os demais equipamentos que ele já possuía e havia testado. A Tabela 1 lista alguns dos equipamentos que foram utilizados nas medições.

Tabela 1 – Lista de Equipamentos e Dispositivos.

EQUIPAMENTOS	ESPECIFICAÇÃO	AMBIENTE INSTALAÇÃO
Toya	Sistema de Iluminação	Ambientes Internos
Xiaomi e Elite	Sistema de Iluminação	Ambientes Externos
LG ThinQ	Eletrodomésticos	Ar Condicionados, Geladeira e Lava e Seca
Zigbee to MQTT	Interruptores elétricos	Ambientes Internos
Tasmota	Sistema de Bombeamento	Piscina
Bose	Sistema de Cinematográfica	Sala de TV e Varanda externa
Philips Hue e box Sync	Sistema de Iluminação Imersiva	Sala de TV e Varanda externa
Nano Leaf	Painéis Fotovoltaicos	Cobertura do Telhado

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Em cada pavimento da residência, foram implantados sensores e dispositivos para viabilizar o funcionamento adequado dos equipamentos destinados à automação. Além disso, para facilitar a integração de dispositivos não nativamente compatíveis com o sistema de automação, foi empregada a tecnologia do software Homebridge, compatibilizada junto ao aplicativo HomeKit da Apple.

É importante destacar a escolha desse gestor de aplicativos para esse projeto. Conforme informações do próprio site, Homebridge (2024) é uma ferramenta versátil que aprimora o ecossistema HomeKit, adicionando suporte a uma ampla gama de dispositivos. Ele aproveita plugins desenvolvidos pela comunidade para preencher lacunas de compatibilidade, permitindo que os usuários desfrutem de uma experiência de casa inteligente mais integrada e unificada com os aplicativos da Apple e Siri.

Com o software Homebridge em funcionamento, deu-se prosseguimento à seleção e instalação dos dispositivos inteligentes propriamente ditos. Isso incluiu a escolha de dispositivos de segurança, como os da linha UniFi Protect, que oferecem monitoramento local e suporte ao HomeKit. Além disso, foram integradas luzes externas e internas de marcas compatíveis com o HomeKit, como Toya, Xiaomi e Elite. Também foram incluídas unidades de ar condicionado LG ThinQ, aproveitando plugins específicos para o controle inteligente desses aparelhos.

A automação e o controle dos dispositivos foram realizados por meio do Zigbee to MQTT, permitindo a automação das persianas e o controle adaptativo das luzes. O plugin Tasmota foi utilizado para controlar a bomba da piscina e programar temporizadores diários, visando otimizar o consumo de energia. Além disso, houve uma expansão da rede de dispositivos com a integração de interruptores elétricos e sensores baseados em Zigbee.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS

Para analisar dos dados coletados, será adotada a seguinte estratégia:

Quantificação do Autoconsumo: Calcular a porcentagem de energia gerada pelo sistema fotovoltaico que foi consumida internamente, uma métrica chave para avaliar a eficiência do sistema. No período inicial, foi identificado um autoconsumo de 26% da energia gerada. KRANNICH SOLAR (2002) demonstra a fórmula para calcular o autoconsumo (A_c) é:

$$A_c = \left(\frac{\text{Energia consumida internamente}}{\text{Energia total gerada}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Essa fórmula é calculada pelo próprio sistema do Homekit, que apresenta os parâmetros e resultados obtidos através de porcentagens comparativas.

Identificação de Padrões de Consumo: Analisar os dados de consumo de energia dos principais equipamentos da residência, como ar-condicionado, máquina de lavar, máquina de lavar louça, bomba da piscina e sistema de iluminação, para identificar padrões de uso.

Correlação entre Geração e Consumo: Verificar os períodos de maior geração de energia e o consumo dos equipamentos, com o objetivo de identificar as oportunidades de otimizar do uso da energia gerada.

