

PAULA CONSTANZA WILSON AGUILERA

**BENCHMARKING INTERNACIONAL DA UTILIZAÇÃO DE BIPV E COMO AS
MELHORES PRÁTICAS PODEM SER REPLICADAS NO BRASIL**

**SÃO PAULO
2022**

PAULA CONSTANZA WILSON AGUILERA

**BENCHMARKING INTERNACIONAL DA UTILIZAÇÃO DE BIPV E COMO AS
MELHORES PRÁTICAS PODEM SER REPLICADAS NO BRASIL**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de pós-graduação
lato-sensu em Energias Renováveis,
Geração Distribuída e Eficiência
Energética

Orientador: Prof. Jose Aquiles Baesso
Grimoni

SÃO PAULO
2022

AGRADECIMENTOS

À minha família, por sempre estar ao meu lado, oferecendo o apoio necessário nos momentos difíceis e o encorajamento para concretizar meus sonhos.

Ao Professor Dr. José Aquiles Baesso Grimoni, pela orientação e essencial apoio no desenvolvimento do trabalho, disponibilidade e valiosa ajuda oferecida durante o processo.

A todos os professores envolvidos no curso de especialização de Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Universidade de São Paulo, pela contribuição no meu processo de formação, além de me instruir com o conhecimento necessário para a realização do trabalho.

A todos que não foram mencionados especificamente, mas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, minha sincera gratidão.

“Sunlight will be used as a source of energy sooner or later. Why wait?” Maria Telkes

RESUMO

O crescimento da fonte solar fotovoltaica em sistemas de menor porte, como a microgeração e minigeração distribuída, no Brasil tem sido exponencial desde que o primeiro sistema foi conectado à rede. Ainda, o Brasil possui um dos melhores índices de irradiância solar do mundo. No entanto, metrópoles como é São Paulo, possuem pouco espaço para que os sistemas de geração distribuída solar fotovoltaica possam ser utilizados. Uma forma de continuar o fomento de fontes renováveis é por meio da integração de sistemas fotovoltaicos aos edifícios, como é a tecnologia *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV). Em países desenvolvidos a utilização de BIPV já é uma realidade consolidada e que tende a aumentar com as novas diretrizes para atingir zero emissões de gases de efeito estufa (GEE) até 2050. Dessa forma, esta monografia tem como principal objetivo procurar as melhores práticas internacionais de BIPV, de forma a adaptá-las à realidade brasileira. Atualmente já existem tecnologias utilizadas em alguns edifícios brasileiros, no entanto, há espaço para o avanço e fortalecimento dessa tecnologia, procurando novas possibilidades arquitetônicas, construtivas e energéticas. Neste trabalho foram discutidas as melhores tecnologias e as mais utilizadas, os aspectos econômicos, políticos e/ou sociais dos BIPV internacionalmente, de forma a orientar a utilização do BIPV no Brasil.

Palavras-Chave: Solar fotovoltaica. Microgeração e minigeração distribuída. BIPV.

ABSTRACT

The growth of the photovoltaic solar source in smaller systems, such as distributed microgeneration and distributed minigeneration, in Brazil has been exponential since the first system was connected to the grid. Furthermore, Brazil has one of the best levels of solar irradiance in the world. However, metropolises such as São Paulo have little space for photovoltaic solar distributed generation systems to be used. One way to continue promoting renewable sources is through the integration of photovoltaic systems into buildings, such as the Building Integrated Photovoltaic (BIPV) technology. In developed countries, the use of BIPV is already a consolidated reality and it tends to increase with the new guidelines to achieve zero greenhouse gas (GHG) emissions by 2050. Thus, this monograph has as main objective to seek the best international practices of BIPV, to adapt them to the Brazilian reality. Currently there are technologies used in some Brazilian buildings, however, there is room for the advancement and strengthening of this technology, looking for new architectural, constructive, and energetic possibilities. In this work, the best and most used technologies, the economic, political and/or social aspects of BIPV internationally were discussed, to guide the use of BIPV in Brazil.

Keywords: Photovoltaic solar. Distributed microgeneration and distributed minigeneration. BIPV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Projeção da Capacidade instalada de geração distribuída no Brasil até 2031. Fonte: EPE, 2022.....	13
Figura 2 - Distribuição da capacidade instalada no Cenário Referência por fonte em 2031. Fonte: EPE, 2022.....	13
Figura 3 - Tipos de sistemas de geração distribuída solar fotovoltaica mais utilizados no Brasil: a) sistema solar fotovoltaico em telhado (fonte: Correio Braziliense, 2021); e b) sistema solar fotovoltaico no solo (fonte: Canal jornal da bioenergia, 2021).....	14
Figura 4 - Crescimento da energia solar fotovoltaica mundialmente. Fonte: REN21, 2021.....	20
Figura 5 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil desde 2012 até março de 2022. Fonte: ABSOLAR, 2022.	20
Figura 6 - Evolução da Capacidade Instalada Existente e Contratada do SIN. Fonte: EPE, 2022.	21
Figura 7 - Esquema de uma usina solar fotovoltaica centralizada. Fonte: Pereira, 2019.....	22
Figura 8 - Número de sistemas e potência instalada de geração distribuída solar fotovoltaica.	23
Figura 9 - Design de Sistema BIPV. Adaptado de KUHN et al., 2021.....	25
Figura 10 - Categorização dos produtos BIPV. Adaptado de Veberne et al., 2014.	28
Figura 11 - Consumo total de energia na União Europeia. Fonte: IEA, 2019.	30
Figura 12 - Potência instalada de sistemas BIPV na Europa desde 2007 até 2019. Fonte: Instituto Becquerel, 2020.....	31
Figura 13 - Primeira fachada com sistema BIPV em Aachen, Alemanha. Fonte: Heinsteins; Ballif; Perret-Aebi, 2013.	33
Figura 14 - Potência instalada de instalações fotovoltaicas na Alemanha de 1990 a 2006. Fonte: Rode; Cassard, 2007.	34
Figura 15 - Exemplos de sistemas solares parcialmente e totalmente integrados à edificação. Fonte: IEA, 2019.	38
Figura 16 - Energia elétrica (GWh) anualmente financiada no enquadramento do Primeiro e Segundo “Conto Energia”. Fonte: Mazzanti et al., 2011.	39
Figura 17 - Potência instalada e número de sistemas fotovoltaicos na Itália desde 2009 até 2020. Fonte: GSE, 2021.	40
Figura 18 - Implantação de energia solar fotovoltaica no Reino Unido. Fonte: Solar Power UK, 2022.....	42
Figura 19 - Políticas fotovoltaicas americanas e status de desenvolvimentos industriais. Fonte: Song et al., 2016.....	44
Figura 20 - Exemplos de instalações BIPV no Canadá (de esquerda para direita: Maxime Gagné, One House Green, Universidade de Alberta e Véronique Delisle). Fonte: Governo do Canadá, 2018.....	46
Figura 21 - Políticas fotovoltaicas da China e status de desenvolvimento industrial. Fonte: Song et al., 2016.....	47
Figura 22 - Potência instalada de geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil desde 2008 até maio de 2022. Adaptado de ANEEL, 2022.....	52
Figura 23 - Protótipo BIPV em Curitiba. Fonte: Kaltmaier et al., 2020.	54
Figura 24 - Fachada de BIPV Fortlev. Fonte: Canal Solar, 2020.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre as tecnologias de células fotovoltaicas relevantes ou mais promissoras em relação ao BIPV.	26
Tabela 2 - Máxima eficiência das tecnologias fotovoltaicas alcançadas em dimensões de laboratório e eficiência dos módulos fotovoltaicos das linhas de produção.....	26
Tabela 3 - Desenvolvimento e previsão do mercado global de BIPV de 2014 a 2020 em MW.	29
Tabela 4 - Tarifas feed-in (EUR/kWh) na segunda revisão da "Conto Energia".	39
Tabela 5 - Tarifas feed-in em 2017 do Green Energy and Green Economy Act em Ontario.	46
Tabela 6 - Resumo dos incentivos internacionais estudados no trabalho.	48

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ACL – Ambiente de Contratação Livre

ACR – Ambiente de Contratação Regulada

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BIO – Usinas de biogás

BIPV – *Building-Integrated photovoltaics*

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética

EOL – Usina eólica

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EUA – Estados Unidos

EUR/kWh – Euro por quilowatt hora

FIT – *Feed-in Tariffs*

FV – Fotovoltaica

GD – Geração distribuída

GDFV – Geração distribuída solar fotovoltaica

GW – Gigawatt

IEA – *International Energy Agency*

Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

kW_p – Quilowatt-pico

MME – Ministério de Minas e Energia

MMGD – Minigeração e Microgeração de Geração Distribuída

MW – Megawatt

MWh – Megawatt-hora

NREL – National Renewable Energy Laboratory

PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PL – Projeto de Lei

REN – Resolução Normativa

RMB/kWh – Yuan por quilowatt hora

SIN – Sistema Interligado Nacional

TE – Tarifa de Energia

TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TWh – Terawatt-hora

UFV – Usina solar fotovoltaica

UHE – Usina hidrelétrica

UTE – Usina Termelétrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Contexto	12
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivo específico.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
1.4 MÉTODO DE PESQUISA	18
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SOLAR FOTOVOLTAICA ..	19
2.2 TECNOLOGIA DE BIPV	24
2.3 TIPOS DE APLICAÇÕES BIPV.....	27
3. PROJETOS BIPV NO EXTERIOR.....	29
3.1 EUROPA.....	29
3.1.1 ALEMANHA	31
3.1.2 FRANÇA	35
3.1.3 ITÁLIA.....	38
3.1.4 REINO UNIDO	41
3.2 ESTADOS UNIDOS.....	43
3.3 CANADÁ	45
3.4 CHINA	46
4. RESUMO DOS INCENTIVOS INTERNACIONAIS	48
5. APLICAÇÃO DE BIPV NO BRASIL.....	51
5.1 ASPECTOS REGULATÓRIOS	51
5.2 PROJETOS BIPV NO BRASIL	54
6. MELHORES PRÁTICAS A SEREM REPLICADAS	56
7. CONCLUSÃO	58
8. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	59
9. REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

A geração distribuída (GD) tem se consolidado no país desde o primeiro sistema conectado em 2011. Ainda, a fonte solar fotovoltaica é a mais utilizada pelo mercado, segundo o Banco de Base de Geração Distribuída da ANEEL (ANEEL, 2022), 99,94% dos sistemas conectados à rede de distribuição utilizam energia solar fotovoltaica. Isto, não é por acaso, uma vez que o Brasil possui a melhor irradiância solar direta do mundo, ou seja, há espaço e motivos para explorar esta fonte de energia.

