



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEDRO HENRIQUE RIBEIRO ARAUJO

**GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM EDIFÍCIOS DE MULTI-UNIDADES RESIDENCIAIS:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS NOVAS POSSIBILIDADES DE
MERCADO**

FORTALEZA

2023

PEDRO HENRIQUE RIBEIRO ARAUJO

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM EDIFÍCIOS DE MULTI-UNIDADES RESIDENCIAIS:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS NOVAS POSSIBILIDADES DE
MERCADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

Coorientador: Dr. Cláudio Albuquerque Frate.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A69g Araujo, Pedro Henrique Ribeiro.
Geração distribuída em edifícios de multi-unidades residenciais : uma revisão bibliográfica sobre as novas possibilidades de mercado / Pedro Henrique Ribeiro Araujo. – 2023.
54 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.
Coorientação: Prof. Dr. Cláudio Albuquerque Frate.

1. Fotovoltaico. 2. Edifícios de multi-unidades. 3. Desafios. I. Título.

CDD 621.3

PEDRO HENRIQUE RIBEIRO ARAUJO

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM EDIFÍCIOS DE MULTI-UNIDADES RESIDENCIAIS:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS NOVAS POSSIBILIDADES DE
MERCADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

Coorientador: Dr. Cláudio Albuquerque Frate

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Cláudio Albuquerque Frate
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raphael Amaral da Camara
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Antonia Eleni Ribeiro
Souza e Wilson Ribeiro de Araujo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro a minha família por todo apoio durante o período do curso, que em diversos momentos me ajudaram de alguma forma, sou muito grato a todo esforço empenhado.

Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho e ao Dr. Cláudio Albuquerque Frate pela excelente orientação.

Ao professor participante da banca examinadora Dr. Raphael Amaral da Camara pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A minha namorada Jehnnyfe Ferreira por todo o apoio durante esse período

Aos colegas de graduação Wanderson Martins, Patrick Anderson e Robson Nonato, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas e ao Victor Andrew pelos conselhos nesse presente trabalho.

“Engenharia elétrica é a arte de tornar o mundo um lugar melhor com elétrons.”
(Charles Proteus, 1923).

RESUMO

A geração distribuída (GD) em edifícios de multi-unidades residenciais tem despertado um interesse crescente no mercado de energia. Com a crescente demanda por fontes renováveis e a busca por soluções sustentáveis. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é fornecer uma revisão bibliográfica atualizada sobre a GD em edifícios de multi-unidades residenciais. Para atingir o objetivo proposto, foi utilizada uma metodologia de revisão bibliográfica. Inicialmente, foram selecionados e analisados artigos de maior importância. São utilizados na busca ferramentas incluindo Elsevier, Scopus e Google Scholar. Um total de trinta artigos científicos são revistos, selecionando publicações a partir de 2019. É discutido os benefícios e desafios da geração distribuída em edifícios de multi-unidades residenciais. Os principais benefícios incluem economias de custos de energia, viabilidade econômica e melhora da confiabilidade do fornecimento de energia. Os principais desafios incluem custos iniciais, questões de regulamentação e, planejamento e falta de conscientização. Nos artigos analisados, termos que contém desafios, aspectos técnicos e aspectos econômicos foram citados 36, 24 e 24 vezes, respectivamente. No entanto, a pesquisa revelou que os benefícios foram mencionados com maior frequência, representando 56% do total de citações. Em números absolutos, foram identificados 108 casos de referências aos benefícios. Dos artigos científicos selecionados, 10% abordaram barreiras e dificuldades, fornecendo uma compreensão aprofundada dos obstáculos enfrentados na implementação de conceitos e tecnologias. Além disso, 27% dos artigos exploraram o tema de BIPV, destacando avanços e aplicações em edifícios. Os artigos revistos também discutem as perspectivas de crescimento da GD em edifícios de multi-unidades residenciais. Como resultado dos crescentes preços da energia elétrica e dos benefícios ambientais associados à GD, é provável que a geração distribuída continue a crescer em popularidade nos próximos anos.

Palavras-chave: GD; Edifícios residenciais multifamiliares; FV; Tendências.

ABSTRACT

Distributed generation (DG) in multi-unit residential buildings has been gaining increasing interest in the energy market, driven by the growing demand for renewable sources and sustainable solutions. In this context, the objective of this research is to provide an updated literature review on DG in multi-unit residential buildings. To achieve the proposed objective, a bibliographic review methodology was employed. Initially, articles of greater importance were selected and analyzed using tools such as Elsevier, Scopus, and Google Scholar. A total of thirty scientific articles were reviewed, selecting publications from 2019 onwards. The benefits and challenges of distributed generation in multi-unit residential buildings are discussed. Key benefits include energy cost savings, economic viability, and improved energy supply reliability. Major challenges include upfront costs, regulatory issues, planning, and lack of awareness. Among the analyzed articles, terms related to challenges, technical aspects, and economic aspects were mentioned 36, 24, and 24 times, respectively. However, the research revealed that benefits were mentioned more frequently, representing 56% of the total citations. In absolute numbers, 108 instances of references to benefits were identified. Of the selected scientific articles, 10% addressed barriers and difficulties, providing an in-depth understanding of the obstacles faced in implementing concepts and technologies. Additionally, 27% of the articles explored the theme of Building Integrated Photovoltaics (BIPV), highlighting advancements and applications in buildings. The reviewed articles also discuss the growth prospects of DG in multi-unit residential buildings. Due to the rising electricity prices and the associated environmental benefits of DG, it is likely that distributed generation will continue to grow in popularity in the coming years.

Keywords: Distributed generation; Multi-unit residential buildings; PV; Trends.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Participação na capacidade instalada anual, 2001-2020	14
Figura 2- Crescimento da capacidade de geração de energia renovável per capita por tecnologia em todas as regiões, 2010–2021	15
Figura 3- Geração de energia solar fotovoltaica no cenário Net Zero, 2010-2030	15
Figura 4- Evolução da Fonte solar fotovoltaica no Brasil	16
Figura 5- Consumo de energia renovável em eletricidade nos 20 maiores consumidores finais de energia por fonte e país, 2020	17
Figura 6- Quantidade de artigos em relação ao ano de publicação	36
Figura 7- Quantidade de artigos de acordo com a origem	37
Figura 8- Tipos de assuntos contidos nos artigos	43
Figura 9- Declarações nos artigos de revisão bibliográfica	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Artigos selecionados para revisão bibliográfica	38
Tabela 2- Distribuição de declarações nos artigos selecionados	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FV	Fotovoltaico
BIPV	Building Integrated Solar Panels
IEA	International Energy Agency
GD	Geração Distribuída
IRENA	International Renewable Energy Agency
CSS	community-shared solar
TCC	Trabalho de conclusão de curso
NREAL	National Renewable Energy Laboratory
LCOE	Levelized cost of electricity
DE	Damage to ecosystem quality
DHH	Damage to human health
PV-BESS	Sistema Fotovoltaico com Bateria
BioPCMs	bio-phase change material
LCC	lifecycle cost
VRF	variable refrigerant flow
BTM	Behind the Meter
EN	Embedded Network
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido
UR	upperreservoir
SSR	Suppressed load demand
PBP	Período de payback
MorePVs	Multi-occupancy residential electricity with PV and storage
BESS	Battery energy storage system
BTM	behind the meter
EN	embedded network
DR	Damage to resource availability

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

%	Porcentagem
R\$	Real
s	Segundos
\$	Dolar
TWh	Terawatt-hora
GWh	Gigawatt-hora

SUMÁRIO

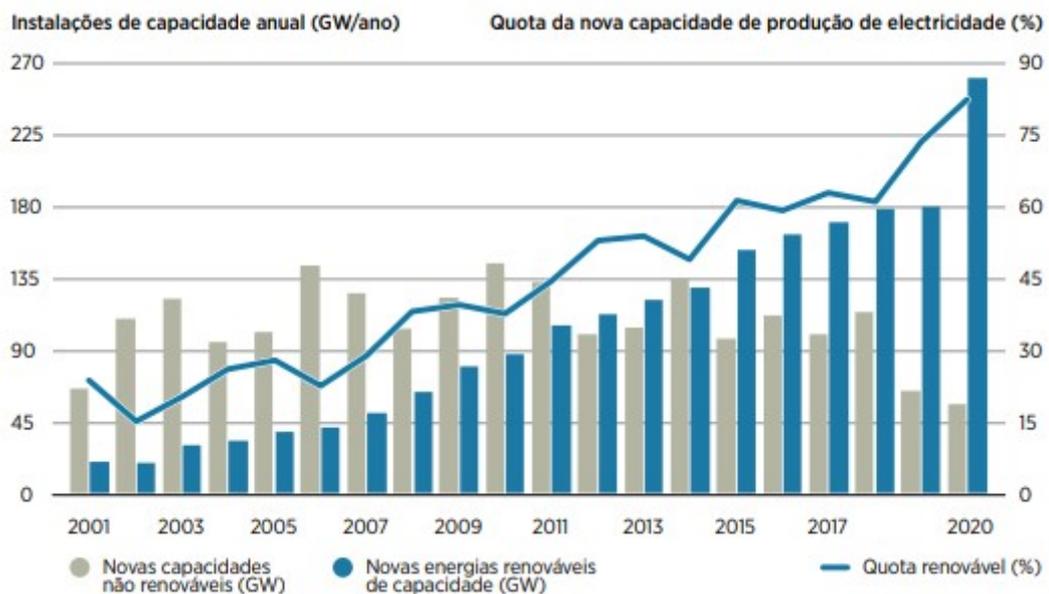
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Estado da Arte.....	17
1.2 Objetivo Geral	19
1.3Objetivos Específicos	19
1.4Estruturas do Trabalho	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Barreiras e dificuldades para a adoção de sistemas (FV) em edifícios residenciais	20
2.2 Estimativa e avaliação das necessidades e disponibilidades energéticas em edifícios residenciais multifamiliares	22
2.3 Possibilidades de Mercado em edifícios de Multi-unidade	25
2.4 Alocação e negociação de sistemas fotovoltaicos em edifícios de múltiplas unidades residenciais.....	26
2.5 Avaliações do potencial da tecnologia BIPV	28
2.6 Avaliações do potencial da tecnologia BIPV	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5. CONCLUSÃO	48
Referencias.....	49

1. INTRODUÇÃO

Conhecido por uma evolução lenta, o setor elétrico está passando por um momento de modificação dinâmica. Com o impulsionamento dos desafios das mudanças climáticas, pobreza energética e segurança energética. A adoção de tecnologias renováveis está se tornando uma solução necessária (IRENA, 2020).

As tecnologias de energias renováveis no mercado global estão liderando novas capacidades de geração de eletricidade. Nos últimos sete anos as tecnologias de energias renováveis tiveram mais eletricidade adicionada à rede em comparação com combustíveis fósseis e a energia nuclear. Conforme (Figura 1), tendo registros de capacidade de geração de 260 GW no ano de 2020, obtendo valores superiores a quatro vezes a capacidade adicionada de outras fontes (IRENA, 2020)

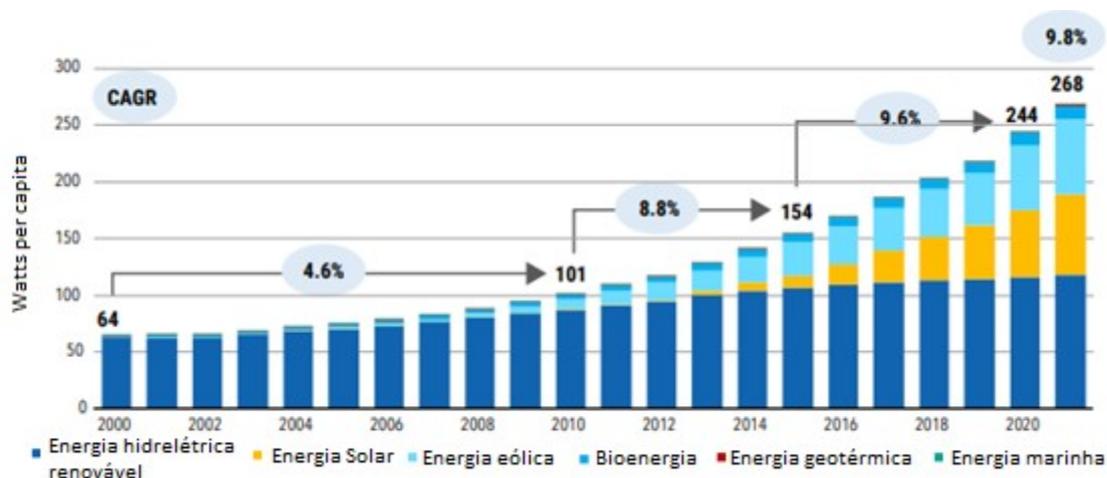
Figura 1- Participação na capacidade instalada anual à base renovável e não renovável adicionada globalmente, 2001-2020



Fonte: IRENA (2020)

A partir do ano 2007, quando a participação da capacidade de geração renovável era de 24,8%, é iniciada uma melhora do indicador. Com uma capacidade cumulativa instalada de 268 W per capita de capacidade renovável cumulativa instalada 2021, a participação alcançou um marco histórico de 38% próxima à média global de 38,3%. A capacidade baseada em energia renovável adicionou 186 GW em 2020. Mas em 2021, caiu para 174 GW (Figura 2) (IRENA, 2022).