3.4 DESENVOLVIMENTO DE HIPÓTESES

Com base na análise preliminar dos dados, serão desenvolvidas as seguintes hipóteses:

- **Hipótese 1:** A sincronização do uso dos eletrodomésticos com consumo elevado, com os picos de geração de energia fotovoltaica que aumentam o índice de autoconsumo.
- **Hipótese 2:** A adaptação da iluminação com base na intensidade da luz externa e a programação do funcionamento do ar-condicionado para reduzir o consumo de energia elétrica e melhora a eficiência energética.
- **Hipótese 3:** A sincronização do uso de equipamentos de alto consumo, nesse cenário, a bomba da piscina, que receberá programações que contribuem para uma maior eficiência energética e um aumento no autoconsumo.

3.5 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

A verificação e validação dos resultados são etapas fundamentais após a implementação das estratégias. Os dados serão monitorados e analisados para confirmar a validade das hipóteses formuladas. A medição do autoconsumo será repetida para comparar os dados iniciais com os obtidos após a implementação das estratégias

Além disso, será realizada uma análise comparativa entre os dados de consumo e geração de energia antes e depois da implementação das estratégias, a fim de avaliar sua eficácia.

Nesta etapa, os parâmetros primordiais a serem avaliados serão:

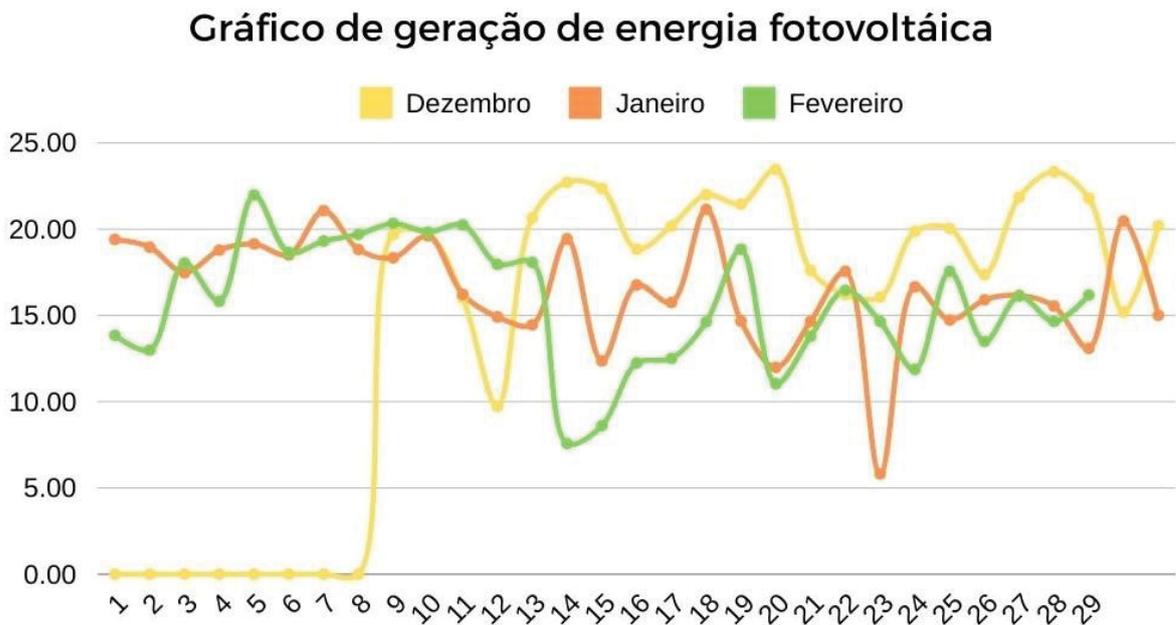
- **Autoconsumo:** Refere-se à proporção de energia gerada que é utilizada internamente, visando a maximização desse índice.