Portanto, cabe aqui, o levantamento de alguns questionamentos que a pesquisa bibliográfica suscitou e que nortearão este trabalho: quais os sistemas utilizados de geração distribuída? Há espaço para crescimento dos sistemas fotovoltaicos integrados a edificações? Como foi alavancado o crescimento de *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV) no exterior e é possível reproduzir as melhores prática no Brasil?

O panorama brasileiro para a geração distribuída é bastante positivo, de acordo com o Plano Decenal de Expansão Energética 2031 (PDE 2031), realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2021, a GD deve atingir 37,2 GW de capacidade instalada, no cenário referência, ou chegando a 47 GW, no cenário com mais incentivos à GD. Ainda, 91,3% dos sistemas seriam à base de energia solar fotovoltaica, conforme mostrados nas figuras 1 e 2 abaixo.

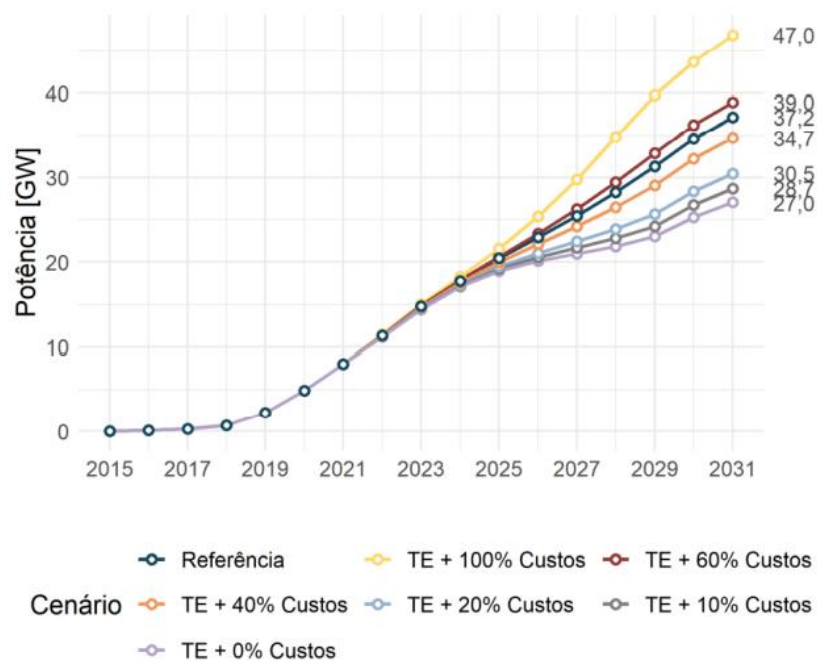


Figura 1 - Projeção da Capacidade instalada de geração distribuída no Brasil até 2031.
Fonte: EPE, 2022.

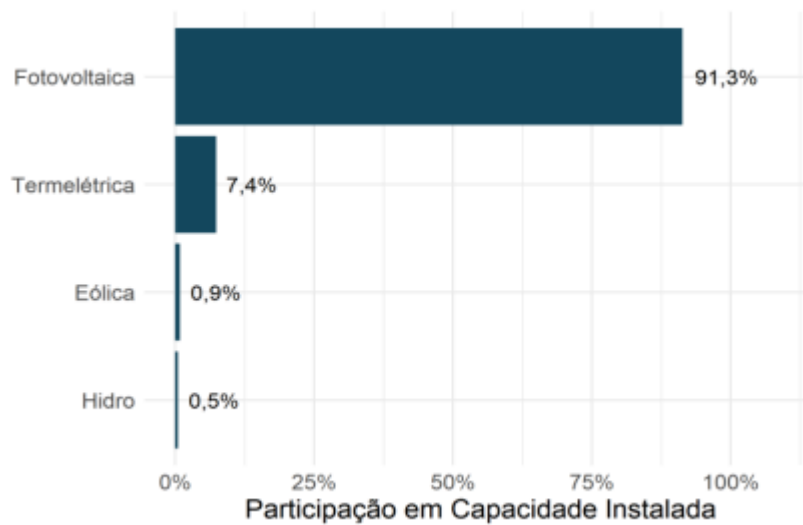


Figura 2 - Distribuição da capacidade instalada no Cenário Referência por fonte em 2031.
Fonte: EPE, 2022.

No entanto, os sistemas utilizados no mercado para a geração própria de energia elétrica são sistemas comuns, isto é, são compostos por módulos fotovoltaicos rígidos usualmente instalados no teto ou no solo da unidade consumidora, vide figura 3 abaixo.

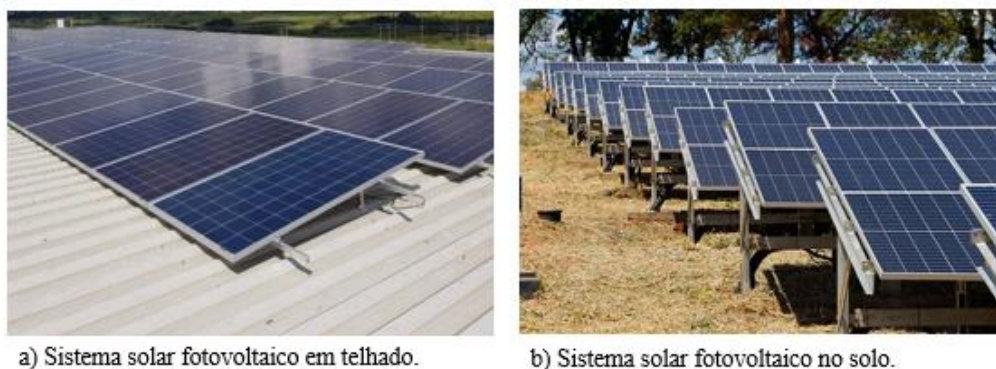


Figura 3 - Tipos de sistemas de geração distribuída solar fotovoltaica mais utilizados no Brasil: a) sistema solar fotovoltaico em telhado (fonte: Correio Braziliense, 2021); e b) sistema solar fotovoltaico no solo (fonte: Canal jornal da bioenergia, 2021).

Em cidades grandes, como São Paulo, os consumidores enfrentam dificuldades na viabilidade da utilização de sistemas solares fotovoltaicos, isto deve-se à falta de espaço, como também ao sombreamento excessivo ocasionado pelos milhares de edifícios e arranha-céus localizados na cidade. Dessa forma, uma solução não só para o consumidor final, mas também arquitetônica é a integração das células fotovoltaicas à construção por meio de fachadas.

Arquitetos estão começando a incorporar esses painéis em brises, substituindo as telhas convencionais, ou no lugar das janelas dos prédios. Basicamente, substituindo um elemento de construção convencional. Assim, o BIPV não apenas gera eletricidade, mas, também, pode fornecer outras funcionalidades, como a proteção de raios ultravioleta, isolamento térmico, sombreamento parcial de áreas, proteção contra chuva, entre outros.

No Brasil a utilização dessa tecnologia ainda é um nicho de mercado. No exterior, a prática da utilização de BIPV é crescente e cada vez mais atrativa na construção civil. Segundo estudo do Agência Internacional de Energia (IEA), o mercado de BIPV variou de 300 MW a 400 MW por ano na Europa, tendo atingido 1 GW globalmente (IEA, 2022). Os materiais utilizados variam de produtos pré-fabricados, mais utilizados nos Estados Unidos e alguns países da Europa, e produtos arquitetônicos sob medida.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Estudar o desenvolvimento de BIPV no exterior, de forma a compilar orientações para a utilização e desenvolvimento da tecnologia no país.

1.2.2 Objetivo específico

- Explicar o conceito de BIPV e o seu funcionamento além de especificar as tecnologias disponíveis;
- Analisar o crescimento de BIPV no exterior, as políticas públicas utilizadas, as principais construções que utilizam a tecnologia; e
- Avaliar as características do mercado brasileiro e propor soluções para alavancar a tecnologia, de acordo com as melhores práticas internacionais.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a importância do desenvolvimento de tecnologias que aumentem a eficiência energética e tenham baixa ou nenhuma emissão de gases efeito de estufa (GEE) faz-se cada vez mais necessário, ainda mais sabendo que a demanda por eletricidade aumenta a cada ano. Dessa forma, a evolução e o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica têm sido fundamentais para suprir a demanda elétrica, para ajudar no combate às mudanças climáticas e para diminuir os valores da conta de luz dos brasileiros.

No Brasil, espera-se que em 2031 o consumo final de eletricidade no setor de edificações alcance 415 TWh (EPE, 2022), sendo que corresponde a 70% da matriz energética das edificações. Dessa forma, para suprir sustentavelmente essa demanda é necessário inovar a tecnologia de construção e geração de energia elétrica. A geração distribuída já trouxe grandes avanços para suprir a demanda elétrica das residências, comércios e outras unidades consumidoras.