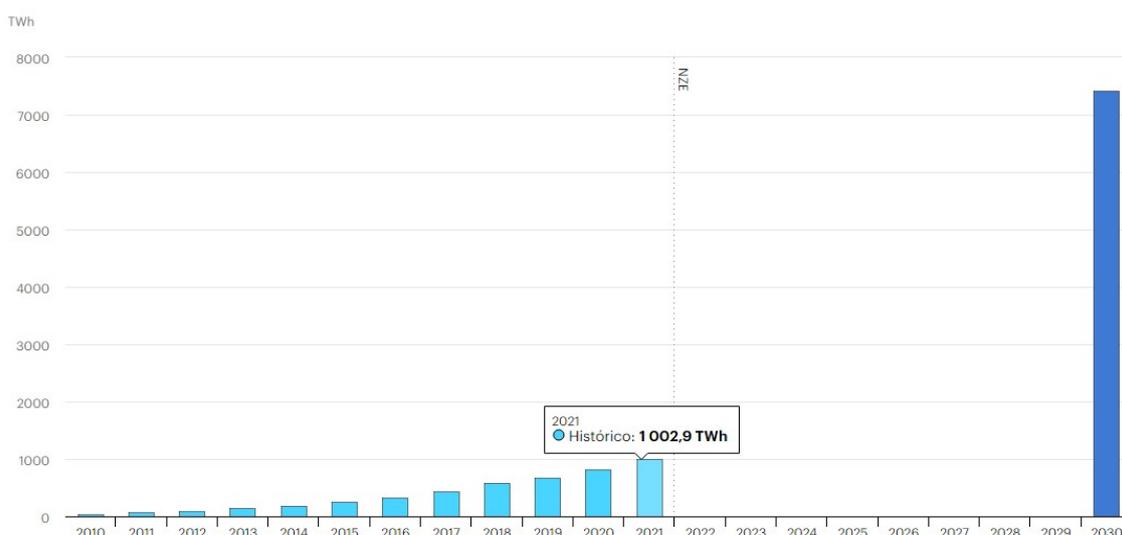
Figura 2- Crescimento da capacidade de geração de energia renovável per capita por tecnologia em todas as regiões, 2010–2021.



Fonte: IRENA (2020)

Das energias renováveis, a solar FV conseguiu um ponto histórico de geração em 2021, tendo um aumento de 22% em comparação com 2020, teve uma participação de 3,6% da energia mundial de eletricidade, sendo superada apenas por energia hidrelétrica e eólica, das energias renováveis presentes. De acordo com (Figura 3) buscando o contexto de Net Zero com objetivos para o ano de 2030, serão necessários mais esforços (IEA, 2023).

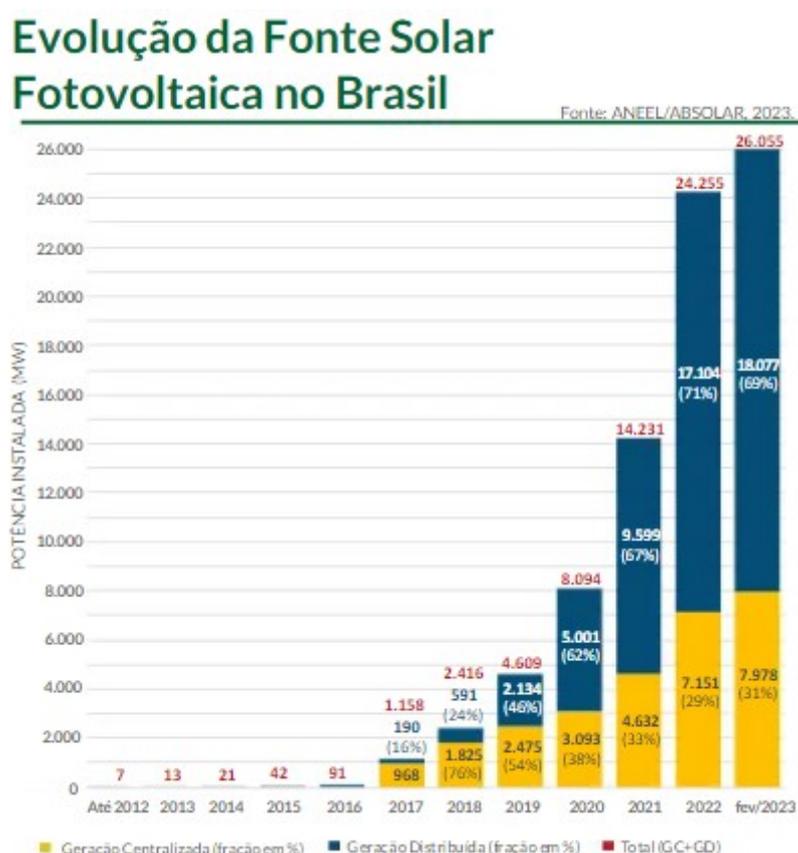
Figura 3 - Geração FV no cenário Net Zero, 2010-2030



Fonte: IEA(2023)

A geração FV começou a se destacar a partir de 2017, visando à parte econômica, impulsionada pela criação de novas empresas no setor em todo o Brasil. Garantir a competitividade de preços foi um grande desafio, devido ao aumento do dólar entre os anos 2018 e 2020. Com o avanço tecnológico e aumento da fabricação ocorreu uma queda nos preços dos sistemas FV (HANSEN, 2020). O crescimento pode ser notado analisando a (Figura 4) no intervalo de tempo entre o ano 2017 ate fevereiro de 2023 com crescimento da potencia instalada FV de 1158 MW para 26055 MW, com aumento de 2150%.

Figura 4-Evolução da Fonte solar FV no Brasil

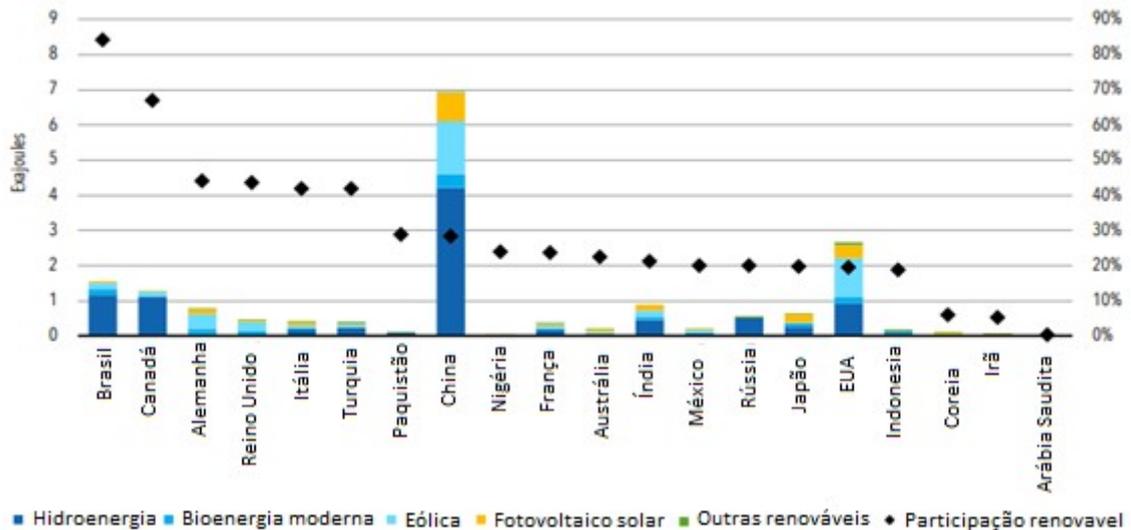


Fonte: Absolar (2023)

A participação de fontes renováveis na geração de eletricidade dos vinte principais países consumidores de eletricidade varia de quase zero a mais de 80%. Devido às suas extensas capacidades hidrelétricas no Brasil e Canadá aparecem como os países com as maiores parcelas. Na Alemanha, Japão, México, Coreia do Sul, Reino Unido e Estado Unidos, as maiores fontes renováveis de eletricidade são

energia eólica e FV conforme mostra a (Figura 5). Nesses países, a participação combinada dessas fontes renováveis na geração é de 45% a 74% (IRENA, 2022).

Figura 5-Consumo de energia renovável em eletricidade nos 20 maiores consumidores finais de energia por fonte e país, 2020.



Fonte: IRENA (2023)

1.1 Estado da Arte

Parte da geração distribuída (GD), módulos FV em telhados e aerogeradores, desempenha um papel crucial no sistema energético global. A geração FV, implementada nos consumidores, responde por aproximadamente 33% da demanda mundial de eletricidade (SCHNEIDER ELECTRIC GLOBAL, 2022). No momento ocorre uma mudança no setor de energia elétrica o modelo tradicional de centrais centralizadas começa a ser alterada por um sistema combinando fornecedores centralizados e distribuídos. A GD pode ser dita como a implementação de sistemas modulares de geração de eletricidade por diferentes localidades (ADAJAH et al., 2021).

A GD pode ocasionar impactos no sistema elétrico, podendo haver casos positivos, mas também, negativos. Dentre os que são positivos, há a redução nas perdas de energia e regulação de tensão aprimorada. Por outro lado, pode ocasionar interferência na qualidade de energia e desafios para gestão da rede e

aumento da corrente de curto-circuito (UFA et al., 2022). Manter a confiabilidade do sistema elétrico é de extrema importância, assegurar um fornecimento contínuo de eletricidade é essencial. A inclusão da GD na rede elétrica não apenas oferece uma fonte alternativa em caso de emergência, mas também aprimora a confiabilidade geral do sistema, fornecendo suporte para manter sua integridade (SONAL; GHOSH, 2020).

Aumentando a eficiência energética e integrando fontes renováveis, os edifícios integrados com a rede se destacam oferecendo recursos avançados. Permite modificar o horário e o volume de uso de energia, geração local, armazenamento de energia. Com essas características esses edifícios se tornam uma fonte valiosa para melhorar a garantia da confiabilidade da rede (JIM EDELSON, 2021).

A interação entre os edifícios eficientes e a rede elétrica possibilita a otimização do consumo de energia, combinando produção e consumo de eletricidade de maneira eficaz. Esses edifícios oferecem diversas opções interativas que atendem às demandas da rede. A utilização de incentivos adequados traz benefícios adicionais para o sistema de energia, permitindo que os consumidores escolham as combinações tecnológicas que melhor se alinhem aos seus interesses pessoais (IEA, 2022). A integração da geração FV nos edifícios em que habitamos, trabalhamos e nos divertimos ocorrerá de maneiras diversas: por meio da instalação de sistemas solares nesses edifícios e da flexibilidade no uso e armazenamento de energia para complementar a energia solar. Ambas as abordagens são cruciais e ainda oferecem um vasto campo a ser explorado para promover a descarbonização em toda a rede elétrica (NREL, 2022).

O surgimento de soluções de armazenamento e energia renovável de propriedade coletiva vem aumentando devido a demanda por soluções de energia compartilhada. Apesar de muitas residências se beneficiarem da geração FV, a implantação dessa tecnologia é um desafio em áreas com maior densidade, devido a gestão de edifícios residenciais multifamiliares, pois a implementação depende das políticas que as viabilizam (Green et al., 2018). Muitas das redes existentes foram projetadas para atender a demanda do século vinte, dessa forma a incorporação rápida da GD pode gerar desafios para a rede elétrica, com o aumento da GD é essencial que o sistema seja flexível (IEA, 2022)

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste TCC é realizar uma revisão bibliográfica utilizando artigos científicos atuais a respeito da GD em edificações de multi-unidades residenciais.

1.3 Objetivos Específicos

- Identificar as tendências no tema GD em edificações de multi-unidades residenciais
- Selecionar lacunas presentes no campo científica do tema.
- Analisar as novas oportunidades do mercado de GD em edificações de multi-unidades residenciais.

1.4 Estrutura do Trabalho

A estrutura do trabalho é dividida em cinco capítulos, sendo abordados tópicos relacionados ao tema proposto. No capítulo um é realizado a introdução e o estado da arte abordando temas de impacto na GD. No capítulo dois é abordada uma revisão bibliográfica abrangente de toda a parte teórica. No capítulo três são apresentados os procedimentos utilizados na metodologia, sendo descrito as etapas incluindo os critérios de seleção dos artigos e motivos de exclusões. No capítulo quatro são apresentados os resultados adquiridos a partir da análise dos artigos e realizadas as discussões. Por fim no ultimo capítulo, são apresentadas as conclusões derivadas da pesquisa, sendo feito as considerações finais e mostrando as principais descobertas do TCC.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

É uma etapa fundamental na elaboração da pesquisa, consiste em analisar e sintetizar criticamente a literatura do tema de estudo, com objetivo de estabelecer as bases para a pesquisa. Buscando um embasamento teórico, na seqüência o referencial teórico é baseado somente em artigos científicos publicados a partir do ano de 2019. Ao revisar a literatura presente é pretendido identificar lacunas de conhecimento pouco exploradas que carecem de pesquisa adicional, evitar duplicação de esforço, os pesquisadores ao conhecer o estudo podem evitar abordagens semelhantes e direcionar o seu trabalho.