- **Eficiência Energética:** Diz respeito à diminuição do consumo global de energia elétrica por meio da implementação das estratégias pertinentes.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os primeiros dados apresentados pelo proprietário, foram as medições da geração de energia fornecidas pelas placas fotovoltaicas, resumidos na Figura 5. Eles demonstraram a potencialidade da geração de energia e já nesse curto período os benefícios do uso da automação associado à destinação de cargas internas para alimentar os equipamentos.

Figura 5 – Gráfico com as medições da energia gerada pelas placas fotovoltaicas



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Durante o mês de janeiro de 2024, os equipamentos foram utilizados com livre demanda, sem a implementação de estratégias para redução do consumo. Durante esse período, os sistemas de ar-condicionado operaram continuamente, ajustando-se automaticamente de acordo com a temperatura desejada, seja para refrigeração ou aquecimento. Essa utilização gerou uma porcentagem de 26% de auto consumo da energia gerada.

O segundo passo consistiu em apresentar as hipóteses e solicitar a programação dos equipamentos integrados ao sistema de automação residencial. À medida que os resultados do autoconsumo eram apresentados, as etapas subsequentes eram executadas.

Na última semana de janeiro de 2024, foi sugerido ao proprietário que condicionasse o uso dos equipamentos: máquina de lavar, máquina de lavar louças e ar-condicionado, nos períodos de maior pico de produção com base no demonstrativo que o monitoramento de geração de energia.

4.1 TESTE DA HIPÓTESE 1

No teste da primeira hipótese, realizado em 30 de janeiro de 2024, alguns equipamentos foram sincronizados com os picos de geração de energia. A máquina de lavar roupas, máquina de lavar louças e ar-condicionado foram programadas para operar durante os períodos de maior geração de energia fotovoltaica. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da Hipótese 1 .

Autoconsumo inicial (%)	Energia gerada no dia (kWh)	Autoconsumo final (%)	Resultado: positivo
26%	20,47	35 %	9%

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Essa estratégia resultou em um aumento de 9% no autoconsumo, indicando que a sincronização dos equipamentos de alto consumo com os períodos de maior geração de energia é eficaz.

4.2 TESTE DA HIPÓTESE 2

No segundo teste, realizado em 3 de fevereiro de 2024, foi testado a dimerização da iluminação com base na intensidade da luz externa. Nesse cenário, a automação detectou a quantidade de luz natural disponível. A automação ajustou automaticamente a intensidade dos lumens necessários no ambiente, otimizando o consumo de energia. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 3 – Resultados da Hipótese 2 .

Autoconsumo inicial (%)	Energia gerada no dia (kWh)	Autoconsumo final (%)	Resultado: positivo
35%	18,04	45 %	10%

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Essa estratégia resultou em um aumento de 10% no autoconsumo, destacando a eficácia do sistema automatizado de iluminação, conforme demonstrado porcentagens geradas pelo monitoramento do sistema Homebridge e Homekit.

4.3 TESTE DA HIPÓTESE 3

Foi solicitado ao proprietário um terceiro teste, desta vez utilizando o equipamento que mais consome energia, a bomba da piscina. Ele programou o teste para o dia 6 de fevereiro, para ser realizado no dia seguinte. A bomba deveria ser acionada em sincronia com os maiores picos de geração, monitorados das 11 às 14 horas (um período de 4 horas , anteriormente era ligada por apenas 2 horas). Além da bomba, foram programadas novas configurações para o ar-condicionado, que deveria manter uma temperatura pré-programada nos ambientes, em conjunto com as cortinas automatizadas, auxiliando no controle da temperatura interna.

Adicionalmente, a iluminação foi programada com base em estudos do ritmo circadiano, que, segundo uma matéria da BBC (2022), é popularmente conhecido como relógio biológico, regulando as atividades diárias do organismo em um período de aproximadamente 24 horas. Para este teste, a iluminação inicia com intensidade de 70% no período matinal e vai reduzindo gradualmente até 28% por volta das 22 horas, alinhando-se ao cronograma de sono dos residentes. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da Hipótese 3.