O PDE 2031 destaca que:

As edificações residenciais, comerciais e os prédios públicos, em 2020 representaram cerca de 46% do consumo de eletricidade e 15% da energia total do País, que considera a eletricidade e os combustíveis. Adicionando-se as parcelas relativas aos serviços

públicos (iluminação pública, água, esgoto e saneamento), o agregado passa a responder por 51% da eletricidade e 16% da energia total do País em 2020. (EPE, 2022)

Em busca da sustentabilidade, as energias renováveis são consideradas como uma grande aliada da eficiência energética, para reduzir o consumo de energia, manter a eficiência das operações ou aumentar essa eficiência com o mesmo consumo de energia. A economia de energia envolve a mudança de hábitos dos usuários (redução do consumo) ou até mesmo a substituição de equipamentos por equipamentos mais eficientes (GELLER, 2003). Isso pode levar a uma redução significativa no consumo de energia, exigindo assim menor uso de fontes alternativas, tornando o projeto mais barato e permitindo um uso mais racional da fonte de energia. (SANTOS, 2014).

Por sua vez, ainda há espaço para elevar a eficiência energética das edificações, especialmente aquelas localizadas em cidades em que a verticalização é maior. A fonte solar fotovoltaica possui as características necessárias para possibilitar que a construção civil seja mais sustentável, o avanço da tecnologia de células fotovoltaicas tem sido oportuno para inserir no mercado e preservar o meio ambiente (GUEDES, 2019).

Especificamente, a utilização de *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV) tem ganhado popularidade, uma vez que os módulos fotovoltaicos podem ser incorporados no tecido externo do prédio. Ainda, as estruturas de incentivo em mercados específicos também podem tornar o desenvolvimento fotovoltaico em maior escala atraente para ambos os proprietários de edifícios – que podem compensar os custos de eletricidade/gerar dinheiro através de tarifas *feed-in* (FITs) investindo em seu espaço no telhado – bem como investidores de capital que veem a oportunidade de ganhar dinheiro com projetos BIPV de grande escala (HENEMANN, 2008).

Na Europa, o mercado de BIPV está em fase de transição. Em muitos países europeus, as novas regulações de desempenho de energético nos prédios podem ser um potencializador do mercado de BIPVs, o que tem intensificado a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos BIPV (IEA, 2019).

Além disso, diversos fóruns, eventos e conferências sobre energia solar fotovoltaica e BIPV tem incentivado a expansão e utilização de BIPV em diferentes países como China, Estados Unidos

e Canadá. Ainda, na França, Itália e Estados Unidos há programas especiais para promover os sistemas integrados a edifícios (HEINSTEIN et al., 2013).

Especificamente os países estudados neste trabalho trazem diferentes formas de como alavancar os sistemas BIPV, além de serem países com uma importante potência instalada de BIPVs, também se diferenciam nos incentivos para o crescimento desses sistemas.

Os incentivos atraentes na França, Itália e Alemanha levaram ao aumento da aceitabilidade desses produtos no setor residencial. Na Alemanha, por exemplo, foi conectado o primeiro sistema BIPV do mundo, na década 1980, o governo alemão, também, passou a incentivar o uso da tecnologia com diversos atos regulatórios e legais. Já a França e a Itália são, respectivamente, segundo e terceiro mercados em termos de capacidade acumulada de BIPV instalada, graças às suas políticas anteriores específicas de BIPV. Este desenvolvimento do BIPV ocorreu principalmente entre 2010 e 2015. O Reino Unido, de forma a procurar a descarbonização das edificações, seguiu o exemplo dos outros países e instaurou incentivos regulatórios para os pioneiros na instalação de sistemas BIPV.

Já na América, os Estados Unidos se caracterizam por serem pioneiros na instalação de sistemas solares fotovoltaicos, especificamente a Califórnia, cuja demanda por empreendimentos de geração distribuída é elevada. Ainda, Nova Iorque também possui mecanismos regulatórios para incentivar os BIPV. Por sua vez, o Canadá está investindo na educação e regulamentação dos sistemas BIPV, uma vez que não somente trazem benefícios elétricos, mas também térmicos e construtivos interessantes para as edificações do país.

Finalmente, o estudo procura entender os incentivos na China, país que lidera na fabricação de módulos fotovoltaicos e, atualmente, também procura diminuir sua pegada de carbono.

Dessa forma, faz-se importante entender e avaliar as formas para impulsionar o uso de BIPV no Brasil, principalmente em grandes cidades, considerando a relevância da energia solar fotovoltaica para atingir as metas de descarbonização do país.

1.4 MÉTODO DE PESQUISA

Primeiramente, realizou-se um levantamento bibliográfico sobre o atual cenário da fonte solar fotovoltaica e suas tecnologias disponíveis para serem utilizadas na geração própria de energia elétrica, especialmente, para integrar edificações. Ainda, foram levantados e analisadas teses, dissertações, monografias, artigos e estudos internacionais do desenvolvimento internacional de BIPVs. Finalmente, desenvolveram-se recomendações para implementar os sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações no Brasil.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em 9 seções que explanam os objetivos deste trabalho e estão organizadas da seguinte forma: o primeiro capítulo versa sobre a introdução e apresenta ao leitor os objetivos gerais e específicos presentes nesta pesquisa. O segundo capítulo caracteriza os sistemas de geração de energia elétrica por meio da fonte solar fotovoltaica, abordando as diferentes tecnologias integradas às edificações. No terceiro capítulo avaliam-se as políticas públicas para alavancar os sistemas BIPV em seis países. O capítulo 4, traz um resumo das políticas públicas anteriormente avaliadas. Já, no capítulo 5 avaliam-se os incentivos brasileiros à geração distribuída, como também traz exemplos de projetos BIPV no país. O capítulo 6 reúne as melhores práticas e avalia quais delas podem servir para o cenário brasileiro. Finalmente, os capítulos 7 e 8 apresentam as conclusões e trabalhos futuros. O capítulo 9, apresenta as referências bibliográficas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será realizada uma revisão dos principais conceitos abordados no trabalho, com informações retiradas dos trabalhos que tiveram maior relevância dentro do desenvolvimento da pesquisa, por meio da contextualização do assunto. A seção 2.1 aborda o assunto de sistemas de geração de energia elétrica solar fotovoltaicas e a seção 2.2 foca nas diferentes tecnologias de BIPV.

2.1 SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SOLAR FOTOVOLTAICA

Segundo o autor Awuku et al. (2022) as energias renováveis são a alternativa energética mais viável para substituir os altos emissores de CO₂, como os combustíveis fósseis e o carvão. Ainda, os autores trazem para debate que a energia solar, na vanguarda das energias renováveis, é uma das fontes de energia mais limpas, econômicas e abundantes.

A IRENA, em 2021, afirmou que a energia solar fotovoltaica se tornou um pilar do sistema de energia sustentável de baixo carbono necessário para promover o acesso a energia com preços baixos e confiável. A mesma agência mostra que a energia solar tem o maior crescimento de potência instalada anual mundialmente.

O motivo pelo qual a energia solar tem se fortalecido no setor elétrico mundial e brasileiro é pela crescente diminuição nos preços, como também pela robustez tecnológica podendo ter empreendimentos com mais de 30 anos de funcionamento, segundo o Plano Nacional de Energia 2050 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2021.

Mundialmente, a energia solar fotovoltaica, em 2020, teve um ano recorde com mais de 760 GWcc de capacidade instalada, segundo a REN21. A figura 4, abaixo, mostra esse crescimento. Também, a agência destaca que a economia favorável aumentou o interesse na geração distribuída solar fotovoltaica, um exemplo, é no Sul da Austrália em que este crescimento levou ao ponto de se aproximar da eliminação efetiva da demanda por eletricidade da rede centralizada.

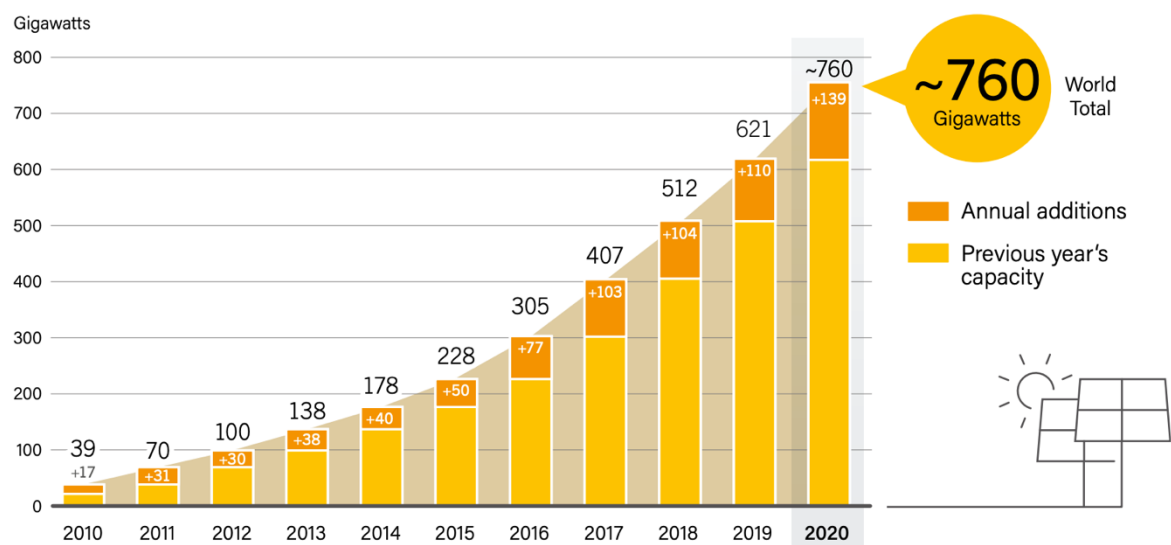


Figura 4 - Crescimento da energia solar fotovoltaica mundialmente. Fonte: REN21, 2021.