2.1 Barreiras e dificuldades para a adoção de sistemas (FV) em edifícios residenciais

Frate et al. (2023) analisam sobre obstáculos e facilitadores da adoção de sistemas FV em condomínios residenciais. Foram entrevistados especialistas locais para identificar barreiras não abordadas. É Desenvolvido um questionário para avaliar quantitativamente a relevância de cada aspecto. O questionário tem 11 proposições. Aplicando o questionário a 42 especialistas e analisadas suas respostas usando o Power BI. Na pesquisa, a percepção dos respondentes sobre a adoção de sistemas FV em condomínios foi avaliada. Dos participantes, 59,52% discordaram do alto valor de entrada para compra de um sistema FV, enquanto 40,47% concordaram. Síndicos e acadêmicos destacaram que o investimento é rapidamente rentável. Em relação ao tempo de retorno do investimento, 76,19% discordaram de sua longa duração, enquanto apenas 16,67% concordaram. Quanto à presença de inquilinos como obstáculo, 47,62% discordaram 26,19% não tinha opinião e uma parcela menor concordou. Integradores e síndicos apontaram que os proprietários podem arcar com a taxa extra e que há valorização do imóvel como benefícios. Na percepção do processo de adoção de sistemas FV, 66,67% discordaram de sua complexidade, 23,81% não tinham opinião e 9,52% concordaram. Síndicos, acadêmicos e integradores destacaram a simplicidade do processo e a agilidade das concessionárias na aprovação das instalações. Em relação à oferta de garantia, 23,80% discordaram de seu incentivo, 7,15% não tinham opinião e a maioria, 69,05%, concordou. Opiniões divergentes enfatizaram garantias adequadas dos equipamentos, enquanto os concordantes valorizaram a segurança e confiança proporcionada pela garantia. Por fim os obstáculos e

facilitadores encontrados em cidades importantes ao redor do mundo, como falta de informação, custos iniciais e influência social, também são vistos em Brasília.

Asrami et al. (2021) pesquisam para verificar a principal solução para utilização de painéis FV em Teerã, no Irã. Analisada dificuldades e oportunidades na instalação de sistemas FV em edifícios residenciais em áreas urbanas. Soluções foram analisadas para a utilização de painéis FV conectados à rede, sendo rede com e sem bateria e alimentação completa. O estudo mostrou que para a instalação de painéis FV o melhor cenário é com alimentação completa de ângulo de 31° para a região, com isso possui o menor custo nivelado de eletricidade (LCOE, Levelized cost of electricity) comparado com as outras opções com 0,15 \$(kWh)⁻¹, com ângulo ideal 7.838 kWh de eletricidade são produzidos a cada ano e vendidos à rede com o preço de 0,08 \$(kWh)⁻¹. Como resultado, foi verificado que a utilização de painéis FV em edifícios residenciais em áreas urbanas com alimentação completa e ângulo de 31° proporciona Danos à qualidade do ecossistema (DE, Damage to ecosystem quality), danos à saúde humana (DHH, Damage to human health) e danos à disponibilidade de recursos (DR, Damage to resource availability), com redução de 65%, 44% e 58%, respectivamente. As soluções técnicas são capazes de superar os desafios que existem, mas é importante fazer avaliações técnicas e econômicas para garantir a viabilidade e rentabilidade desses sistemas, bem como a segurança e confiabilidade dos mesmos.

Robert et al. (2019) analisam as oportunidades e barreiras para a implementação de sistemas FV em edifícios residenciais multifamiliares na Austrália. Também os principais fatores para à adoção de sistemas FV em edifícios multifamiliares e discutir as possíveis soluções para superar as barreiras encontradas. As barreiras identificadas incluem a falta de incentivos financeiros e regulamentações governamentais, falta de propriedade e controle, falta de conhecimento e apoio aos proprietários e inquilinos. Como oportunidade de adoção, o potencial para redução de custos de energia e emissões de gases de efeito estufa, o aumento do valor da propriedade. O estudo destaca a importância de políticas governamentais e parcerias público-privadas para superar as barreiras à adoção de sistemas FV em edifícios multifamiliares na Austrália. Além disso, o estudo identifica que apesar das barreiras, existem oportunidades para a adoção de sistemas fotovoltaicos como a adoção de rede incorporada como uma opção válida.

2.2 Estimativa e avaliação das necessidades e disponibilidades energéticas em edifícios residenciais multifamiliares

D'Agostino et al. (2022) investigam o potencial FV para edifícios de vários andares a alcançar o status de Edifício de Energia Quase Zero (NZEB, Near Zero Energy Building) na cidade do sul da Itália, Nápoles. O estudo foi conduzido somente em lajes de coberturas residenciais e escritórios, usando um modelo de simulação dinâmica de energia DesignBuilder. O modelo foi usado para avaliar o impacto de diferentes tamanhos e configurações de sistemas FV no consumo de energia de edifício de vários andares, na forma de L, quadrado e do tipo retangular. Para edifício residencial de 10 andares a demanda global é de 86200 kWh, edifícios de escritórios a demanda é maior, sendo 131600 kWh. A autossuficiência energética é de oito andares para edifícios residências e sete para edifícios de escritórios. A demanda geral para o edifício do tipo quadrado apresenta demanda geral de energia primaria inferior em comparação com os outros tipos, variando de 5% a 8%.

clima mediterrâneo

Krarti et al. (2021) analisam o desempenho de janelas rotativas deslizantes com sistema FV, para edifícios de apartamentos nos Estados Unidos. A análise indica que a utilização de bordas deslizantes em conjunto com os painéis FV pode diminuir consideravelmente o consumo de energia nas residências nos EUA. Em uma configuração de clima frio, como Chicago, a adoção de ângulos de oscilação deslizante de 0° a 90° pode acarretar reduções de 1,4% e 37,6% nas emissões de gases de efeito estufa sem e com a utilização de painéis fotovoltaicos, respectivamente. Além disso, em climas quentes, como Phoenix, essas reduções podem chegar a 31,4% e 87,4%. Os balanços deslizantes direcionados para o sul superam sistemas similares em outras direções devido à maior eletricidade gerada pelos painéis FV, independentemente da estratégia de controle utilizada. Além disso, quando aplicados em janelas voltadas para o sul a um ângulo de 45°, resultaram em uma redução de 56,3% na demanda líquida de energia, enquanto reduções de 31,6%, 35,5% e 9,3% foram alcançadas nas janelas voltadas para o oeste, leste e norte, respectivamente.

Roberts et al. (2019) analisam o interesse em aumentar o autoconsumo de eletricidade gerada por sistemas FV instalados nos telhados. Um estudo realizado

em dez prédios de apartamentos virtuais na Austrália analisou os fluxos financeiros e de eletricidade resultantes de diferentes abordagens técnicas e arranjos financeiros. Utilizando dados reais de consumo de energia e simulações de geração, o estudo investigou o impacto financeiro de diferentes capacidades de geração FV. A adição de sistema FV não é econômica se os custos de capital tiverem que ser reembolsados em um prazo de cinco anos. No entanto, em um período de 10 anos ou mais, a instalação de sistemas FV com capacidade entre 500 W e 1 kW por apartamento pode resultar em redução dos custos gerais, mesmo na ausência de um programa de tarifa de alimentação (FiT, food tariff program) no medidor principal. Com base nos resultados do estudo, é sugerido que a adoção de um sistema FV compartilhado em um prédio de apartamentos, com o objetivo de aumentar o autoconsumo, pode trazer benefícios financeiros para as famílias em determinadas situações.

Syed et al. (2020) examinam como um prédio de apartamentos de três unidades, localizado em Perth, na Austrália Ocidental, se beneficia de uma microrrede de energia compartilhada em termos de desempenho energético. Foi implementado um sistema de armazenamento de energia fotovoltaica e bateria, em conjunto com uma arquitetura de medição, em um prédio de apartamentos localizado em Perth. Os padrões de utilização de energia foram avaliados e a redução da dependência da rede elétrica foi analisada por meio da métrica de auto-suficiência. O apartamento com três unidades registrou uma diminuição de 22% no consumo médio anual de energia em comparação com o ponto de referência. Os resultados revelaram que a microrrede dependem em média 75% de fontes de energia renovável. A taxa anual de auto-suficiência reflete que 75% da demanda é atendida pela combinação de sistemas PV-BESS, enquanto os restantes 25% são supridos pela rede elétrica. Durante metade do ano, o sistema demonstrou uma auto-suficiência de 80%, porém os meses de inverno apresentaram um desempenho menos satisfatório. Em geral, a soma do consumo de energia das três unidades ao longo de um ano foi 22% inferior aos valores de referência estabelecidos para uma moradia isolada ocupada por três pessoas.

Gassar et al. (2022) investigam o impacto dos sistemas FV e material de mudança de bio-fase (BioPCMs, bio-phase change material) no custo do ciclo de vida (LCC, lifecycle cost) de edifícios residenciais multifamiliares de médio porte na Coreia do Sul. Por meio de simulações, foi estimado as necessidades anuais de

energia de cada edifício equipado com um sistema VRF eficiente. Em seguida, painéis FV são instalados nos telhados para suprir as demandas energéticas. Ao integrar BioPCMs no edifício, calcula-se a economia de energia. Os resultados mostram reduções significativas nas necessidades anuais de energia, tornando o LCC viável e com período de retorno entre 5 a 8 anos. Uma redução significativa de 35,03% a 49,78% nas necessidades anuais de energia desses edifícios em diferentes locais climáticos coreanos demonstra a viabilidade do LCC para edifícios multifamiliares de médio porte e baixo consumo de energia. A instalação de FV nos telhados supriu de 30% a 44% das necessidades anuais de eletricidade em cada edifício multifamiliar coreano de médio porte. Além disso, a incorporação de BioPCMs reduz o consumo de eletricidade para aquecimento e resfriamento em 5,81% a 6,71%.

Fina et al. (2021) revisam a literatura sobre o uso de plantas FV para autoconsumo em edifícios com vários apartamentos na Austrália e na Áustria. A metodologia incluiu uma análise detalhada de forma qualitativa e quantitativa dos estudos revisados, com ênfase em variáveis como custos, benefícios, políticas públicas, tecnologias e mercado. Os resultados indicam que a utilização de plantas FV para autoconsumo em edifícios multifamiliares pode trazer melhoras significativas, como a redução de custos de energia, geração de receita. Foi comparado em um sistema FV o tamanho ideal e as reduções de custos com e sem HVAC. Para Sydney sem HVAC o tamanho médio do sistema é 7% mais alto que em Viena com redução de custo de 10,55% para Sydney e 3,25% para Viena. Com HVAC Sydney aumenta para 8,07kW e a redução do custo médio passa para 11,57% e para Viena redução do custo em 1,6%.

Roberts et al. (2019) utilizam eletricidade residencial multi-ocupação com FV e armazenamento (morePVs, Multi-occupancy residential electricity with PV and storage) para modelar os fluxos de eletricidade e transações financeiras em apartamentos com FV e Sistema de armazenamento de energia da bateria (BESS, Battery energy storage system). Na metodologia os dados de entrada do modelo, incluindo carga e geração, arranjos de rede, parâmetros do BESS e custos, são detalhados. O estudo usa 12 meses de dados de carga combinada de prédios e apartamentos. A abordagem estocástica cria 50 "Virtual Buildings" para cada local, combinando perfis de carga. Os custos de capital são calculados com base em instalações na Austrália, com amortização em 20 anos a uma taxa de desconto de

6%. Diferentes cenários tarifários são considerados. A inclusão de sistemas de armazenamento de energia (BESS) aumenta a capacidade de autossuficiência energética em até 15-19% nos sistemas de rede incorporada (EN, embedded network) e 16-22% nos sistemas atrás do medidor (BTM, behind the meter), dependendo da localidade. No entanto, os benefícios adicionais diminuem quando a capacidade da BESS excede 1 kWh por unidade. A capacidade de autossuficiência compartilhada também é incrementada em até 12% nos sistemas EN e 10% nos sistemas BTM. Ao aplicar sistemas FV a cargas agregadas em vez de individuais, tanto a autossuficiência energética quanto a autossuficiência compartilhada aumentam. A adição de uma BESS central em sistemas EN com FV geralmente resulta em um aumento menor na autossuficiência energética em comparação com a adição de BESS individuais em sistemas BTM FV em algumas localidades.

2.3 - Possibilidades de Mercado em edifícios de Multi-unidade

Fina et al. (2020) analisam a viabilidade econômica de casos de contratos para geração compartilhada de geração FV e medidas de renovação em um edifício residencial de apartamentos. O estudo envolveu a coleta de dados de consumo energia do edifício, a análise de diferentes cenários de investimento em sistemas FV compartilhados e a avaliação da rentabilidade financeira desses casos de negócio. Uma comparação dos resultados de contratação da capacidade FV custeando o CO₂, mostra que conforme a taxa de juros aumenta a capacidade instalada diminui, com uma taxa de juros de 5% tem 9,46kW instalado, com 7% 7,97kW, 9% 6,69 kW, 11% 5,61kW, 13% 4,65kW e 15% 3,86 kW.