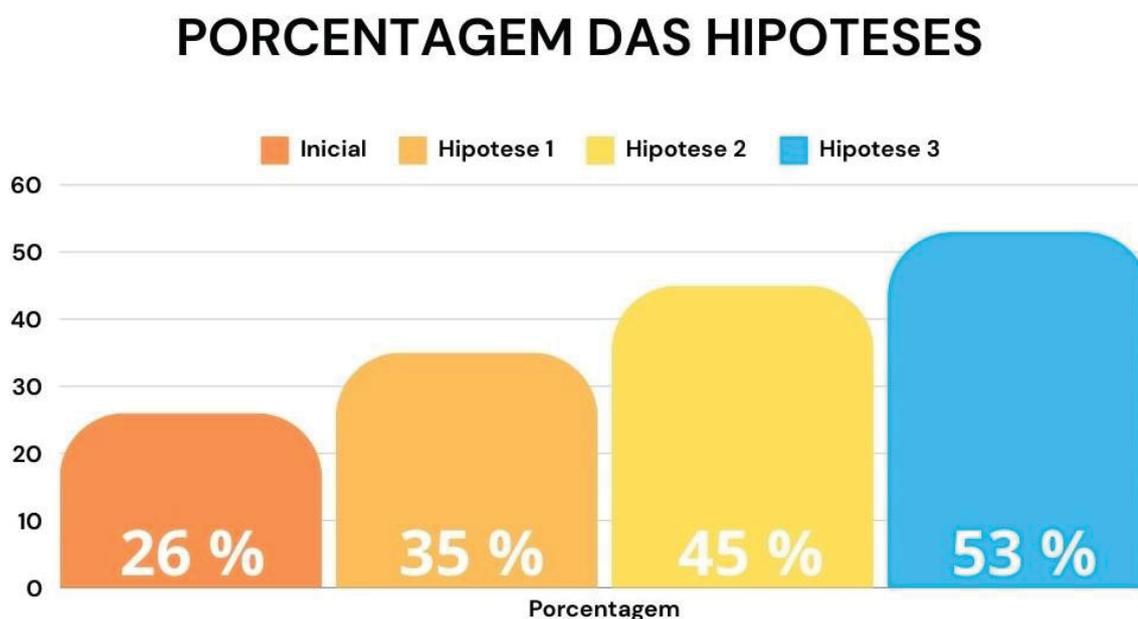
Autoconsumo inicial (%)	Energia gerada no dia (kWh)	Autoconsumo final (%)	Resultado: positivo
45%	19,31	53 %	8 %

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Essa estratégia resultou em um aumento de 8% no autoconsumo, onde os ajustes na bomba da piscina, ar-condicionado e iluminação foram eficazes em melhorar a eficiência energética.

Os resultados das ações implementadas nas três hipóteses demonstraram um aumento de 103.85% nos índices de autoconsumo, passando de 26% para 53%, demonstrado na Figura 6. Esse aumento mostra que as estratégias adotadas demonstraram que pequenas ações e ajustes realizados em busca de melhorar o autoconsumo são importantes para maximizar a eficiência e promover uma maior autonomia energética residencial.

Figura 6 – Gráfico com os Resultados das Hipóteses.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo acerca da eficiência do uso da energia proveniente de painéis fotovoltaicos em residências revelou resultados significativos após a implementação de diversas estratégias em conjunto com um sistema de automação.

Inicialmente, durante janeiro de 2024, os dispositivos operaram sem restrições, resultando em um autoconsumo de 26% da energia gerada. Após a introdução de estratégias otimizadas no final de janeiro de 2024, como a sincronização do uso de grandes aparelhos domésticos com os picos de produção solar, observou-se uma melhoria notável no autoconsumo.