No Brasil o crescimento da fonte solar fotovoltaico tem a mesma característica mundial, sendo exponencial, conforme figura 5, abaixo:

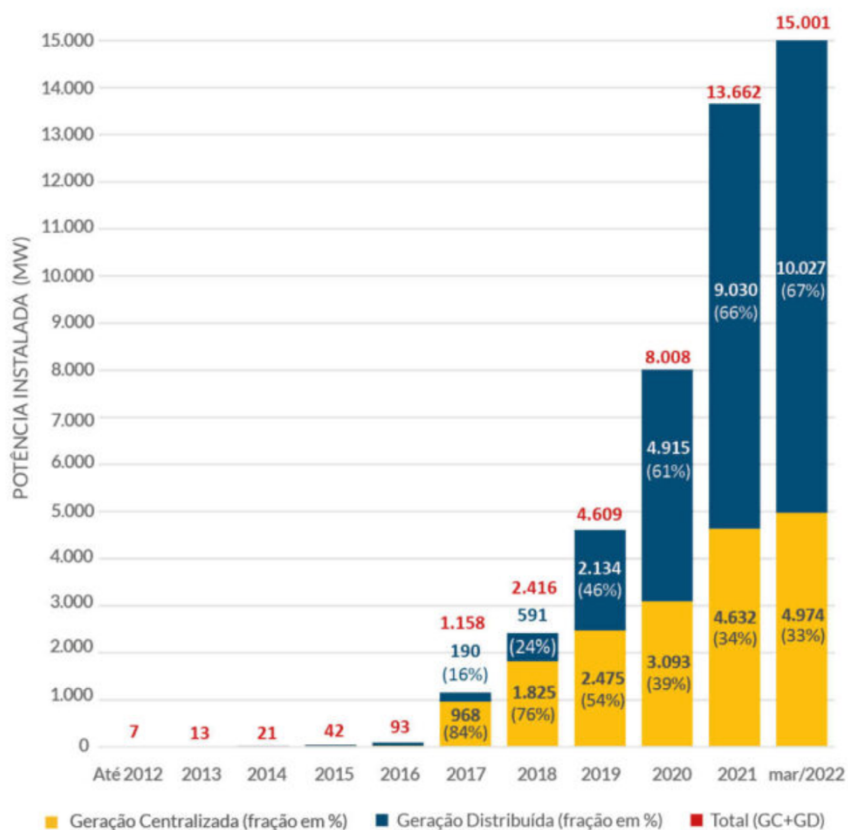


Figura 5 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil desde 2012 até março de 2022. Fonte: ABSOLAR, 2022.

O Plano Decenal de Energia 2031 (PDE 2031) da EPE, que estuda a expansão do setor elétrico, de acordo com a configuração do sistema existente e de novas entradas de empreendimentos de geração de energia elétrica, indica que a evolução da capacidade instalada existente e contratada no Sistema Interligado Nacional (SIN), conforme ilustrado na figura 6. A fonte solar fotovoltaica e eólica apresentam um desenvolvimento importante aumentando a capacidade instalada em quase 10 GW, chegando a 32,6 GW em 2031. Já a microgeração e minigeração distribuída (MMGD) apresenta um salto de 4,6 vezes do valor indicado em 2021, chegando a ter 37 GW em 2031.

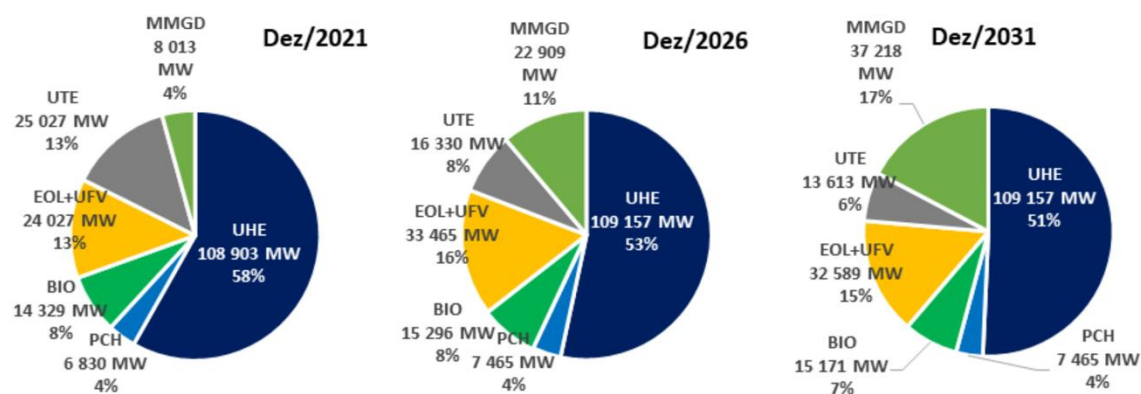


Figura 6 - Evolução da Capacidade Instalada Existente e Contratada do SIN.
Fonte: EPE, 2022.

Assim, no contexto brasileiro existem duas configurações de sistemas solares fotovoltaicos:

Instalações solares fotovoltaicas interligadas à rede elétrica pública podem apresentar duas configurações distintas: podem ser instaladas (i) de forma integrada a uma edificação (e.g. no telhado ou fachada de um prédio, [...], e, portanto, junto ao ponto de consumo); ou (ii) de forma centralizada como em uma usina central geradora convencional, neste caso normalmente a certa distância do ponto de consumo (RUTHER, 2004, p. 09)

Segundo Pereira (2019), as instalações solares fotovoltaicas centralizadas são projetadas para gerar e fornecer energia elétrica à rede elétrica. Conforme, figura 7 abaixo.



Figura 7 - Esquema de uma usina solar fotovoltaica centralizada.
Fonte: Pereira, 2019.

Especificamente, a geração fotovoltaica integrada à edificação, o excesso de energia gerada é repassado à rede elétrica e à noite é utilizada a rede convencional de energia elétrica para o consumo do edifício (PORTOLAN, 2009). Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a Resolução Normativa nº 482/2012 (REN ANEEL nº 482/2012). A resolução trouxe diretrizes para a regulamentação da geração distribuída no país (NETO; COSTA; VASCONCELOS, 2014).

Machado (2017) destaca que a geração distribuída pode aumentar a confiabilidade e a qualidade do suprimento, podendo atender de melhor forma a demanda do sistema elétrico. Naruto (2017) destaca, no seu trabalho, as vantagens e desvantagens da geração distribuída. De forma resumida, dentre as diversas vantagens encontra-se a redução nos custos da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

No Brasil, por exemplo, como o investimento da geração distribuída é realizado em sua grande maioria pelos próprios consumidores, a disseminação desse tipo de sistema diminui os gastos públicos em obras do governo relacionadas às construções de grandes usinas geradoras centralizadas.

Ademais, a diminuição da demanda de energia diminui os períodos de pico e provoca a diminuição dos custos de manutenção e substituição dos equipamentos e das linhas de transmissão congestionadas durante esse intervalo de tempo. (NARUTO, 2017)

A partir do marco da REN ANEEL nº 482/2012 houve um crescimento no número de conexões da geração distribuída de fonte solar fotovoltaica na rede, desde 2012 são mais de 930 mil

sistemas conectados à rede nas diferentes classes de consumo, com um total de mais de 10 GW de potência instalada (ANEEL, 2022), conforme figura 8 abaixo.

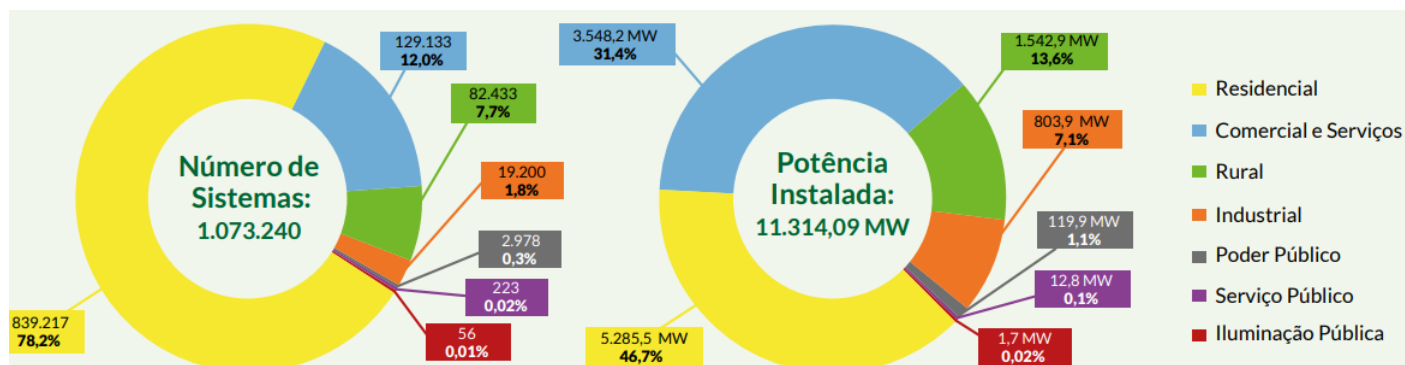


Figura 8 - Número de sistemas e potência instalada de geração distribuída solar fotovoltaica.

Especificamente em edifícios, as coberturas têm as melhores condições para instalação de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída, podendo otimizar a incidência da irradiação solar. Ainda, edifícios de poucos andares apresentam melhor maior potencial para aproveitar os sistemas fotovoltaicos (GRIFFITH et al., 2017). Apesar da preferência da integração e/ou fixação de sistemas solares fotovoltaicos ainda seja na cobertura dos prédios, 20% das instalações estão integradas à fachada do edifício. (WILSON; YOUNG, 1996). No entanto, para Tripathy, et al. (2016) as fachadas dos edifícios apresentam grandes possibilidades de superfície para integração de sistemas solares fotovoltaicos, levando ao crescimento desta tecnologia.

O crescimento das cidades, adensamento e verticalização destas, leva à redução da utilização de sistemas solares fotovoltaicos no telhado:

A verticalização implica na redução da razão da área de cobertura em relação aos andares, mas aumenta a área na fachada disponível para geração fotovoltaica, mesmo com menores eficiências.