Woo et al. (2022) estudam os tipos de sistemas de energia solar existentes e suas características, bem como uma pesquisa de opinião com os proprietários e gestores de edifícios residenciais com multiunidades na Coreia do Sul. Enfatiza a importância dos sistemas FV avançados em edifícios residenciais multiunidades na Coreia do Sul, destacando seus benefícios econômicos e a análise da aceitação da transparência dos módulos. Dos proprietários e gestores de edifícios residenciais multiunidades na Coreia do Sul, esses estão cientes da importância dos sistemas de energia solar e acredita que eles podem ser economicamente viáveis e aceitáveis para uso em seus edifícios. Os consumidores demonstram uma preferência por painéis mais discretos com baixa visibilidade. No estudo foram analisados quatro

níveis de atributos: 0%, um painel completamente opaco, 100%, um painel completamente transparente semelhante ao vidro; 30% e 70%. Em janelas de edifícios foi analisado que para uma melhor aceitação é necessário valores próximos de 100% de transparência dos painéis.

Monna et al. (2020) analisam a viabilidade da produção de energia sustentável através da instalação de sistemas FV nos telhados de edifícios residenciais de apartamentos na Palestina. Levando em conta o ângulo de inclinação, o espaçamento entre as fileiras de painéis e a arquitetura do edifício. No caso de edifícios contendo de 2 a 4 unidades residenciais, a produção de eletricidade pode exceder as estimativas de consumo futuro. Em relação a edifícios com 4 a 8 unidades residenciais, eles são capazes de gerar eletricidade suficiente para atender às suas necessidades de consumo até 2030. Já nos edifícios com 12 a 24 unidades residenciais, a produção de eletricidade pode suprir mais da metade do consumo projetado para o futuro, também até o ano de 2030. O ângulo de inclinação de 27° oferece o maior rendimento específico anual para os sistemas FV, embora resulte em uma potência instalada e produção total de eletricidade mais baixa devido à distância maior entre os painéis solares. Porém, quando o espaço disponível no telhado é limitado para a instalação dos sistemas FV, um ângulo de inclinação inferior, aproximadamente 7°, torna-se a melhor escolha, pois proporciona a maior potência instalada. Os ângulos de inclinação de 27° e 17° fornecem resultados quase idênticos para diferentes tipos de edifícios e garantem o melhor rendimento anual específico, com uma produção de até 1650 kWh por kW instalado. Por outro lado, o ângulo de inclinação de 7° oferece a melhor produção anual de kWh por m^2 de área do telhado, podendo alcançar até 250 kWh por m^2 por ano.

2.4-Alocação e negociação de sistemas FV em edifícios de múltiplas unidades residenciais

Mohammadi et al. (2023) analisam a alocação e negociação de FV em edifícios de varias unidades, identificam os princípios de equidade energética, e os fatores que podem tornar o processo desigual para alguns moradores e com isso mostram um método de compartilhamento justo. São utilizados na pesquisa conceitos de justiça energética, equidade e participação pública para avaliar a distribuição equitativa e o acesso à energia renovável. Do método utilizado pode ser

notado um aumento no lucro dos vendedores de 59,7-127% e para os compradores uma redução nos custos de 8-21%. Nos casos analisados para alocar FV em edifícios de multiunidades é necessário considerar a equidade energética ao desenvolver a estratégia visto que no estudo analisado os edifícios são constituídos por inquilinos, moradores e proprietários. Enquanto que práticas voltadas para o mercado podem levar a uma distribuição desigual dos benefícios, por outro lado ação com comunidade e participação pública podem promover igualdade e inclusão.

Roberts et al. (2022) analisam a distribuição de custos e benefícios entre proprietários, inquilinos e proprietários em um complexo residencial com energia solar compartilhada. O modelo compara a economia agregada ao instalar FV individuais (BTM_I), agregando as cargas em uma rede incorporada (EN) e combinando EN com FV compartilhado (EN_PV). Também analisa a diversidade de resultados entre domicílios no arranjo EN_PV, considerando diferentes tarifas para distribuição de custos e benefícios. Os resultados indicam que o arranjo EN_PV gera economia significativa para proprietários e moradores de apartamentos, em comparação com BTM_I e EN. Proprietários economizam 25% em média, enquanto moradores economizam 15%. A distribuição de custos e benefícios varia de acordo com a tarifa. Na tarifa BAU, a maior parte dos benefícios vai para proprietários, enquanto na tarifa EN, a distribuição é mais equitativa. Benefícios do EN_PV são maiores para sistema de 110 kW devido à maior geração e menores custos de capex. Diferentes arranjos foram testados: Tarifa fixa, tarifa por tempo de uso e tarifa de pico crítico. Resultados indicam que a tarifa fixa repassou apenas 50% dos benefícios, enquanto a tarifa por tempo de uso repassou 75% e a tarifa de pico crítico, 90%. Tarifas adequadas são essenciais para maximizar benefícios e incentivar a participação dos consumidores em iniciativas de energia compartilhada.

Narjabadifam et al. (2023) realizam uma revisão crítica da literatura sobre produção coletiva FV conhecida como “community-shared solar” (CSS). Ao aplicar a estrutura da “multi-level perspective” (MLP), são analisados os principais aspectos técnicos, econômicos, socioeconômicos, políticos, regulatórios e institucionais. Uma revisão sistemática de 67 publicações científicas selecionadas com base em palavras-chave relevantes como solar, FV, comunidade de energia, PV, painel, modulo e solar compartilhado. Os artigos selecionados são do ano de 2018 a 2023 tendo o ano de 2022 com o maior número de artigos selecionados. Dos artigos analisados, 80% utilizaram de modelagem e simulação, enquanto 20% utilizaram de

uma abordagem teórica e empírica. Os resultados evidenciam que aspectos institucionais, regulatórios, socioeconômicos e políticos, são barreiras que podem reduzir o avanço do CSS.

2.5- Avaliações do potencial da tecnologia BIPV

Restrepo et al. (2023) utilizam uma abordagem holística para o projeto e avaliação de sistemas FV integrados em edifícios (BIPV, Building Integrated Solar Panels). Na abordagem é utilizado os termos capacidade total instalada, área utilizada disponível e a localização estratégica para evitar o sombreamento. Os resultados mostram que os fatores mais importantes afetam a operação dos sistemas BIPV. No estudo foi possível observar que o LCOE de novos projetos FV em escala de utilidade caiu 13% em 2021, a capacidade instalada acumulada total de FV no final de 2020 atingiu pelo menos 760,4 GW e que as adições anuais de geração FV globalmente acelerem durante 2023–2025, devido à recuperação mais rápida de aplicações FV distribuídas à medida que a economia global melhora.

Abdelhafez et al. (2021) determinam o potencial da tecnologia BIPV integrada aos telhados de edifícios em Hail City. Foi utilizado o software PVSOL, realizado um estudo sobre o potencial de desempenho de sistemas FV. Os procedimentos de simulação envolveram a criação de um modelo e o cálculo da taxa de desempenho e da eficiência do sistema para diferentes ângulos de inclinação. Constatou-se que quanto maior a inclinação do sistema, maior a taxa de desempenho e eficiência, apesar da diminuição da radiação solar. Também foi observada uma correlação direta entre a irradiação e a temperatura do módulo FV, sendo que a diminuição da temperatura resulta em aumento da eficiência. A eficiência média das células FV é de 14% a 17%, e a energia não convertida em eletricidade é transformada em calor. A inclinação ideal para o sistema FV é de 30° para Hail, com uma produção anual de 7662.3 kWh em uma área de 48.8 m². Levando em consideração a área total adequada para painéis FV em Hail, estimada em 9 milhões de metros quadrados, a área efetiva para uso de painéis em telhados residenciais é de 2,210,004.38 m².

Feng et al. (2023) analisam o potencial dos sistemas FV integrados a edifícios residenciais em Xangai para avaliar a utilização de sistemas FV integrados, levando as condições meteorológicas e as características dos edifícios. Na implantação do

sistema a altura do edifício é um fator determinante, visto que afeta diretamente o consumo de energia e a área disponível. Foram analisadas edificações residências entre 1 a 15 pavimentos. As fachadas voltadas para o norte são ditas com pouca irradiação, devido a localização geográfica da China com sua a localização no hemisfério Norte, devido a padrões e normas todos os edifícios devem ser direcionados para o sul. Sendo o ângulo de inclinação ideal para o sul ($\beta=20^\circ$, $\gamma=0^\circ$) tendo a melhor irradiação solar. A irradiação nas fachadas sul ($\beta=90^\circ$, $\gamma=0^\circ$) varia ao longo das estações do ano. Com base em análise anual temos o ângulo de inclinação ideal, fachada sul, leste ou oeste e fachada norte sendo 102,8%, 62,5%, 57,4% e 44,5% respectivamente da irradiação global horizontal em Xangai.

Chen et al. (2022) analisam as barreiras para a implementação de BIPV em Cingapura. Utilizam abordagem de modelagem estrutural interpretativa (ISM, interpretive structural modeling) para identificar e analisar as inter-relações entre as barreiras. A abordagem ISM é um método de pesquisa qualitativo que é usado para identificar e estruturar as relações entre um conjunto de elementos. A abordagem ISM foi usada para identificar 19 barreiras à implementação do BIPV em Cingapura. As barreiras foram então categorizadas em quatro grupos: fatores autônomos, fatores dependentes, fatores de ligação e fatores determinantes. O alto custo do capital é uma barreira para a implementação do BIPV em Cingapura. A respeito do custo do sistema desafios como a falta de incentivos governamentais, escassez de conhecimento técnico e a falta de conscientização pública sobre o BIPV. Cingapura aumentou a instalação de painéis solares em edifícios com o modelo 3D, fizeram uma avaliação do potencial da energia solar. Tendo $36,8 \text{ km}^2$ de superfície disponível para uso de energia solar, que inclui 35,9% de cobertura, 26,7% de fachada e 37,4% de outras superfícies. A capacidade solar de Cingapura pode chegará a 8,6 GW até 2050 caso a tecnologia fosse implementada.

Stauch et al. (2019) verificam a viabilidade e aceitação de modelos de negócios de energia solar comunitária integrados a edifícios na Suíça. A energia solar comunitária como um modelo de negocio. Um estudo experimental com ($n=413$) para identificar produtos solares cooperativos relacionados exclusivamente a BIPV e produtos solares cooperativos projetados apenas com energia solar convencional em telhados, comparando a disposição dos clientes em comprar produtos solares. Uma análise experimental de consumidores suíços de eletricidade demonstra a importância e o potencial de um modelo de negócio comunitário de

energia solar para a integração de sistemas fotovoltaicos em edifícios. Dos entrevistados, um total de 46,2% dos participantes do grupo BIPV responderam “sim” ou “certeza sim” quando perguntados se estariam dispostos a comprar um ou mais painéis solares de uma usina de energia solar da comunidade local. Em relação às propostas com geração de energia solar convencional comunitária, 50,3% dos participantes responderam que “sim” ou “certeza sim”. Dos resultados dessa abordagem, podendo ser uma solução promissora para promover a geração e o consumo de energia renovável de forma colaborativa e sustentável.

Abu et al. (2022) avaliam o potencial FV em prédios de apartamentos em Amã, na Jordânia, considerando telhado e as superfícies verticais do edifício. Tendo a mais elevada radiação solar anual com 2298 kWh/m^2 para a superfície inclinada a 30° sul. Com menor radiação as fachadas verticais com 33%, 40%, 43% e 75% para orientações sul, leste, oeste e norte. Com uma análise do local para avaliar a irradiância solar e as condições de sombreamento em possíveis locais de instalação FV, no telhado com 2050 kWh/m^2 , área do telhado próximo a escada com níveis de sombreamento $1050\text{-}1680 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$, fachada vertical sul 1300 kWh/m^2 , fachada vertical sul parte inferior 1050 kWh/m^2 . Logo a área mais indicada para a região de Amã, na Jordânia é o telhado e logo depois a fachada sul devido aos seus índices de radiação solar.

Moreno et al. (2020) utilizam uma metodologia que se inicia com a identificação de arquétipos de edifícios residenciais por meio da análise de Sistemas de Informação Geográfica e dados estatísticos. Em seguida, realiza a seleção e análise de estudos de caso, com foco específico em um edifício multifamiliar em Neuchâtel, Suíça. Posteriormente, são implementados quatro cenários de projeto, variando desde uma linha de base até uma transformação, visando aprimorar o desempenho energético e levando em consideração a coerência arquitetônica. Por fim, uma avaliação de múltiplos critérios é conduzida, avaliando os cenários com base em FV, balanço energético, impacto ambiental e aspectos econômico/financeiros. Os resultados dos indicadores de desempenho FV para cada cenário são apresentados, mostrando que são muito melhores do que os obtidos usando a eletricidade da rede suíça. O LCOE varia entre 0,042 e 0,089 CHF/kWh, mais vantajoso do que os 0,25 CHF/kWh da rede. Os valores de energia primária não renovável e conteúdo de carbono também são inferiores aos da rede. O tempo de retorno energético e as emissões de gases de efeito estufa são inferiores a 25

anos. Os valores de rendimento energético estão entre 748 e 957 kWh-pv/kWhp. Os resultados destacam elementos interessantes, como o efeito de autofinanciamento proporcionado pelos cenários de renovação com soluções BIPV. Demonstra que é possível alcançar até 83% de economia total de energia com uma combinação de estratégias passivas, ativas e BIPV.