O primeiro teste, aumentou o índice de autoconsumo para 35%, representando um acréscimo de cerca de 34,6% em relação ao valor inicial de 26%. No segundo

teste, a implementação da dimerização da iluminação com base na intensidade da luz externa resultou em um aumento do autoconsumo para 45%, um incremento de aproximadamente 28,6% em relação aos 35% registrados no primeiro teste. Já o terceiro teste, com o acionamento da bomba da piscina e a programação do ar-condicionado e da iluminação circadiana, elevou o índice para 53%, um aumento de aproximadamente 17,8% em relação aos 45% do segundo teste.

Os resultados mostram que a adoção de estratégias de automação integradas aos sistemas fotovoltaicos pode aumentar a eficiência energética e promover maior autonomia nas residências. Após a conclusão dos testes das hipóteses, o proprietário estava adquirindo equipamentos para monitorar o consumo das águas de reuso disponíveis nas cisternas, que são outros dispositivos ecoeficientes instalados na residência, demonstrando o interesse em continuar realizando ações que melhorem o autoconsumo, as práticas de sustentabilidade e a eficiência energética.

Para trabalhos futuros, é essencial investigar a integração de tecnologias emergentes que possam ainda mais melhorar a eficiência energética, como sistemas avançados de gestão de energia e inteligência artificial para prever o consumo. Além disso, seria benéfico monitorar outros aspectos não abordados neste estudo, como a eficiência dos sistemas de aquecimento e refrigeração, a implementação de baterias para armazenamento de energia e a análise do impacto dos comportamentos dos residentes no consumo de energia. Estas ações podem oferecer uma compreensão mais abrangente das oportunidades de otimização e contribuir para um modelo de residência ainda mais sustentável e autônomo.

6 REFERÊNCIAS

Soares, A.; Gomes, Á.; Henggeler Antunes, C. Categorization of residential electricity consumption as a basis for the assessment of the impacts of demand response actions. University of Coimbra, Portugal, 2014. Páginas 490-503.

Gomes, Á. Energy Management in Buildings. Energy for Sustainability. University of Coimbra, 2015.

Gonçalves, H.; Mariz Graça, J. Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. Lisboa, 2024.

Blue Sol Energia Solar. Lei da Energia Solar: Entenda Tudo. [S. l.], 10 ago. 2023. Disponível em: [\<https://encurtador.com.br/gmno0>](https://encurtador.com.br/gmno0). Acesso em: 21 nov. 2023, às 18:49.

Araujo, T. Rocha Nascimento. Efeito sustentável da aplicação das tecnologias fotovoltaicas e termossolar. Dissertação de Mestrado, UFOP/MG, 2020.

DREHER, Horion Silva. Automação residencial utilizando o protocolo MQTT controlado por app Android/IOS. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

JÚNIOR, Sérgio Luiz S.; FARINELLI, Felipe A. DOMÓTICA - AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL E CASAS INTELIGENTES COM ARDUINO E ESP826. Editora Saraiva, 2018. E-book. ISBN 9788536530055. Disponível em: [\<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#!/books/9788536530055/>](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#!/books/9788536530055/). Acesso em: 18 jan. 2024.

Artigo site Archdaily - Como criar uma casa inteligente guia completo para iniciantes na automação residencial. 2023. Disponível em: [\<https://www.archdaily.com.br/br/1010109/como-criar-uma-casa-inteligente-guia-completo-para-iniciantes-na-automacao-residencial>](https://www.archdaily.com.br/br/1010109/como-criar-uma-casa-inteligente-guia-completo-para-iniciantes-na-automacao-residencial). Acesso em: 13 fev. 2024.

Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental., v. 11, n. esp, p. 124-143, jan. 2022.
DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL E A TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA
NA REGIÃO ADMINISTRATIVA DE UMUARAMA – PR.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Plano Nacional de Energia 2050. Disponível em: \<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>.

WWF Brasil. Relatório de Energia 2050. Disponível em: \<https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/nossas_solucoes/alternativas_energeticas_sustentaveis/relatorio_de_energia_2050/>.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Relatório da Situação Global das Renováveis 2022. Disponível em: \<<https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorios/relatorio-da-situacao-global-das-renovaveis-2022>>.