[...]

O adensamento implica um maior número de edifícios em altura, com menores distâncias entre eles, aumentando o sombreamento e reduzindo ainda mais a geração fotovoltaica. (BOLSONI et al., 2020)

Bolsoni et al. (2020) analisam a geração de energia elétrica, por meio de BIPV em diferentes edifícios. Para eles, apesar da eficiência energética ser menor nos andares inferiores, os andares superiores compensam a geração de energia elétrica. Ainda, metade da geração de energia

elétrica do prédio como um todo vem dos andares superiores, portanto cumulativamente é vantajoso a instalação de BIPV em todo o edifício.

Além da geração de energia elétrica para os diversos consumidores de um edifício, os componentes podem reduzir os custos tanto em materiais construtivos, como em cargas de energia pela redução da temperatura interna em dias quentes e aproveitamento da iluminação externa diária, de acordo com a disposição dos painéis (CALISE et al., 2020).

2.2 TECNOLOGIA DE BIPV

Como já foi colocado anteriormente nesse trabalho e, também, colocado por Peng et al., 2011, o sistema BIPV é formado por sistema de geração solar fotovoltaica integrado e funcional à estrutura de um edifício. Estes sistemas BIPV substituem os materiais construtivos convencionais atuando em coberturas e fachadas, brises e pérgolas etc. (JELLE et al., 2012; SHUKLA et al., 2016)

Um sistema BIPV consiste em módulos, inversores, cabos, diodos de *string* adicionais entre os módulos fotovoltaicos ou otimizadores de potência e a integração construtiva dos módulos na envolvente do edifício. Esses parâmetros são, portanto, usados como base para a estrutura (ou o sistema de coordenadas) para o espaço de parâmetros de projeto, conforme ilustrado na figura 9, abaixo (KUNH et al., 2021).

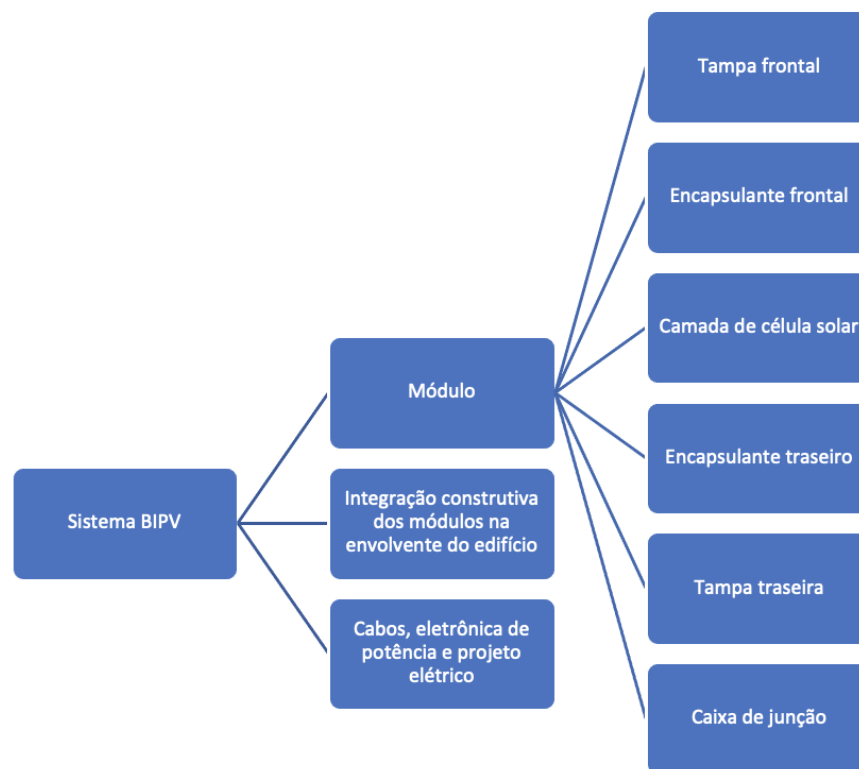


Figura 9 - *Design* de Sistema BIPV. Adaptado de KUHN et al., 2021.

Kuhn et al. (2021), ainda, explica que as células fotovoltaicas utilizadas nos sistemas BIPV são um fator decisivo para a geração de energia elétrica. Há duas categorias para estas células fotovoltaicas, existem as tecnologias baseadas em *wafer*, como Si cristalino, ou células solares em *tandem* (III-V, Si-perovskita ou Si-III-V); e, em segundo lugar, existem tecnologias de filme fino. As células de filme fino são camadas ativas cultivadas ou aplicadas em substratos (como células solares a-Si, calcogênicas, orgânicas ou perovskita), que oferecem uma impressão homogênea podendo ser benéficas para o *design* estético do módulo. No entanto, a participação das células de filme fino no mercado é menor com sinais de diminuição da sua participação no mercado.

Ferrara et al. (2017) também divide os módulos fotovoltaicos em duas categorias:

- I. Módulos de BIPV rígidos: podem ser construídos usando todas as tecnologias fotovoltaicas disponíveis no mercado, incluindo uma subestrutura rígida ou folha traseira, como folhas de vidro ou placas de metal. Estes podem substituir facilmente os materiais de revestimento convencionais para fachadas e coberturas.

- II. Módulos de BIPV flexíveis: pode ser construído com todas as novas tecnologias, como células fotovoltaicas orgânicas (OPV), células solares sensibilizadas por corante (DSC), células solares de perovskita (PSC) e todas as tecnologias de película fina, incluindo silício amorfo (a-Si), microcristalino silício (μ -Si), uma combinação de a-Si/ μ -Si, seleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). A subestrutura pode ser baseada em filmes poliméricos ou chapas metálicas.

A eficiência de cada tecnologia depende do elemento utilizado. Com isso, pode-se escolher, entre as opções existentes, qual delas atende melhor aos objetivos de cada projeto, as tabelas 1 e 2, mostram as características das tecnologias mais utilizadas em sistemas BIPV, conforme colocado por FERRARA et al. e KUHN et al.

Tabela 1 - Comparação entre as tecnologias de células fotovoltaicas relevantes ou mais promissoras em relação ao BIPV.

Cell Technology	Factors influencing LCOE				Irradiation dependence	Hazardous components	Market penetration
	Efficiency	Cost	Long-term stability	Temperature dependence			
Wafer-based technologies							
Crystalline silicon (monocrystalline/ multicrystalline)	+	++	++	o	o	o	++
III-V cells (single-/ multi-junction)	++	--	++	+	+	-	o
Perovskite Si tandem	++	o	-	o	o	-	-
Thin-film technologies							
Chalcogenide cells (CIGS, CdTe)	o	++	+	o	+	-	+
Organic/ dye-sensitized cells	--	+	--	+	+	++	o
Perovskite cells	+	+	--	-	-	-	--

Fonte: KUHN et al., 2021.

Tabela 2 - Máxima eficiência das tecnologias fotovoltaicas alcançadas em dimensões de laboratório e eficiência dos módulos fotovoltaicos das linhas de produção.

Technology	Max. efficiency (%)	Module efficiency (%)	Required area (m ² /kWp)
c-Si	25.0	22.9	4.4
CIGS	22.3	17.5	5.7
CdTe	21.5	17.5	5.7
a-Si	13.6	10.9	9.2
DSC	11.9	n.a.	n.a.
OPV	11.5	n.a.	n.a.

Fonte: FERRARA et al., 2017.

Também, foram desenvolvidas soluções de BIPV coloridas, cujo desenvolvimento foi dado para integrá-los a coberturas patrimoniais de cidades antigas (IEA, 2019). Este tipo de módulo

recentemente tem apresentado um elevado crescimento no mercado tendo a sua aplicação aumentada consideravelmente. Apesar disso, Pelle et al. (2020) analisam que a coloração dos módulos diminui o desempenho do módulo, uma vez que o seu comportamento ótico e físico pode causar a reflexão da irradiação solar que deve ser convertida em energia elétrica.

2.3 TIPOS DE APLICAÇÕES BIPV

Em geral, há dois tipos de aplicações para as soluções BIPV, em fachadas ou em telhados. Verberne et al., 2014, categorizou os produtos BIPV de acordo com uma análise de benchmarking internacional, conforme caracterizado na figura 10, abaixo.

Dentre de cada categoria são definidos vários grupos. A figura 10 mostra os diferentes produtos utilizados por arquitetos e projetistas, desde produtos para a fachada de um edifício, como acessórios, fachadas quentes, fachadas frias e vidros solares ou mais conhecidos como claraboias, este último produto também pode ser utilizado em telhados. Em se tratando de telhados, também existem no mercado sistemas de montagem no teto, ou sistema BIPV completo, além disso, existem telhas solares ou membranas FV que podem ser incorporados à aplicação do telhado, finalmente outro produto utilizado são os painéis metálicos.