Lauffer et al. (2020) analisam a geração de energia elétrica em uma edificação residencial por meio da aplicação de um sistema FV. O objetivo foi comparar o desempenho em diferentes fachadas, localizações geográficas e tecnologias FV utilizando o software EnergyPlus. A simulação foi realizada com 13 zonas térmicas em três pavimentos: Base, pavimento tipo e cobertura. O software EnergyPlus foi usado para análises horárias da geração FV, consumo e utilização de energia. Foram selecionadas duas cidades para análise: Porto Alegre/RS e Recife/PE. O sistema FV conectado à rede foi dividido em cinco subsistemas para análise de cobertura e fachadas. O consumo médio mensal dos apartamentos simulados em Porto Alegre foi de 21,93 kWh/m². Em Recife, foi de 31,46 kWh/m², representando um aumento de 26,26% em relação a Porto Alegre. O consumo anual em Porto Alegre foi de 75,17 kWh e em Recife foi de 107,61 kWh. Recife obteve um desempenho superior na geração FV. Foram testadas cinco tecnologias de módulos FV: c-Si, mc-Si, a-Si, CdTe e CIGS. Em Porto Alegre, todas as tecnologias suprimiram a demanda da edificação, enquanto em Recife, apenas a tecnologia a-Si não foi suficiente. A tecnologia de silício monocristalino foi superior com 140,7 kWh/m² em Porto Alegre e 146,6 kWh/m² em Recife.

2.6 - Explorações das estratégias para instalação de sistemas FV em edifícios de apartamentos

D'Agostino et al. (2022) utilizam ferramentas de modelagem EnergyPlus e TRNSYS para analisar a melhor maneira de combinar energia solar com melhor isolamento de telhados. Uma análise em Milão, na Itália, considerando três tipos de edifícios (unifamiliar, multifamiliar, complexo de apartamentos) com diferentes formas, níveis de isolamento e estruturas de cobertura. O sombreamento de painel FV reduziu cargas de resfriamento de verão de edifícios multifamiliares não isolados em 17 %. A energia primária em edifícios multifamiliares teve uma economia de 64,3% considerando o isolamento ideal e FV adicionado. O efeito do impacto do

sombreamento nos telhados de edifícios multifamiliares não isolados, o resfriamento teve uma redução de 11,3% economizando 827 kWh/ano.

Yang et al. (2021) utilizam abordagem qualitativa e observação participante, investigando três casos de instalação coletiva de mini-FV em varandas de complexos residenciais em Dongdaemun, Seul. Analisaram o processo, governança e implicações internas que permitiram alta adesão. Desafios incluíram oposição de moradores e preferências de orientação. De um total de 371 domicílios no complexo cerca de 20 famílias que instalaram mini-FV reclamaram e cerca de 70.000 KRW foram fornecidos a essas famílias. Logo para projetos coletivos fundos adicionais são essenciais. Para garantir seu sucesso, é crucial considerar os seguintes fatores: Existência de um modelo a seguir, gerente proativo do escritório do apartamento, conscientização do gerente do escritório, existência de uma organização de apoio, suporte da comunidade, suporte governamental e adoção de tecnologia.

Ciesla et al. (2021) verificam residências populares com bom potencial solar na cidade de Campinas-SP. Utilizando o software HomerPro, foram realizadas modelagens e avaliações técnicas e financeiras de um sistema de geração distribuída conectado à rede elétrica. A viabilidade econômica foi analisada para determinar o tempo de retorno do investimento na instalação de um sistema FV. Devido ao fato de ser um conjunto habitacional de baixa renda e com alta concentração populacional. Composto por 20 torres de 5 andares, cada uma com 4 apartamentos, totalizando 402 unidades. O objetivo foi investigar a possibilidade de instalação de painéis solares nesse conjunto habitacional, sendo constatado que essa medida seria viável, trazendo benefícios como redução nas contas de luz, maior segurança energética e diminuição nas emissões de gases do efeito estufa. Os resultados quantitativos indicaram que o custo total do sistema foi estimado em R\$ 1.613.000,00, com uma economia mensal média de R\$ 96,89 na conta de luz dos moradores e um período de retorno de aproximadamente 6,6 anos. Paralelamente, o estudo indica que aproximadamente 80% das famílias de baixa renda com interesse em adotar o sistema FV. Logo a utilização da energia solar é uma opção viável, capaz de reduzir os custos de eletricidade e promover o uso de uma fonte de energia.

Oliveira et al. (2019) aplicam uma metodologia para analisar um edifício residencial multifamiliar em Brumadinho. A pesquisa envolveu a análise de projetos técnicos, memorial descritivo e faturas de energia elétrica dos usuários. O consumo

médio mensal de energia por pessoa foi de 49,91 kWh. Para determinar a radiação solar, foram levados em consideração valores como coordenadas geográficas, ângulos azimutais e inclinação do telhado. O sistema dimensionado gera 11.134,91 kWh anualmente, proporcionando uma economia de R\$10.664,95. No entanto, o sistema não supre completamente a demanda elétrica da edificação, sendo necessário obter 4.463,77 kWh/ano da concessionária para complementar, próximo de 32% do total. A análise financeira revelou um Valor Presente Líquido (VPL) positivo, uma Taxa Interna de Retorno (TIR) superior à taxa mínima de atratividade e um tempo de retorno do investimento de 6,36 anos pelo payback simples e 6,6 anos pelo payback descontado. SFCR supriu 70% da demanda, viabilidade técnica foi confirmada. Análise econômica indica índices favoráveis, pois payback descontado é menor que a vida útil do sistema e taxa de retorno atrativo.

Soares et al. (2020) realizam um estudo em Brasília/DF, Asa Norte, abrangendo os Blocos D, G e K de um condomínio residencial vertical de dois pavimentos. Analisaram o dimensionamento de um sistema FV, considerando o consumo de energia das áreas comuns. A viabilidade do projeto em estudo foi por meio da análise econômica utilizando indicadores financeiros (TIR, VPL e Payback). Foram considerados quatro cenários para a instalação de um sistema FV, avaliando-se diferentes formas de financiamento. O investimento com 100% de financiamento apresenta TIR de 14%, VPL de R\$ 36.211,43 e período de retorno de 3 anos e 11 meses. No segundo cenário, com 50% de financiamento, a TIR é de 39%, o VPL é de R\$ 101.607,76 e o payback é de 2 anos e 2 meses. Já no terceiro cenário, com recursos próprios, a rentabilidade é de 6.777,02. Por fim, no quarto cenário, com 100% de financiamento por terceiros, a TIR é de 16%, o VPL é de R\$ 25.294,41 e o payback é de 6 anos e 3 meses. Por fim atendendo as necessidades dos blocos, os cenários 1, 2 e 4 são viáveis economicamente, com TIR de 14%, 39% e 16% respectivamente, e o cenário 3 por ser um investimento próprio com rentabilidade de 22%, foi classificado como investimento de baixo risco.

Lin et al. (2020) analisam o desempenho e a viabilidade de um sistema FV-Hidrelétrico de Armazenamento por Bombeamento (PV-PHS, Photovoltaic System with Battery) em dois cenários de construção diferentes: Um edifício de vilas e um edifício de apartamentos. O estudo considera aspectos técnicos e econômicos do sistema. Uma comparação entre os edifícios de vilas e apartamentos destaca as vantagens do edifício de apartamentos por ser mais alto em termos de desempenho

do sistema PHS. O reservatório superior (UR, upperreservoir) no edifício de vilas é esgotado de água fora do período específico de sol, enquanto o UR no edifício de apartamentos tem uma capacidade mais duradoura, abastecendo os moradores um período mais longo. A demanda de carga suprimida é maior para o edifício de apartamentos (76,47%) em comparação com o edifício de moradias (45,13%). Uma análise econômica considera o período de retorno (PBP, payback period) do sistema. O PBP para o edifício de moradias é calculado em 9,01 anos, enquanto para o edifício de apartamentos é de 7,06 anos. O cenário do edifício de apartamentos mostra uma recuperação de custos mais rápida devido à maior receita

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A realização de pesquisa acadêmica de qualidade requer acesso a fontes de informações confiáveis e atualizadas. Nesse sentido, plataformas de pesquisa foram amplamente utilizadas para a busca e seleção de artigos científicos relevantes. Neste trabalho foram utilizadas três plataformas renomadas: Scopus, Google Scholar e Elsevier.

Neste trabalho, foi adotada uma abordagem estritamente baseada em artigos científicos para coleta e análise de dados. A escolha de focar exclusivamente em artigos científicos se deve à relevância e credibilidade dessas fontes de informação no contexto acadêmico e científico. Ao optar por utilizar apenas artigos científicos, manter um alto padrão de rigor e excelência acadêmica nas pesquisas. É importante ressaltar que o uso exclusivo de artigos científicos pode limitar o escopo da pesquisa, uma vez que outras fontes de informação, como livros, relatórios técnicos ou materiais promocionais, não foram consideradas neste estudo. No entanto, a decisão de focar em artigos científicos foi tomada para garantir a qualidade, precisão e consistência dos dados utilizados. Desta maneira, a utilização exclusiva de artigos científicos demonstra o compromisso com a busca da excelência acadêmica neste trabalho. A abordagem rigorosa adotada contribui para a construção de uma base teórica sólida e confiável.

Buscando resultados mais criteriosos, foi utilizado um filtro nas pesquisas para selecionar artigos mais recentes. O foco foi em estudos mais atuais com publicações a partir do ano de 2019. Na pesquisa é adotado para a seleção dos artigos três expressões-chave, buscando artigos que tenham ambas as palavras em sua composição sendo elas "fotovoltaics" + "multi-unitbuilding" + "challenges". Essa etapa foi dividida em duas, sendo o início dela composta por pesquisas somente em artigos científicos internacionais como fonte de informação. A pesquisa internacional tem como objetivo aproveitar as informações em diversa parte do mundo, assim contribuindo para uma pesquisa mais ampla. Após isso foi iniciado a pesquisa nacional utilizando as mesmas expressões-chaves utilizadas, "FV" + "edifícios multifamiliares" + "desafios", a pesquisa nacional é essencial para uma compreensão da realidade do tema no Brasil. A união da pesquisa abrangendo temas nacionais e internacionais busca uma compreensão mais profunda do tema, assim obtendo uma visão mais completa, enriquecendo a pesquisa e permitindo identificação de

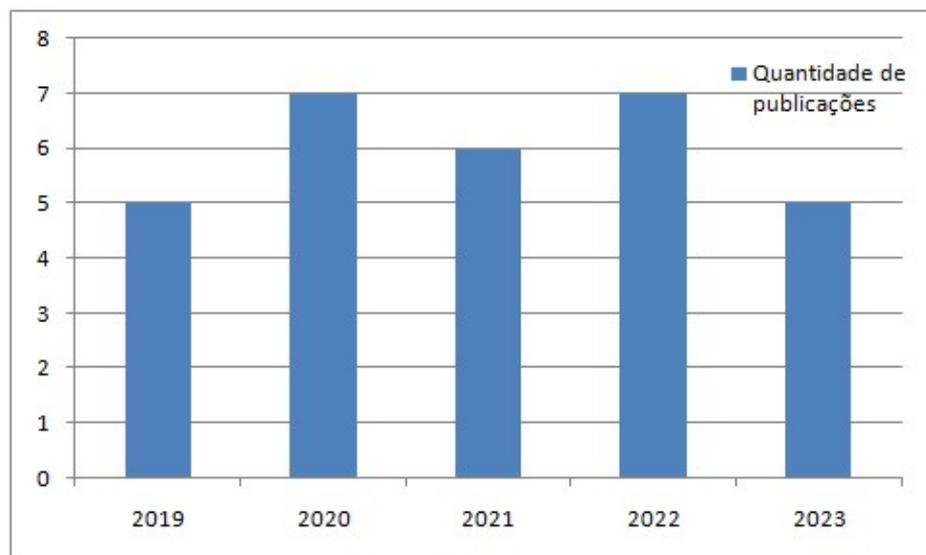
soluções mais eficazes.

Em seguida no processo de pesquisa com a definição de critérios de busca, foram identificados 56 possíveis artigos que poderiam vir a ser relevante para o estudo. Os 56 artigos apresentam uma ampla variedade de abordagens de metodologias e diferentes perspectivas. A fim de excluir os artigos que não se encaixavam no escopo do tema selecionado, foi realizado a análise dos “Abstracts” de cada artigo. Com isso permitindo deixar fontes relevantes e garantir a consistência do objetivo do trabalho, considerado a pertinência dos artigos dentro do tema de pesquisa.

Com isso após a exclusão dos artigos fora do tema da pesquisa com base nas expressões-chave e a leitura dos “Abstracts”, levando em consideração os critérios, como relevância, atualidades e contribuição para o objetivo da pesquisa. Dos 56 artigos iniciais foram mantidos 30 que atenderam aos critérios estabelecidos. A escolha dos artigos com objetivo de garantir a qualidade e buscar as tendências futuras no setor, fornecendo um embasamento robusto e confiável para análise e discussões para apresentação do TCC, garantindo a consistência e a validade das informações.