Rüther, R.; Knob, P.; Dacoregio, M.M.; Ricardo, R.V.; Parecy, E.; Reque, W.; Jardim, C.S. Avaliação do impacto da geração distribuída utilizando sistemas solares fotovoltaicos integrados à rede de distribuição. 2005. Disponível em: \<<https://encurtador.com.br/bjplO>>. In: Inovações em pesquisas agrárias e ambientais - Volume II. Acesso em: 07 mai. 2024.

UGREEN. ODS: Guia para arquitetos e profissionais da construção. Disponível em: \<<https://ugreen.com.br/>>. Acesso em: 08 mai. 2024.

ASHTON, Kevin. Kevin Ashton: entrevista exclusiva com o criador do termo “Internet das Coisas”. Financiadora de Inovação e Pesquisa (FINEP), entrevista publicada em: 13 jan. 2015. Disponível em: \<coloque o link aqui>. Acesso em: 09 mai. 2024.

Tomaz, R.; Bicalho, STT. Brazilian Journal of Business, 2020 - ojs.brazilianjournals.com.br.

Portal Solar. Energia Solar no Brasil. Disponível em: [\<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>](https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html). Acesso em: 09 mai. 2024.

ABSOLAR. Com mais de 810,6 mil empregos verdes criados, geração própria solar atinge 27 gigawatts no Brasil. 2024. Disponível em: [<https://www.absolar.org.br/noticia/com-mais-de-8106-mil-empregos-verdes-criados-geracao-propria-solar-atinge-27-gigawatts-no-brasil-diz-absolar/>](https://www.absolar.org.br/noticia/com-mais-de-8106-mil-empregos-verdes-criados-geracao-propria-solar-atinge-27-gigawatts-no-brasil-diz-absolar/). Acesso em: 09 mai. 2024.

Estratégia ODS. Conheça os ODS. Disponível em: <https://www.estrategiaods.org.br/conheca-os-ods/>. Acesso em: 11 maio 2024.

CGT Eletrosul. Casa Eficiente - Visita Virtual. Disponível em: [<https://www.cgteletrosul.com.br/ampnbsp/casa-eficiente-visita-virtual>](https://www.cgteletrosul.com.br/ampnbsp/casa-eficiente-visita-virtual). Acesso em: 10 maio 2024.

RESENDE, Rafael de Souza. As mudanças na regulamentação de energia solar e seus impactos em um projeto fotovoltaico residencial conectado à rede. 2023. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

TERRA. Brasil é o sexto no ranking mundial de capacidade instalada de energia solar; conheça o top 10. Disponível em: https://www.terra.com.br/economia/brasil-e-o-sexto-no-ranking-mundial-de-capacidade-instalada-de-energia-solar-conheca-o-top-10,3ede5ccdd9def4087ccca9023f34618dulzrkj09.html?utm_source=clipboard. Acesso em: 12 maio 2024.

CASA. Casa em Curitiba é a mais bem avaliada em sustentabilidade no país. Disponível em: <https://casa.abril.com.br/sustentabilidade/casa-em-curitiba-e-a-mais-bem-avaliada-em-sustentabilidade-no-pais>. Acesso em: 15 de maio de 2024.

VOGUE CASA. Casa mais sustentável do mundo fica no Reino Unido. Disponível em: <https://casavogue.globo.com/Arquitetura/Casas/noticia/2015/12/casa-mais-sustentavel-do-mundo-fica-no-reino-unido.html>. Acesso em: 16 de maio de 2024.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jan. 2022. Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 16 de maio de 2024.

ONU BRASIL. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 17 maio 2024.

RACERO VALCÁRCEL, Ana Rocío. Integración de raspberry en domótica de sistema HomeKit. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Sevilla, 2018. Disponível em: <<https://idus.us.es/handle/11441/86124>>. Acesso em: 17 de maio de 2024.