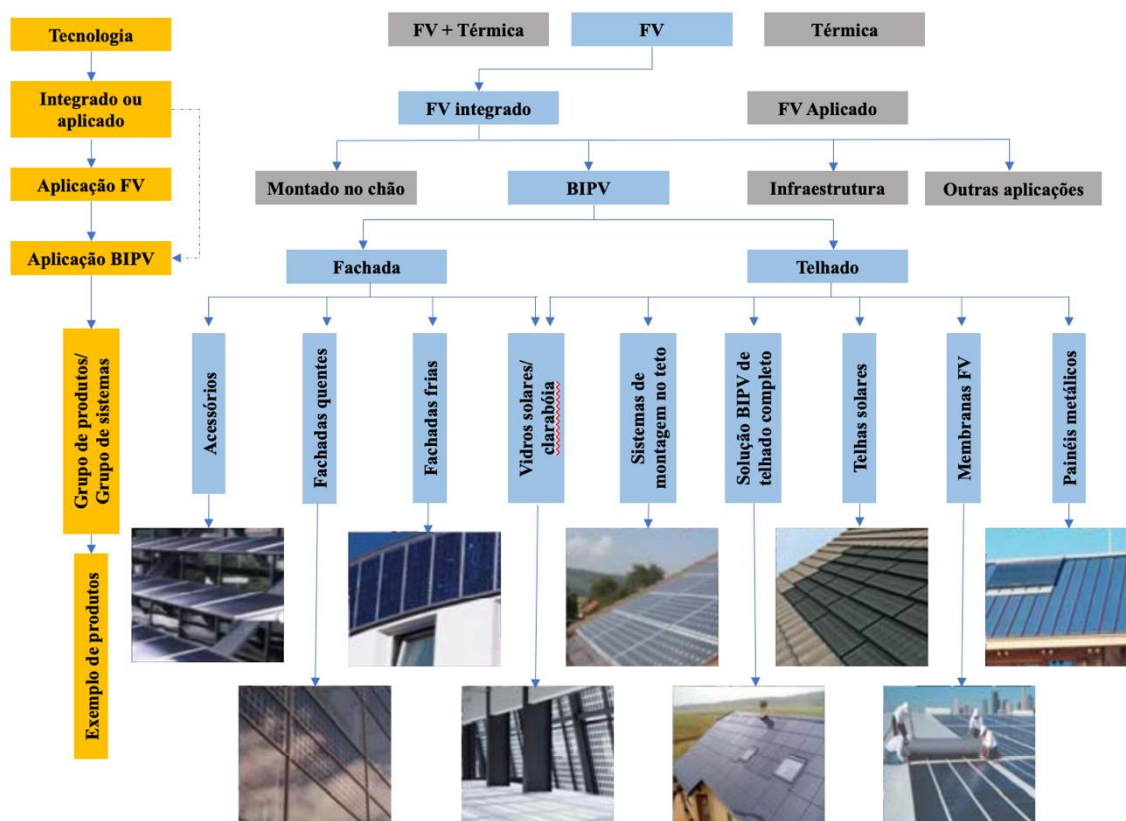


Figura 10 - Categorização dos produtos BIPV. Adaptado de Veberne et al., 2014.

Ainda, é visto na Europa que clarabóias e cortinas são na maioria dos casos utilizados em edifícios públicos as superfícies são cobertas com soluções BIPV semitransparentes equipadas com tecnologias de silício cristalino e amorfo, que podem em alguns casos contribuir para melhorar o conforto, por meio das suas propriedades passivas, tanto no verão (sombreamento) como no inverno (ganhos solares), (INSTITUTO BECQUEREL, 2020).

Também, o Instituto Becquerel analisou que em prédios mais antigos, históricos, é usual a utilização de telhados frios, podendo-se observar que a tecnologia solar FV tem sido bem integrada usando elementos ou materiais de conexão específicos e soluções fotovoltaicas não ativas, mesmo em qualquer tipologia de telhado.

Contrariamente do visto na Europa, de ser um continente com edificações majoritariamente históricas, nos Estados Unidos, Canadá e China, vê-se a complementação de BIPV em novos edifícios.

3. PROJETOS BIPV NO EXTERIOR

Esta seção procura mostrar as principais soluções de BIPV utilizadas no exterior e, também, os incentivos políticos, tributários ou ambientais que cada país, aqui avaliado, tem implementado para o crescimento do mercado e da utilização dos sistemas BIPV.

Segundo Osseweijer et al., em 2018, a Europa e os Estados Unidos dominam o mercado de BIPV, enquanto a Ásia está abordando o tema. A Tabela 3 mostra os resultados da análise de mercado de BIPV por região, incluindo a expectativa que se tinha para 2020.

Tabela 3 - Desenvolvimento e previsão do mercado global de BIPV de 2014 a 2020 em MW.

Region/Country	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Asia/Pacific	300	492	772	1159	1672	2329	3134
Europe	650	967	1441	2103	2929	3807	4838
Rest of world	81	125	184	263	355	451	561
USA	319	476	675	917	1200	1491	1766
Canada	42	61	86	119	157	190	228
Japan	143	201	268	349	434	520	612
Total (GW)	1.5	2.3	3.4	4.9	6.7	8.8	11.1

Fonte: OSSEWEIJER et al., 2018.

3.1 EUROPA

Em 2010, o Conselho Europeu anunciou que os países da União Europeia (UE) teriam que aumentar a eficiência energética para diminuir o consumo de energia em 20% até 2020. Em 2017, a fonte solar fotovoltaica foi responsável por, mais ou menos, 10% da geração de energia renovável nos 28 estados membros da União Europeia (IEA, 2019).

Já, a Comissão da União Europeia, em 2021, reviu a sua diretriz em que, a partir de 2030, todos os novos edifícios sejam emissão zero de gases de efeito estufa (GEE). Para aproveitar o potencial de ação mais rápida no setor público, todos os novos edifícios públicos devem ter emissão zero já a partir de 2027. Isso significa que os edifícios devem consumir pouca energia, ser alimentados por energias renováveis na medida do possível, não emitir carbono no local emissões de combustíveis fósseis e devem indicar seu potencial de aquecimento global com

base em suas emissões de todo o ciclo de vida em seu Certificado de Desempenho Energético (Comissão Europeia, 2021).

Vale ressaltar que a construção é um setor chave para as atuais políticas de eficiência energética, pois é responsável por aproximadamente 40% do consumo final de energia na Europa (IEA, 2019), conforme figura 11, abaixo. Portanto, conforme colocado por Maturi et al. (2018) os sistemas BIPV tem um papel essencial para responder aos desafios da União Europeia.

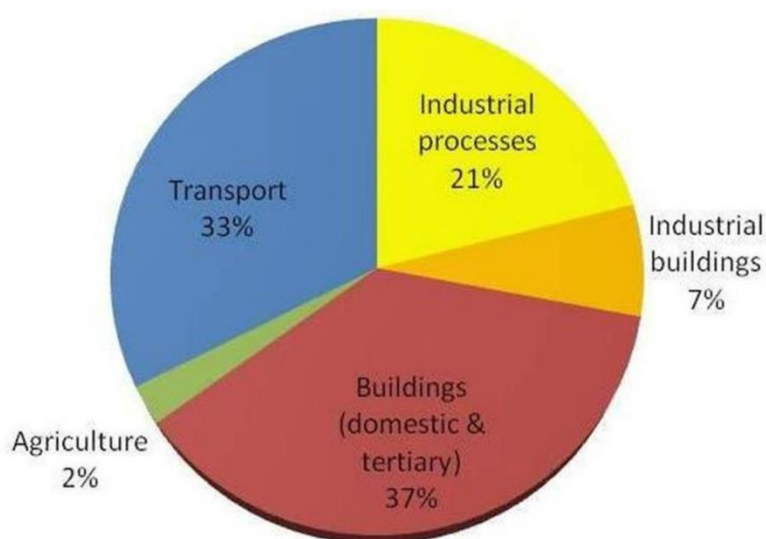


Figura 11 - Consumo total de energia na União Europeia. Fonte: IEA, 2019.

Além disso, o estudo conduzido por Sánchez-Pantoja et al. (2018) mostra que a presença de BIPV nos edifícios é bem-vinda pelo público. Ao mesmo tempo, Ghloami (2019) complementa que os sistemas BIPV são mais bem aceitos e avaliados do que os sistemas BAPV, que são sistemas incorporados ao edifício sem contato direto com a estrutura deste.

Em diferentes países europeus, os regulamentos de construção exigem uma aplicação cada vez mais significativa deste tipo de instalações, que começam a tornar-se comuns na paisagem urbana (SÁNCHEZ-PANTOJA et al., 2018).

Na figura 12 é representado o crescimento do mercado de BIPV na Europa, sendo que este teve um aumento anual significativo em 2011, porém diminuiu com o tempo. No entanto, a potência instalada acumulada em 2019 chegou a 6.8 GW, um incremento de 10 vezes a potência instalada em 2009.

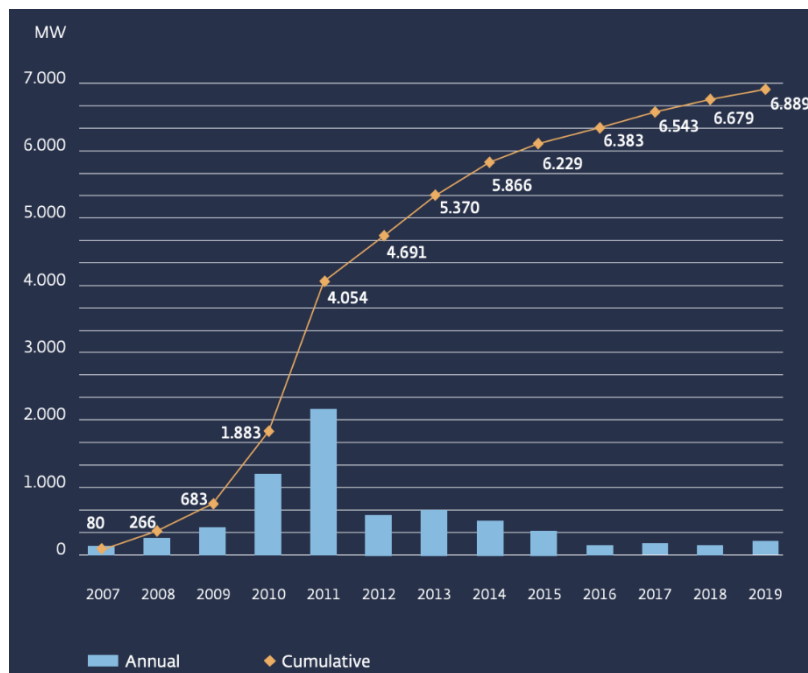


Figura 12 - Potência instalada de sistemas BIPV na Europa desde 2007 até 2019.
Fonte: Instituto Becquerel, 2020.