Buscando mostrar a quantidade de artigos de acordo com o ano de publicação a (figura 6) representa a distribuição temporal dos estudos analisados. Permitindo identificar as tendências e evoluções no decorrer do tempo.

Figura 6- Quantidade de artigos em relação ao ano de publicação

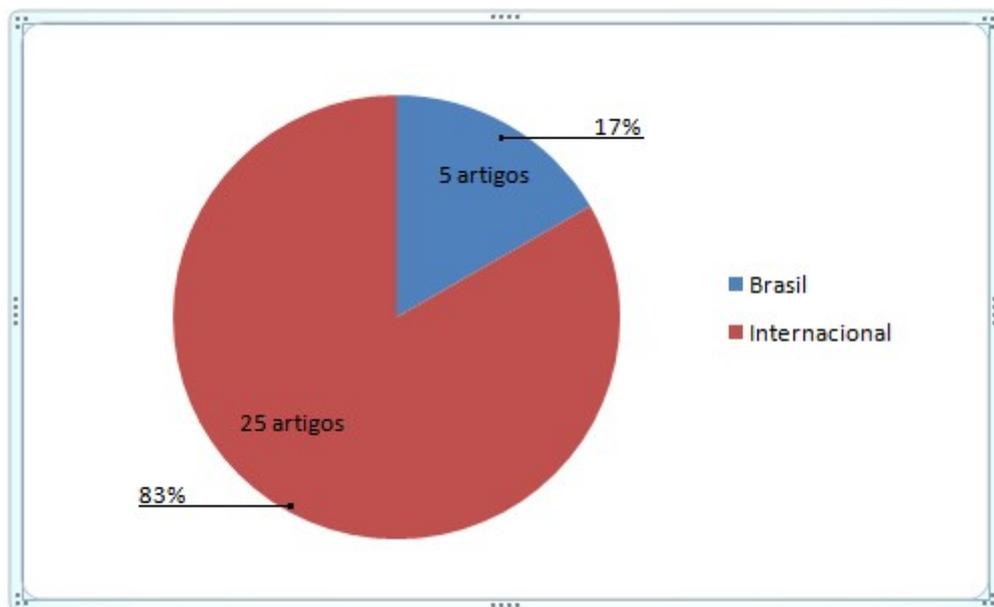


Fonte: Próprio Autor

É importante ressaltar que para os artigos do ano de 2023 foram selecionados somente artigos até o mês de junho de 2023 devido à data de elaboração da pesquisa. Contudo o gráfico representa uma visão clara da distribuição temporal dos estudos analisados.

A respeito da procedência dos artigos, visando a abrangência e o alcance da pesquisa. A inclusão de estudos nacionais e internacionais buscando uma perspectiva ampla. A (figura 7) representa a quantidade de artigos de acordo com a origem.

Figura 7- Quantidade de artigos de acordo com a origem.



Fonte: Próprio Autor

O gráfico mostra que a maioria dos artigos é de fonte internacional, representando uma totalidade de 83% dos artigos selecionados. Essa predominância de estudo mostra a contribuição de pesquisadores de diversos países e contextos. Mesmo a quantidade dos artigos nacional sendo inferior vale ressaltar a importância, essa diversidade de origem fortalece a validade e abrangência dos resultados. Portanto a abordagem global nesta pesquisa contribui para a qualidade e relevância para a construção de uma base sólida para a compreensão e avanço do tema proposto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo apresenta os resultados e as discussões da revisão bibliográfica realizada neste trabalho de conclusão de curso. A principal meta foi investigar e analisar o panorama e tendências atuais da GD em edifícios residenciais multifamiliar, explorando as novas oportunidades de mercado encontradas nesse contexto. Durante o estudo, foram exploradas as possibilidades emergentes e discutidas suas implicações.

Para esse fim, foram criteriosamente escolhidos 30 artigos científicos relevantes e atualizados, que tratam de diferentes tópicos relacionados à nossa área de pesquisa. Através de uma análise minuciosa desses artigos, foram identificados os principais conceitos, metodologias, resultados e tendências, permitindo obter conclusões relevantes e promover discussões que contribuem para a compreensão e o desenvolvimento do tema.

A tabela 1 apresenta os 30 artigos selecionados, organizados de acordo com sua relevância e contribuição para o estudo. Cada artigo possui informações detalhadas, como título, autores, localização e metodologia. Essa tabela servirá como uma referência prática para os leitores interessados em aprofundar-se nos estudos referenciados.

Tabela 1 - Artigos selecionados para revisão bibliográfica.

AUTOR	LOCALIZAÇÃO	OBJETIVO/MÉTODO	TÍTULO
Fina et al. (2020)	Áustria	Investigar a rentabilidade da implementação de FV.	Profitability of Contracting Business Cases for Shared Photovoltaic Generation and Renovation Measures in a Residential Multi-Apartment Building
Feng et al.(2023)	China	Avaliar o potencial de BIPV na China.	Potential of Residential Building-Integrated Photovoltaic Systems in Different Regions of China
Fardi et al.(2021)	Irã	Verificar a principal solução para utilização de painéis FV em Teerã, no Irã.	Towards Achieving the Best Solution to Utilize Photovoltaic Solar Panels for Residential Buildings in Urban Areas

Chen et al. (2022)	Singapura	Analisar as barreiras para a implementação de BIPV em Singapura.	Analysis of the Barriers to Implementing Building-Integrated Photovoltaics in Singapore Using an Interpretive Structural Modeling Approach
Fina et al. (2021)	Áustria e Austrália	Rever a literatura sobre o uso de plantas FV para autoconsumo em edifícios com vários apartamentos na Austrália e na Áustria.	Exogenous Influences on Deployment and Profitability of Photovoltaics for Self-Consumption in Multi-Apartment Buildings in Australia and Austria
Mohammadi et al. (2023)	Teórico	Analisar alocação e negociação de FV em edifícios de várias unidades, mostrando os princípios de equidade energética, e os fatores que tornam o processo desigual para alguns moradores, mostrando um método de compartilhamento justo.	Applying Energy Justice Principles to Renewable Energy Trading and Allocation in Multi-Unit Buildings
Narjabadifam et al. (2023)	Europa, Ásia, America do Norte, America Central, África	Rever a literatura sobre CSS ao aplicar a estrutura de MLP.	Critical Review on Community-Shared Solar: Advantages, Challenges, and Future Directions
Restrepo et al. (2023)	Colômbia	Usar abordagem holística para o projeto e avaliação de BIPV.	A Holistic Approach for the Design and Assessment of Building-Integrated Photovoltaic Systems
Roberts et al. (2019)	Austrália	Analisar as oportunidades e barreiras para a implementação de sistemas FV em edifícios residenciais multifamiliares na Austrália.	Opportunities and Barriers for Photovoltaics on Multi-Unit Residential Buildings: Reviewing the Australian Experience
Stauch et al. (2019)	Suíça	Investigar a disposição dos clientes em comprar uma oferta solar comunitária envolvendo exclusivamente BIPV em comparação com uma oferta envolvendo apenas painéis convencionais.	Community Solar as an Innovative Business Model for Building-Integrated Photovoltaics: An Experimental Analysis with Swiss Electricity Consumers
Woo et al. (2022)	Coréia do Sul	Analisar o valor econômico que os consumidores impõem aos sistemas residenciais avançados de energia solar, bem como os níveis de aceitação dos consumidores.	Economic Value and Acceptability of Advanced Solar Power Systems for Multi-Unit Residential Buildings: The Case of South Korea

Abu et al. (2022)	Jordânia	Avaliar a área adequada nas superfícies do edifício para instalação FV.	Assessment of Solar Photovoltaics Potential Installation into Multi-Family Building's Envelope in Amman, Jordan
D'Agostino et al. (2022)	Itália	Avaliar a possibilidade de obtenção de um edifício NZEB utilizando apenas fontes de energia renováveis.	Obtaining the NZEB Target by Using Photovoltaic Systems on the Roof for Multi-Storey Buildings
D'Agostino et al. (2022)	Itália	Otimizar o isolamento da cobertura e determinar a relação custo-benefício da instalação FV com e sem armazenamento elétrico em diferentes protótipos de edifícios.	Optimizing Photovoltaic Electric Generation and Roof Insulation in Existing Residential Buildings
Krarti et al. (2021)	Estados Unidos	Coleta, processamento e análise de dados, avaliação de cargas.	Evaluation of PV integrated sliding-rotating overhangs for US apartment buildings
Monna et al. (2020)	Palestina	Reunir uma combinação de consumo de energia em edifícios residenciais; levantamento das tipologias residenciais mais utilizadas; e geração renovável para diferentes cenários.	A Comparative Assessment for the Potential Energy Production from PV Installation on Residential Buildings
Roberts et al. (2019)	Austrália	Modelar fluxos de eletricidade e transações financeiras em prédios de apartamentos sob uma variedade de configurações técnicas e financeiras.	A Comparison of Arrangements for Increasing Self-Consumption and Maximizing the Value of Distributed Photovoltaics on Apartment Buildings
Syed et al. (2020)	Austrália	Coletar, processar e analisar dados, avaliação de cargas.	Performance of a shared solar and battery storage system in an Australian apartment building
Yang et al. (2021)	Coréia do Sul	Analisar o processo e a governança usando dados coletados por meio da observação participante.	Building energy commons: Three mini-pv installation cases in apartment complexes in seoul

Lauffer et al. (2020)	Brasil	Analisar a implementação de BIPV.	Simulação e análise de diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos aplicados em uma edificação residencial vertical
Ciesla et al. (2021)	Brasil	Verificar a viabilidade da instalação de painéis FV e análise do local de instalação.	Painéis fotovoltaicos em um conjunto de edificações popular em Campinas: Viabilidade econômica e social
Gassar et al. (2022)	Coréia do Sul	Estimar e avaliar as necessidades e disponibilidades energéticas resultantes da aplicação de sistemas FV distribuídos e materiais de mudança de fase biológica em projetos de edifícios residenciais multifamiliares de média dimensão, considerando os valores do custo do ciclo de vida.	Feasibility Assessment of Adopting Distributed Solar Photovoltaics and Phase Change Materials in Multifamily Residential Buildings
Oliveira et al. (2019)	Brasil	Coletar e analisar dados, determinação de HSP, estudo sombreamento, definição do FV, estimativa do investimento, análise viabilidade econômica.	Análise de viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma edificação multifamiliar.
Roberts et al. (2022)	Austrália	Usar a ferramenta de código aberto (morePVs), que modela fluxos de eletricidade e transações financeiras em prédios de apartamentos com FV.	Efficient, Effective, and Fair Allocation of Costs and Benefits in Residential Energy Communities Deploying Shared Photovoltaics
Soares et al. (2020)	Brasil	Analisar o dimensionamento de um sistema FV em três blocos de apartamentos, levando em consideração o consumo de energia das áreas comuns	Avaliação econômica e técnica de um sistema conectado à rede: estudo de caso de condomínio na cidade de Brasília, Brasil
Frate et al. (2023)	Brasil	Analisar obstáculos e facilitadores da adoção de sistemas FV em condomínios residenciais, entrevistando especialistas.	Barreiras para adoção de sistemas FV em condomínios residenciais: Vozes de especialistas do planalto central do Brasil.

Lin et al. (2020)	China	Analisar o desempenho e a viabilidade de um sistema FV-Hidrelétrico de Armazenamento por Bombeamento (PV-PHS) em dois cenários: um edifício de vilas e um edifício de apartamentos.	Prefeasibility Study of a Distributed Photovoltaic System with Pumped Hydro Storage for Residential Buildings
Abdelhafez et al. (2021)	Arábia Saudita	Determinar o potencial da tecnologia BIPV integrada aos telhados de edifícios em Hail City.	Integrating Solar Photovoltaics in Residential Buildings: Towards Zero Energy Buildings in Hail City, KSA
Roberts et al. (2019)	Austrália	Modelar os fluxos de eletricidade e transações financeiras em apartamentos com FV e BESS.	Impact of Shared Battery Energy Storage Systems on Photovoltaic Self-Consumption and Electricity Bills in Apartment Buildings
Moreno et al. (2020)	Suíça	Utilizar uma metodologia que inicia com a identificação de arquétipos de edifícios residenciais por meio da análise de Sistemas de Informação Geográfica e dados estatísticos.	Active Renovation Strategies with Building-Integrated Photovoltaics (BIPV): Application on an Early 20th Century Multi-Family Building

Fonte: Próprio Autor

Será realizada, ao longo desta seção, uma exploração e discussão das principais descobertas e tendências extraídas desses artigos, com o intuito de estabelecer conexões entre eles e ampliar a compreensão acerca da geração distribuída em edifícios residenciais multifamiliares. Serão abordados diversos temas, incluindo benefícios dos sistemas FV, desafios dos sistemas FV, Aspectos técnicos dos sistemas FV entre outros. Através de uma análise crítica e reflexiva, pretende-se consolidar o conhecimento nessa área e oferecer informações valiosas para profissionais, pesquisadores e tomadores de decisão que desejam realizar e fomentar a geração distribuída em edifícios residenciais. O objetivo é contribuir de forma significativa para a disseminação e adoção dessa prática, fornecendo subsídios relevantes para os interessados.