HOMEBRIDGE. Homebridge - Integrate with HomeKit. Disponível em: <https://developers.homebridge.io/#/>. Acesso em: 21 maio 2024.

VELEZ CELEITA, Juan Camilo. Domótica para la gestión de la Energía Eléctrica en vivienda: estado del arte de los últimos 15 años. 2024. Trabalho de graduação – Universidade Santo Tomás, Bucaramanga. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11634/54373>. Acesso em: 25 maio 2024.

URSPRUNG, Lars. Analyse der Sicherheit von IoT-Geräten und Methoden zur Durchführung von Penetrationstests für IoT-Geräte. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <<https://thmdok.hebis.de/xmlui/handle/123456789/330>>. Acesso em: 23 de Maio de 2024.

BBC News Brasil. Ritmo circadiano: o que é e como funciona 1 junho 2022. 23 maio 2022. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-61548390>. Acesso em: 25 maio 2024.

SANTOS, I. P. dos; JUNIOR, J. U.; RÜTHER, R. Energia solar fotovoltaica como fonte complementar de energia elétrica para residências na busca da sustentabilidade. 2008. Disponível em: <http://www.lepten.ufsc.br>. Acesso em: 27 maio 2024.

Kramp, T., Van Kranenburg, R., & outros. (2013). Introduction to the Internet of Things. Disponível em: <https://library.oapen.org>. Acessado em: 27 de maio de 2024.

Sun, Q., Yu, W., Kochurov, N., Hao, Q., & Hu, F. (s.d.). A Multi-Agent-Based Intelligent Sensor and Actuator Network Design for Smart House and Home Automation. Journal of Sensor and Actuator Networks. 2013. Disponível em: www.mdpi.com/journal/jsan. Acessado em: 27 de maio de 2024.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Estudo "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil". Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>. Acessado em: 27 de maio de 2024.

BRASIL. Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas - PNIoT e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do PNIoT. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26 jun. 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9854.htm. Acessado em: 27 de maio de 2024.

FORBES BRASIL. Montar uma casa inteligente: quanto custa e do que você precisa? Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2022/03/quanto-custa-montar-uma-casa-inteligente-no-brasil/>. Acesso em: 27 de maio de 2024.

KOSTENHAUS. Automação residencial: de olho no futuro, benfeitoria valoriza o imóvel. Disponível em: <<https://www.kostenhaus.com.br/artigo/automacao-residencial-tendencia>>. Acesso em: 27 de maio de 2024.

AURESIDE. Casa 'inteligente' é cada vez mais realidade. Disponível em: <<http://www.aureside.org.br/noticias/casa--inteligente--e-cada-vez-mais-realidade>>. Acesso em: 27 de maio de 2024.

IRENA (2024). Ranking global de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. Acesso em: 27 de maio de 2024.

SEBRAE. Energia Fotovoltaica: desafios e oportunidades para os negócios. Disponível em: <https://sebraeplay.com.br/content/energia-fotovoltaica-desafios-e-oportunidades-para-os-neg-cios>. Acesso em: 27 maio 2024.

ELETROBRAS. Plano de Promoção da Hígiene Empresarial (PPH). 2019. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>. Acesso em: 29 maio 2024

GOMES, Matheus Morais Ferreira; SILVA FILHO, Olympio Cipriano Da; ROCHA, Ednardo Pereira da. Análise da influência do fator de simultaneidade no retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos pós-Lei 14.300. Universidade Federal Rural do Semiárido. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/83dbf35b-f7c2-4440-92da-078e44b9c71a/content>. Acesso em: 30 maio 2024.

KRANNICH SOLAR. Aspectos a ter em conta no cálculo de um autoconsumo. Disponível em: <https://krannich-solar.com/pt-pt/blog/aspectos-a-ter-em-conta-no-calculo-de-um-autoconsumo-com-e-sem-baterias/>. Acesso em: 31 maio 2024.