3.1.1 ALEMANHA

A Alemanha, por meio do seu apoio contínuo ao BIPV, estabeleceu-se como o maior mercado para o BIPV na Europa (SIVANANDAN, 2009). Segundo Jacobsson et al. (2004), o crescimento e consolidação do mercado de BIPV aconteceu graças aos incentivos políticos para o fortalecimento da indústria, ampliação de todo o sistema e, finalmente, um desenvolvimento autossustentado.

Para Rode e Cassard (2007) existem duas fases de desenvolvimento para a construção de BIPV na Alemanha. O primeiro período, que termina em 2003, é caracterizado principalmente por pesquisa básica, projetos de demonstração e estabelecimento da ideia de que a célula solar fotovoltaica pode ser integrada a um edifício. Este primeiro período consiste particularmente em atividades de mobilização de recursos, legitimação e geração de conhecimento; essas atividades ajudaram a formar redes. Com início em 2004 e prolongando-se até hoje, a segunda fase caracterizou-se por incentivos financeiros para algumas soluções BIPV criadas por políticas, portanto, visava-se uma dissociação do mercado fotovoltaico padrão e a formação de um pequeno nicho de mercado independente.

A primeira aparição do BIPV em todo o mundo foi como integração de telhado Alemanha em 1985, por exemplo. o Solarhaus próximo a Saarbrücken (STARK et al., 2005). No entanto, apesar dos incentivos à indústria com mais de 70 plantas construídas até meados dos anos 90, a potência instalada era de, apenas, 2 MW_p (RODE; CASSARD, 2007).

Um fator importante para o crescimento e apoio às energias renováveis, no período, foram as organizações, como a Sociedade Alemã de Energia Solar (DGS), “Förderverein Solarenergie” que deu a ideia das tarifas *feed-in*. Mais tarde, as associações da indústria também tiveram um papel importante para divulgar informações e fazer lobby junto a políticos, de forma a incentivar a produção de equipamentos solares no país (RODE; CASSARD, 2007).

Entre 1990 e 1994, foi lançado o programa de 1.000 telhados solares fotovoltaicos conectados à rede. O auxílio de sistemas fotovoltaicos resultou na instalação de mais de 2.200 sistemas de telhado com capacidade de 5,3 MW_p (RINDELHARDT et al., 1995). O programa visava principalmente o desenvolvimento de *know-how* de instalação e um padrão de instalação. Conseguiu-se, portanto, uma formação de conhecimento a jusante entre os instaladores e foram desenvolvidos novos inversores. Ainda, muitos instaladores elétricos entraram no mercado e foram testadas as condições da rede pela geração de energia descentralizada (JACOBSSON et al., 2004).

Além disso, em 1991 foi implementada a tarifa *feed-in*, a tarifa dava 90% do preço do mercado doméstico, que era de cerca de 8,5 centavos EUR/kWh na época, para fornecedores de eletricidades a partir de fontes renováveis de energia elétrica. Assim, o excedente de energia elétrica era vendido a um preço que não concorresse com as geradoras estabelecidas, mas a um preço próximo do preço a que a eletricidade era vendida pelas concessionárias (hwp & ISET, 2006).

Especificamente, para a energia solar fotovoltaica, Rode; Cassard (2007) comentam que esse valor não foi alto o suficiente para cobrir os custos e, portanto, a tarifa de alimentação não criou uma difusão rápida; ainda assim, foi difundida a ideia de que a eletricidade proveniente de energia renovável precisa ser aproximada do mercado por meio de preços favoráveis. No entanto, com o acidente de Chernobyl resultou em uma maior conscientização ambiental, levando à busca de alternativas para a energia nuclear, o que deu a legitimidade que a fonte solar fotovoltaica precisava.

Em 1991, foi implementado o primeiro sistema BIPV em uma fachada, com capacidade de 4 kW_p, como ilustrado na figura 13. O projeto em Aachen e alguns outros no início dos anos 1990 conscientizaram as pessoas sobre as soluções fotovoltaicas e podem ter ajudado a se preparar para programas mais avançados, como o programa de 100.000 telhados em 1999 (Jacobsson et al., 2004). O programa incluía subsídios aos investimentos e empréstimos baratos para instalar os módulos solares. No entanto, o programa começou de forma lenta e, apenas, cerca de 3.500 solicitações foram feitas, enquanto quase o dobro era esperado (ALTROCK et al., 2006).



Figura 13 - Primeira fachada com sistema BIPV em Aachen, Alemanha.
Fonte: Heinstei; Ballif; Perret-Aebi, 2013.

Em 2000, foi introduzido uma nova lei de tarifa *feed-in* chamada Lei de Fontes de Energia Renovável (EEG). Segundo Altrock et al., (2006) a nova lei introduziu diferentes valores de remuneração para diferentes fontes de energia renovável. Para a energia elétrica gerada a partir da fonte solar fotovoltaica foram fixados 50,62 EURCent/kWh. A nova Lei e o programa de 100.000 telhados tornaram o investimento na fonte solar fotovoltaica mais atraente para investidores privados em todo o país.

A figura 14 mostra o crescimento da fonte solar fotovoltaica em edificações na Alemanha, desde 1990 até 2006, podendo ser observado um crescimento exponencial da fonte. Em 2004 o EEG mudou duas vezes e a Associação Alemã de Indústrias de Energia Solar (UVS) foi capaz

de implementar uma formulação na lei exigindo uma regulamentação de acompanhamento, que garantiu a operação econômica de novos sistemas fotovoltaicos mais adiante (KREUTZMANN, 2000).

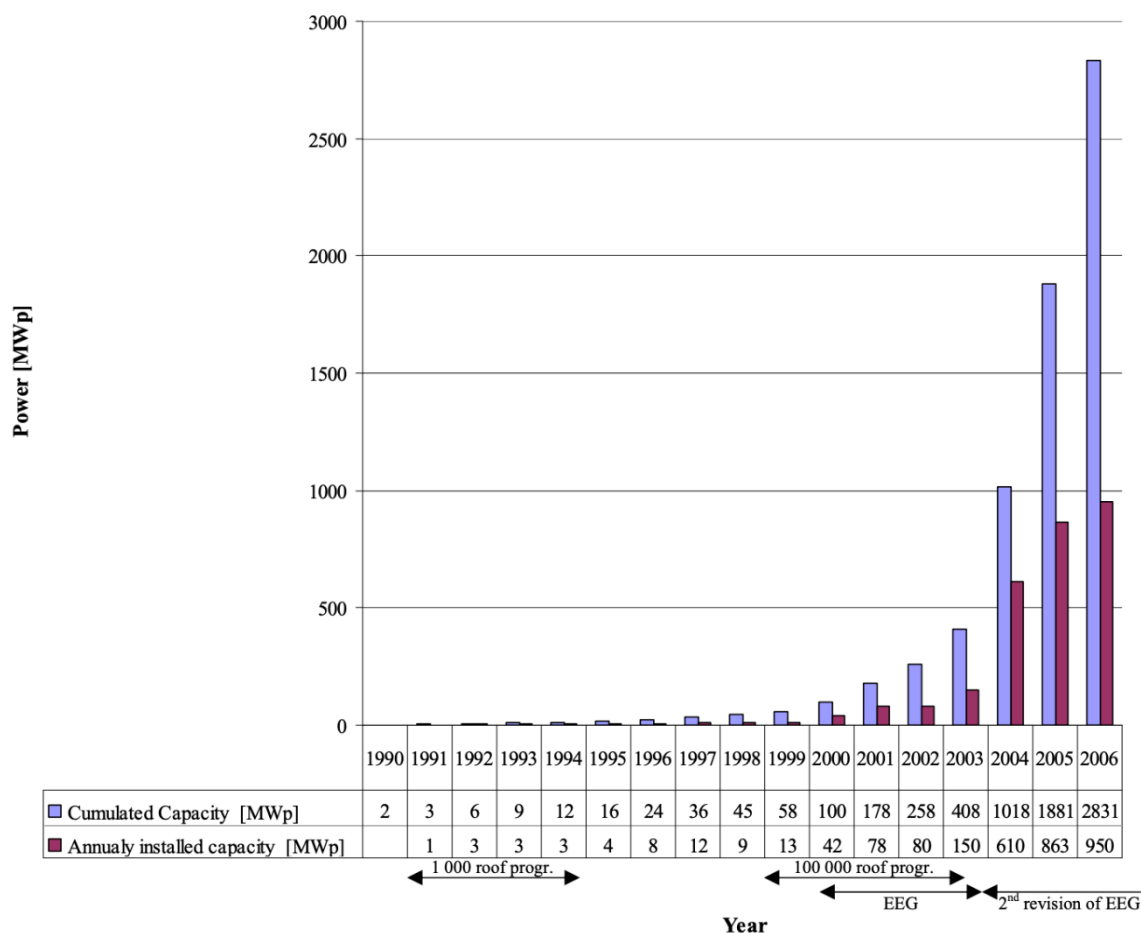


Figura 14 - Potência instalada de instalações fotovoltaicas na Alemanha de 1990 a 2006.
 Fonte: Rode; Cassard, 2007.

Até então, os sistemas BIPV foram pouco desenvolvidos, inclusive com os programas, viu-se que apenas 8%, mais ou menos, equivalia a telhados integrados com sistemas solares fotovoltaicos. Portanto, para Rode e Cassard (2007) o papel dos sistemas BIPV foi principalmente promover e legitimar a energia solar fotovoltaica como um todo. No entanto, o conhecimento sobre como desenvolver e instalar fachadas ou sistemas em telhados foi continuamente adquirido. A experimentação empreendedora ocorreu com a tentativa de mesclar telhas e células solares.

A segunda revisão do EEG, em 2004, incluiu um bônus para os sistemas em fachadas, sendo este bônus de 5 EURCent/kWh, proposto pela Sociedade Alemã de Energia Solar (DGS) e a

Associação Profissional Alemã de Energia Solar (BSi) (HARTMANN, 2007; STUBNER, 2007). Apesar disso, o mercado de BIPV ainda é um nicho, e os projetos estão em fase de legitimação (RODE; CASSARD, 2007).