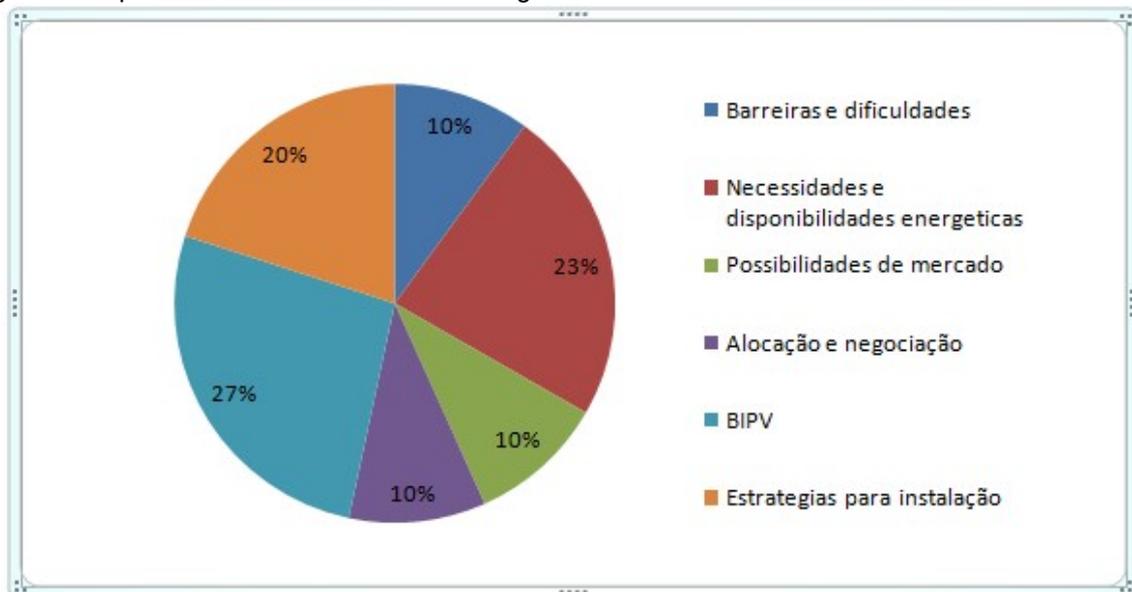
As contribuições originais deste trabalho, apresentadas neste capítulo, vão além da síntese dos estudos revisados. Elas proporcionam novas perspectivas e tendências para o campo da GD em edifícios residenciais de várias unidades, enriquecendo assim o conhecimento nesta área.

A figura 8 informa a quantidade de artigos resumidos em porcentagem por

tópicos selecionados para os 30 artigos científicos. Esses artigos abordam uma variedade de temas relacionados, fornecendo uma visão abrangente e aprofundada sobre os principais conceitos. A figura apresenta um panorama dessas informações. Dos 30 artigos esses foram divididos da seguinte forma:

- 10% dos artigos relacionados com barreiras e dificuldades;
- 23% dos artigos sobre Necessidades e disponibilidades energéticas;
- 10% dos artigos descrevem sobre possibilidades de mercado;
- 10% dos artigos descrevem sobre Alocação e negociação;
- 27% dos artigos sobre BIPV;
- 20% dos artigos a respeito de estratégias para instalação de FV.

Figura 8 – Tipos de assuntos contidos nos artigos.



Fonte: Próprio Autor

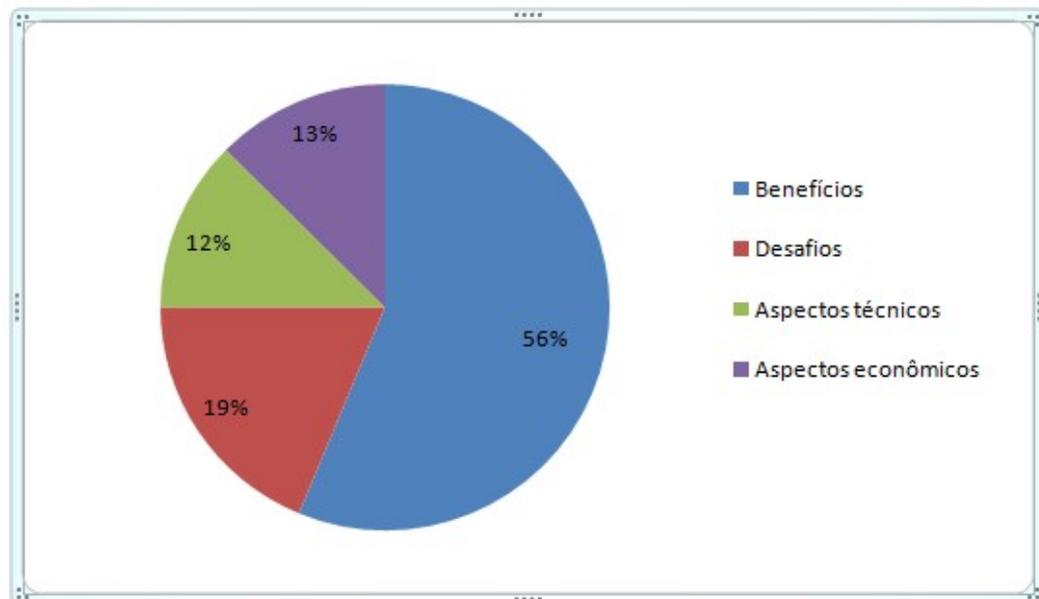
Analisando os resumos dos artigos selecionados foram identificadas algumas declarações mais recorrentes como benefícios, desafios, aspectos técnicos e aspectos econômicos. Foi contado o número de declarações em cada categoria, com isso calculado o número de porcentagens baseado nas declarações em cada categoria. Um total de 180 declarações nos artigos revisados, essas afirmações foram distribuídas da seguinte forma:

- 108 estão relacionados a benefícios;
- 36 a desafios;

- 24 a aspectos técnicos;
- 24 a aspectos econômicos.

É importante destacar que esses valores são específicos para os 30 artigos selecionados neste trabalho de revisão bibliográfica. Caso a análise fosse ampliada para um escopo mais abrangente de estudos sobre sistemas FV em edifícios residenciais, é possível que as porcentagens apresentem variações significativas. A figura 9 apresenta essa distribuição das declarações entre as categorias mencionadas, fornecendo uma representação gráfica das principais temáticas abordadas nos artigos revisados.

Figura 9 - Declarações nos artigos de revisão bibliográfica.



Fonte: Próprio Autor

Dos resultados analisados, observa-se que 56% das declarações abordam os benefícios associados à implementação de sistemas FV em edifícios multifamiliares. Isso pode demonstrar um consenso entre os autores dos artigos revisados em relação aos impactos positivos desses sistemas. Das declarações analisadas, 19% delas abordam os desafios enfrentados nesse contexto. Esses desafios englobam uma variedade de aspectos, desde questões técnicas, como a limitação de espaço para a instalação dos painéis solares e a integração com a infra-estrutura existente, até desafios financeiros, como o alto investimento inicial requerido.

Além disso, foram identificados desafios regulatórios, de governança e de participação dos condôminos como elementos a serem superados. Um percentual

de 12% e 13% cada aborda aspectos técnicos e econômicos. No que diz respeito aos aspectos técnicos, foram mencionados tópicos como a seleção apropriada da área de instalação, a eficiência dos painéis solares, o dimensionamento do sistema, a integração com os demais componentes elétricos do edifício e a consideração de elementos como sombreamento e orientação solar. Já as declarações relacionadas aos aspectos econômicos dizem respeito à viabilidade financeira da instalação de sistemas FV em edifícios residenciais. Nesse contexto, são analisados os custos e benefícios envolvidos, o retorno do investimento, as opções de financiamento disponíveis e a disponibilidade de incentivos governamentais ou programas de subsídios.

A tabela 2 apresenta os autores dos artigos revisados, juntamente com a quantidade de declarações em cada categoria mencionada, fornecendo uma visão geral clara da contribuição de cada estudo para as diferentes áreas analisadas.

Tabela 2 – Distribuição de declarações nos artigos selecionados.

CATEGORIA	AUTORES	NÚMERO DE DECLARAÇÕES
Benefícios	Abdelhafez et al. (2021), Feng et al. (2023), Chen et al. (2022), Stauch et al. (2019), Abu et al. (2022), Moreno et al. (2020), Lauffer et al. (2020), D'Agostino et al. (2022), Yang et al. (2021), Ciesla et al. (2021), Oliveira et al. (2019), Soares et al. (2020), Lin et al. (2020)	108
Desafios	Abdelhafez et al. (2021), Feng et al. (2023), Chen et al. (2022), Moreno et al. (2020), Lin et al. (2020)	36
Aspectos técnicos	Abdelhafez et al. (2021), Feng et al. (2023), Lauffer et al. (2020), D'Agostino et al. (2022)	24
Aspectos econômicos	Abdelhafez et al. (2021), Feng et al. (2023), Moreno et al. (2020), Soares et al. (2020), Lin et al. (2020)	24

Fonte: Próprio Autor

De acordo com a tabela 2, é possível ver que as declarações estão evidenciadas por todos os artigos selecionados para essa revisão bibliográfica. Essa distribuição é um reflexo do tamanho de informações disponíveis sobre o tema dos

sistemas FV em edifícios residenciais de várias unidades.

Sobre barreiras e dificuldades para a adoção de sistemas FV em edifícios residenciais, no geral, os textos fornecem uma visão abrangente dos obstáculos e facilitadores para a adoção de sistemas FV em edifícios residenciais. Destacam a importância das políticas governamentais e das parcerias público-privadas na superação das barreiras para a adoção de sistemas FV. Também sugere que a adoção de sistemas FV pode fornecer uma série de benefícios, incluindo custos de energia reduzidos, redução de emissões de gases de efeito estufa, bem como aumento do valor da propriedade e criação de empregos. Os textos destacam a importância das políticas governamentais na promoção da adoção de sistemas FV. As políticas governamentais podem fornecer incentivos financeiros, como incentivos fiscais e abatimentos, para tornar os sistemas FV mais acessíveis.

Ao tratar da estimativa e avaliação das necessidades e disponibilidades energéticas em edifícios residenciais multifamiliares, o consumo de energia em edifícios de apartamentos e seu impacto decorrente da implementação de sistemas FV. Foram realizados estudos em diferentes locais e climas, utilizando diversos métodos. No entanto, foram identificadas algumas conclusões comuns. O uso de sistemas FV em edifícios de apartamentos pode resultar em uma redução significativa no consumo de energia. Essa economia de energia varia de acordo com diversos fatores, como o tamanho do sistema, o tipo de edifício e as condições climáticas. Uma vantagem dos sistemas FV é sua capacidade de fortalecer a resiliência de edifícios de apartamentos em situações de falta de energia. Durante quedas de energia, esses sistemas continuam gerando eletricidade, o que proporciona energia essencial para iluminação, eletrodoméstico e outros sistemas críticos.

Discutindo o potencial dos sistemas FV integrado, os textos oferecem informações valiosas e apresentam uma variedade de benefícios. Aumento da eficiência energética, com a capacidade de fornecer sombra e isolamento, os sistemas BIPV aprimoram a eficiência energética do edifício, reduzindo a necessidade de energia para aquecimento e resfriamento. No entanto, também existem desafios associados aos sistemas BIPV. Custos iniciais mais elevados, os sistemas BIPV podem ser mais dispendiosos do que os painéis solares tradicionais, devido à complexidade do processo de projeto e instalação. Os sistemas têm uma disponibilidade limitada no caso ainda há uma oferta restrita de sistemas BIPV,

dificultando a localização de instaladores qualificados. Por outro, a aparência dos sistemas BIPV pode gerar objeções, especialmente em edifícios históricos ou em áreas sensíveis. Em suma, os sistemas BIPV apresentam uma variedade de benefícios potenciais para os proprietários de edifícios. Contudo, é fundamental considerar cuidadosamente esses benefícios e desafios antes de decidir pela instalação de um sistema BIPV.

Os trinta artigos revisados fornecem informações sobre as tendências na instalação de sistemas FV em edifícios residenciais, permitindo a identificação de padrões e direcionamentos nesse campo:

- Avanços tecnológicos têm contribuído para a redução do custo dos sistemas FV. Esse declínio no custo tem tornado os sistemas fotovoltaicos mais acessíveis para os proprietários;
- As tecnologias de redes inteligentes podem ajudar a melhorar a eficiência dos sistemas FV e torná-los mais confiáveis;
- Está havendo uma adesão ao uso de energia solar comunitária, um programa que viabiliza a participação dos proprietários em projetos solares sem a obrigatoriedade de instalarem seus próprios sistemas FV.

No geral, as tendências na instalação de sistemas FV em edifícios residenciais são positivas. O custo dos sistemas FV tende a diminuir como resultado, pode ocorrer crescimento na instalação de sistemas FV em edifícios residenciais nos próximos anos.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo é elaborada uma revisão da literatura científica fornecendo uma visão abrangente do estado atual da GD em edifícios residências multifamiliares. O trabalho discute os desafios, benefícios e aspectos técnicos dos sistemas FV em edifícios residenciais multifamiliares. É possível notar nos artigos selecionados um consenso entre os autores quanto aos impactos positivos e negativos. No decorrer é discutida a viabilidade econômica da instalação FV em edifícios residenciais e destacada a importância de incentivos governamentais para tornar mais acessível o sistema FV. Outro ponto importante é o grande potencial dos BIPV e as tendências nas instalações FV em residências multifamiliares. Essas tecnologias demonstram resultados promissores que podem melhorar a eficiência energética dos edifícios.

Apesar dos muitos benefícios dos sistemas FV, também existem alguns desafios associados a eles. Um dos principais desafios é o custo inicial de instalação. Os sistemas FV podem ser caros para instalar, mas o custo tem diminuído nos últimos anos e é provável que continue a diminuir no futuro. Outro desafio é a falta de incentivos governamentais. Muitos governos oferecem incentivos para a instalação de sistemas FV, mas esses incentivos não estão disponíveis em todos os países.

É discutido que os formuladores de políticas devem concentrar os esforços na remoção de barreiras à adoção de sistemas FV. É argumentado que deve ocorrer uma conscientização sobre os benefícios que podem ser adquiridos com os sistemas FV e demonstrar ao público a viabilidade econômica da instalação destes sistemas. Por fim, é apresentada uma contribuição para a literatura sobre GD em edifícios residências multifamiliares, oferecendo uma visão ampla, sendo possível identificar desafios, oportunidades e tendências, com informações para formuladores e partes interessadas. No geral, os benefícios dos sistemas FV superam os desafios, o futuro dos sistemas FV em edifícios residenciais é promissor.

REFERÊNCIAS

ABDELHAFEZ, M. H. H.; TOUAHMIA, M.; NOAIME, E.; ALBAQAWY, G. A.; ELKHAYAT, K.; ACHOUR, B.; BOUKENDAKDJI, M. Integrating Solar Photovoltaics in Residential Buildings: Towards Zero Energy Buildings in Hail City, KSA. **Sustainability** **2021**, *13*(4), February 2021. Disponível em :<<https://doi.org/10.3390/su13041845>> .Acesso: junho de 2023.

ABU QADOURAH, J.; AL-FALAHAT, A. M.; ALRWASHDEH, S. S.; PHAM, D. T. Assessment of solar photovoltaics potential installation into multi-family building's envelope in Amman, Jordan, **Cogent Engineering**,n.9,june 2022.Disponível em: < <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2082059>>.Acesso em maio 2023.

ADAJAH, Y. Y.; THOMAS, S.; HARUNA, M. S.; ANAZA, S. O. Distributed Generation (DG): A Review.**leeexplore** **2021**, July 2021. Disponível em: < DOI: 10.1109/ICMEAS52683.2021.9692353>.Acesso junho de 2023.

Absolar (2023),Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.Disponível em < <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>> . Acessado em junho/2023.

CHEN, T.; SUN, H.; TAI, K. F.; HENG, C. K. Analysis of the barriers to implementing building integrated photovoltaics in Singapore using an interpretive structural modelling approach. **Journal of Cleaner Production**, 365, September 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132652>>. Acesso em: maio 2023.

CIESLA, J. S.; GOUVÊA, M. T.; JÚNIOR, M. V. C.; FILHO, J. L. P.; GUIMARÃES, D. H. P.; ROSA, M. T. M. G. Painéis fotovoltaicos em um conjunto de edificações popular em Campinas: Viabilidade econômica e social. **Revista de Ciência e tecnologia**, v.7, dezembro de 2021. Disponível em:<<https://doi.org/10.18227/2447-7028rct.v7i06649>>. Acessado em: junho de 2023.

D'AGOSTINO, D.; MAZZELLA, S.; MINELLI, F.; MINICHIELLO, F. Obtaining the NZEB target by using photovoltaic systems on the roof for multi-storey buildings,**Energy and Buildings**,n.267,2022.Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112147>>. Acesso em maio 2023.

D'AGOSTINO, D.; PARKER, D.; MELIÀ, P.; DOTELLI, G. Optimizing photovoltaic electric generation and roof insulation in existing residential buildings, **Energy and Buildings**, n.255, January 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111652>>. Acesso em maio 2023.

Edelson, J. Codes for loads – Making our buildings work with renewable Power grids. **Newbuildings institute**, July 2021. Disponível em <<https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources/executive-summary>>. Acesso em junho/2023 >. Acesso em junho/2023

FARDI, A. R.; SOHANI, A.; SAEDPANAH, E.; SAYYAADI, H. Towards achieving the best solution to utilize photovoltaic solar panels for residential buildings in urban areas. **Sustainable Cities and Society**, (2021), 71, 102968. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102968>>. Acesso em maio/2023

FINA B. A. B.; AUER, H.; FRIEDL, W. Profitability of contracting business cases for shared photovoltaic generation and renovation measures in a residential multi-apartment building. **Journal of Cleaner Production**, (2020), 265, 121549. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121549>>. Acesso: abril/2023 .

FINA B.; ROBERTS, M. B.; AUER, H.; BRUCE, A.; MACGILL, I. Exogenous influences on deployment and profitability of photovoltaics for self-consumption in multi-apartment buildings in Australia and Austria. **Applied Energy**, (2021), 283, 116309. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116309>>. Acesso em: maio 2023.

FRATE, C. A.; CARVALHO, P. C. M.; SHAYANI, R. A. Barreiras para adoção de sistemas FV em condomínios residenciais: vozes de especialistas do planalto central do Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, (2023), v2.

FENG, X.; MA, T.; YAMAGUCHI, Y.; PENG, J.; DAI, Y.; JI, D. Potential of residential building integrated photovoltaic systems in different regions of China. **Energy for**

Sustainable Development,72, February 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.11.006>> .Acesso:abril/2023 .

GASSAR, A. A. A.; CHA, S. H. Feasibility assessment of adopting distributed solar photovoltaics and phase change materials in multifamily residential buildings. **Sustainable Production and Consumption**, n.29, p.507-528, january 2022. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.001>>. Acessado em: junho de 2023.

GREEN, J.; MARTIN, D.; COJOCAR, M. The Untouched Market: Distributed Renewable Energy in Multitenanted Buildings and Communities. **Urban Energy Transition (Second Edition)**,2018,p. 401-418. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102074-6.00039-5>>. Acesso em junho/2023 >. Acesso em junho/2023

HANSEN, L.; ZAMBRA, D.An Overview about the Brazilian Photovoltaic Market Development. **Journal of Power and Energy Engineering**, 2020,8(8), 73-84. Disponível em: <[doi:10.4236/jpee.2020.88006](https://doi.org/10.4236/jpee.2020.88006)>. Acesso:junho de 2023.

IEA (2020), International Energy Agency. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources/executive-summary>>. Acesso em junho/2023.

IEA (2022), International Energy Agency. Disponível em <<https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources/executive-summary>>. Acesso em junho/2023

IEA (2023), International Energy Agency. Disponível em <<https://www.iea.org/topics/net-zero-emissions>>. Acesso em junho/2023.

IRENA(2020),International Renewable Energy Agency. Disponível em <<https://www.irena.org/Publications>>. Acesso em junho/2023.

KRARTI, M. Evaluation of PV integrated sliding-rotating overhangs for US apartment

buildings, **Applied Energy**, n.293, July 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116942>> Acesso em maio 2023.

LAUFFER, H. A.; TOMASZEWSKI, G. A.; HAEBERLE, F.; DIAS, J. B.; WANDER, P. R. Simulação e análise de diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos aplicados em uma edificação residencial vertical. **Congresso brasileiro de energia solar**, Anais CBENS 2020, 2020. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/934>>. Acessado em: junho de 2023.

LIN, S.; MA, T.; JAVED, M. S. Prefeasibility study of a distributed photovoltaic system with pumped hydro storage for residential buildings. **Energy Conversion and Management**, n.222, October 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113199>> . Acesso : junho 2023.

MOHAMMADI, S.; ELIASSEN, F.; JACOBSEN, H. Applying Energy Justice Principles to Renewable Energy Trading and Allocation in Multi-Unit Buildings. **Energies**, 16, January 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/en16031150>>. Acesso em: maio 2023.

MONNA, S.; JUAIDI, A.; ABDALLAH, R.; ITMA, M. A Comparative Assessment for the Potential Energy Production from PV Installation on Residential Buildings, **Sustainability**, n.12(24), December 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/su122410344>> Acesso em maio 2023.

MORENO, S. A.; REY, E. Active renovation strategies with building-integrated photovoltaics (BIPV): application on an early 20th century multi-family building. **Proceedings of the 8th Euro-American Congress. Rehabend2020**, september 2020. Disponível em: <<https://infoscience.epfl.ch/record/280649>>. Acesso: junho de 2023.

NARJABADIFAM, N.; FOULADVAND, J.; GÜL, M. Critical Review on Community-Shared Solar—Advantages, Challenges, and Future Directions. **Energies**, 16

,March2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/16/8/3412> >. Acesso em: maio 2023

NREL (2022),NationalRenewable Energy Laboratory.Disponível em <<https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources/executive-summary>>. Acesso em junho/2023

OLIVEIRA, G. L. C.; PENNA, R. M. M.; OLIVEIRA, F. M. D.; OLIVEIRA, R. D. Análise de viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma edificação multifamiliar.**Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**,setembro de 2019.Disponível em :<https://www.researchgate.net/publication/336141307_Analise_de_viabilidade_tecnica_e_economica_da_implantacao_de_um_sistema_fotovoltaico_conectado_a_rede_em_uma_edificacao_multifamiliar> .Acessado em: junho de 2023.

Petit,V. **SVP Strategy Prospective and External Affairs, head of the Sustainability Research Institute**, February 2022.Disponível em : <<https://www.se.com/ww/en/insights/sustainability/sustainability-research-institute/the-unexpected-disruption.jsp>>Acessoemjunho de 2023.

RESTREPO-HERRERA, D.; MARTINEZ, W.; TREJOS-GRISALES, L. A.; RESTREPO-CUESTAS, B. J. A Holistic Approach for Design and Assessment of Building-Integrated Photovoltaics Systems. **Appied Science** ,13, January 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/2/746>>. Acesso em: maio 2023.

ROBERTS, M. B.; BRUCE, A.; MACGILL, I. A comparison of arrangements for increasing self-consumption and maximizing the value of distributed photovoltaics on apartment buildings, **Solar Energy**,n.193,p.372-386, November 2019.Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.09.067>>.Acesso emmaio 2023.

ROBERTS, M. B.; BRUCE, A.; MACGILL, I. Impact of shared battery energy storage systems on photovoltaic self-consumption and electricity bills in apartment buildings. **Applied Energy**, n.245, p.78-95, July 2019. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.001>> .Acesso :junho de 2023.

ROBERTS, M. B.; BRUCE, A.; MACGILL, I. Opportunities and barriers for photovoltaics on multi-unit residential buildings: Reviewing the Australian experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** ,104, April 2019.Disponível em :<<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.013>>.Acesso maio 2023.

ROBERTS, M. B.; SHARMA, A.; MACGILL, I. Efficient, effective and fair allocation of costs and benefits in residential energy communities deploying shared photovoltaics. **Applied Energy**, n.305, January 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117935>>. Acessado: junho de 2023.

Sonal ; Ghosh, D. Impact of Distributed Generation on the Reliability Allocation of Distribution System: A mesh-Grid Approach. **International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies (ICEFEET)**, Patna, India, 2020, p. 1-6,Disponivelem<doi: 10.1109/ICEFEET49149.2020.9187019>. Acesso: junho 2023.

SOARES, P. M.; ROCHA, A. M.; SILVA, M. S.; LOPES, J. M.; HOCEVAR, L. S.; BORGES, D. B. Avaliação econômica e técnica de um sistema conectado à rede: estudo de caso de condomínio na cidade de Brasília, Brasil. **BrazilianJournalofDevelopment**, 6(6), junho de 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-159>. Acessado em: junho de 2023.

STAUCH, A.; VUICHARD, P. Community solar as an innovative business model for building-integrated photovoltaics: An experimental analysis with Swiss electricity consumers. **Energy and Buildings**,204, December 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819311995> >. Acessoem: maio 2023.

SYED, M. M.; HANSEN, P.; MORRISON, G. Performance of a shared solar and battery storage system in an Australian apartment building ,**Energy and Buildings**,n.225,October 2020. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110321>>Acesso em maio 2023

UFA, R.A.; MALKOVA, Y.Y.; RUDNIK, V.E.; ANDREEV, M.V.; BORISOV, V.A. A review on distributed generation impacts on electric power system. **International Journal of Hydrogen Energy**,n.47,p. 20347-20361, June 2022.Disponível em :<<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.04.142>>. Acesso: junho 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Documentos e Formulários**. Disponível em: <<https://ccee.ufc.br/pt/documentos-e-formularios>>Acesso em: junho/2023.

WOO, J.; MOON, S.; CHOI, H.Economic value and acceptability of advanced solar power systems for multi-unit residential buildings: The case of South Korea. **Applied Energy**, (2022), 324, 119671. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119671>>.Acesso em abril/2023.

YANG, S.; CHEN, W.; KIM, H. Building Energy Commons: Three Mini-PV Installation Cases in Apartment Complexes in Seoul.**Energies** 2021,14(1), January 2021.Disponível em :<<https://doi.org/10.3390/en14010249>>. Acesso: junho de 2023.