3.1.2 FRANÇA

Para Rode e Crassard (2007) o desenvolvimento da fonte solar fotovoltaica na França pode ser dividido em cinco fases entre 1973 e 2006. A primeira fase, entre 1973 e 1982, descreve o surgimento da visão da energia fotovoltaica como fonte potencial de eletricidade para a França. A segunda fase, entre 1983 e 1990, destaca o desenvolvimento de aplicações fora da rede para locais isolados franceses. A terceira fase, entre 1991 e 2001, destaca o trabalho realizado na França por associações, empresas e organizações governamentais para legitimar o desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. A quarta fase, entre 2002 e 2006, foi marcada pelo crescimento do mercado fotovoltaico conectado à rede na França. Finalmente, a quinta e última fase teve início em 2006 com o aumento da tarifa *feed-in* francesa e a ênfase dada ao BIPV.

Especificamente para sistemas solares fotovoltaicos, o mercado de sistemas *off-grid* dominou o número de conexões, isso devido a dois fatos: (i) necessidade de independência energética, por meio do desenvolvimento da fonte nuclear em detrimento do incentivo à fonte solar fotovoltaica; e (ii) a eletrificação de locais rurais e isolados é uma prioridade na França, sendo assim, a energia solar fotovoltaica é considerada como uma solução para sistemas isolados e as expectativas para a fonte conectada à rede diminuiriam (RODE; CRASSARD, 2007)

No entanto, no século XXI o panorama dos sistemas de geração distribuída mudou, a primeira tarifa *feed-in* foi desenvolvida em 2002, chamada Tarifas de alimentação de energia renovável (II). A II, estipulou que todos os locais que beneficiam das taxas de recompra obrigatórias devem ter uma capacidade nominal inferior a 12 MW, especificamente para a fonte solar fotovoltaica (Arreté de 13 de março de 2002) foi fixada uma tarifa de 0,305 EUR/kWh nos departamentos ultramarinos (DOM), nas ilhas de São Pierre et Miquelon e Córsega e de 0,152 EUR/kWh para a França continental (IEA, 2017). Essa tarifa passou por reformas, chamando-a de “Lei POPE”, em 2005, que trouxe a necessidade de diversificar a matriz energética francesa, por meio de objetivos quantitativos, por exemplo, até 2010 o país precisava ter 21% do seu consumo de eletricidade ser de energias renováveis (CLER, 2006).

Assim, a Lei POPE impôs metas obrigatórias de economia às empresas de energia, por meio do regime de certificados brancos baseados no mercado (IEA, 2017). Os objetivos da Lei POPE eram: (i) reduzir a intensidade energética em 2% ao ano entre 2005 e 2015 e em 2,5% entre 2005 e 2030; (ii) reduzir as emissões de GEE em 3% ao ano e as emissões totais em 75% até 2050; e (iii) aumentar a participação da energia renovável na produção nacional de eletricidade para 10% da demanda de energia francesa até 2010 (LSE, 2022).

Segundo informe da IEA, 2016, em 2011, a França ajustou seu sistema tarifário *feed-in* para a geração de energia elétrica por meio de usinas solares fotovoltaicas. A estrutura de suporte foi estruturada em dois sistemas principais: (i) uma tarifa *feed-in*, ajustada trimestralmente, para instalações prediais não superiores a 100 kW; e (ii) licitações para instalações prediais superiores a 100 kW e plantas montadas no solo.

Já em 2011, segundo Schuetze (2013), foram estabelecidas novas condições técnicas básicas para a tarifa *feed-in*. Foi definido que o comitê francês para a avaliação de produtos fotovoltaicos para integração predial (CEIAB) passaria a decidir se os sistemas fotovoltaicos para integração predial estavam em conformidade com os critérios técnicos para “Construção de sistemas fotovoltaicos integrados” (IAB) ou para os de “Sistemas Fotovoltaicos Integrados para Edifícios Simplificados” (ISB). Os sistemas fotovoltaicos integrados ao edifício adotam a função de componentes de construção. Em telhados, estes devem ser dispostos, por exemplo, paralelos à superfície do telhado, devem ter uma vedação à prova d’água e hermético com ele, e só podem ter uma saliência máxima da linha de cumeeira de aproximadamente 2 cm. Os ISB não desempenham a função de um componente construtivo e, portanto, podem ser montados em telhados.

Já, em 2013, as características técnicas foram simplificadas, não havendo a necessidade de diferenciar os tipos de edifícios em que os sistemas solares fotovoltaicos se encontravam. No geral, os sistemas IAB com capacidade instalada de até 9 kW_p foram bastante incentivados (SCHUETZE, 2013).

Schuetze et al. (2013) também analisam que a procura de sistemas fotovoltaicos integrados com apoio financeiro, motivou as empresas francesas a recorrerem a este apoio e desenvolverem sistemas para o efeito. Muitas empresas já produzem sistemas ISB ou IAB para coberturas, terraços e fachadas.

Também, os produtos e processos BIPV podem se beneficiar de avaliações técnicas e de certificação pelo Centro Científico e Técnico Francês para Edifícios (CSTB) – estabelecimento público destinado a garantir a qualidade e a segurança dos edifícios – pois um sistema BIPV confere o direito de reclamar uma remuneração de acordo com as definições estabelecidas pelo CEIAB (SCHUETZE, 2013).

Ainda, é aplicável uma garantia de 10 anos sobre o desempenho da construção para os sistemas BIPV. Isso é garantido pela empresa que instala os produtos e refere-se ao funcionamento sem falhas em relação à função de construção pretendida. Refere-se, por exemplo, ao reparo de vazamentos causados por sistemas IAB. Além disso, uma garantia separada chamada “encaixe” sobre o perfeito funcionamento eletrotécnico do sistema fotovoltaico é aplicável aos sistemas IAB (DURAND, 2012).

Michel (2017) argumenta que a tarifa *feed-in* permite que a França “proteja” sua indústria nacional, fomentando o mercado fotovoltaico de forma a induzir a entrada de empresas estrangeiras no mercado francês e eventualmente favorecendo o desenvolvimento de indústrias estrangeiras ao invés de empresas francesas.

Em 2016, com a continuidade da tarifa *feed-in* e as diversas mudanças que esta passou, as instalações fotovoltaicas BIPV não superiores a 9 kW tinham direito a 0,246 EUR/kWh. Já, sistemas BIPV simplificados, tinham o incentivo de 0,133 EUR/kWh para usinas de até 36kW e 0,126 EUR/kW para usinas entre 36 e 100KW.

Em outubro de 2021, no jornal oficial da França, o Ministério da Transição Ecológica da França introduziu um novo pacote de medidas para apoiar sistemas fotovoltaicos de até 500 kW que incluiu um bônus tarifário de alimentação para sistemas BIPV que atendem a uma série de requisitos de integração da paisagem.

De acordo com as recentes disposições introduzidas pelo governo francês, os projetos elegíveis para o esquema devem garantir uma função de vedação do telhado e o telhado deve ter uma inclinação entre 10 e 75 graus. Além disso, o sistema BIPV terá que ser aprovado pelo CSTB (PV-MAGAZINE, 2022).

3.1.3 ITÁLIA

A primeira política pública da Itália para incentivar os sistemas de geração distribuída foi o “10.000 telhados solares”, lançado em 2001. De acordo Dio et al., (2015), os sistemas fotovoltaicos com potência nominal de 1 a 20 kW receberam subsídios de capital equivalentes a 60–70% dos custos totais de compra, instalação e projeto.

Em 2005, foi introduzida a tarifa *feed-in* (FIT), ou também chamada de “Conto Energia”, gerida pela *Gestore dei Servizi Energetici* (GSE), encarregada de implementar políticas energéticas relativas a sistemas de energia renovável e eficiência energética por meio de incentivos (IEA, 2021). Apenas sistemas fotovoltaicos conectados à rede com potência nominal de 1 kW a 1 MW podiam receber fazer uso do benefício. A duração do incentivo FIT foi de 20 anos com remuneração constante. Após 20 anos, o produtor pode se beneficiar da opção de medição líquida ou vender a energia para o fornecedor de eletricidade (DIO et al., 2015).

A segunda revisão do “Conto Energia”, em 2007, redefiniu as tarifas e introduziu novas regras. As tarifas foram desenhadas para promover a geração distribuída e a integração arquitetônica de acordo com três graus de implementação: não integrados, parcialmente integrados e integrados, cada um com suas próprias tarifas (IEA, 2019). Na figura 15 abaixo, pode ser observada a principal diferença entre um Sistema parcialmente integrado e o totalmente integrado.



Figura 15 - Exemplos de sistemas solares parcialmente e totalmente integrados à edificação.
Fonte: IEA, 2019.

A tabela 4, abaixo, descreve os incentivos tarifários para os diferentes sistemas solares fotovoltaicos considerados na revisão da Conto Energia. Segundo Chiaroni, D. (2014), as diferenças nas tarifas *feed-in* indicam o objetivo do governo italiano de favorecer a difusão de pequenas instalações residenciais de forma consistente com um paradigma de geração distribuída de eletricidade.

Tabela 4 - Tarifas *feed-in* (EUR/kWh) na segunda revisão da "Conto Energia".

		Plant type		
		Not integrated	Partially integrated	Fully integrated
Plant size (kW)	1–3	0.40	0.44	0.49
	3–20	0.38	0.42	0.46
	>20	0.36	0.44	0.40

O principal aspecto positivo do Primeiro e particularmente do Segundo “Conto Energia” foi reduzir o preço dos módulos fotovoltaicos e aumentar quase exponencialmente a quantidade de energia gerada e financiada (MAZZANTI et al., 2011), conforme ilustrado na figura 16.

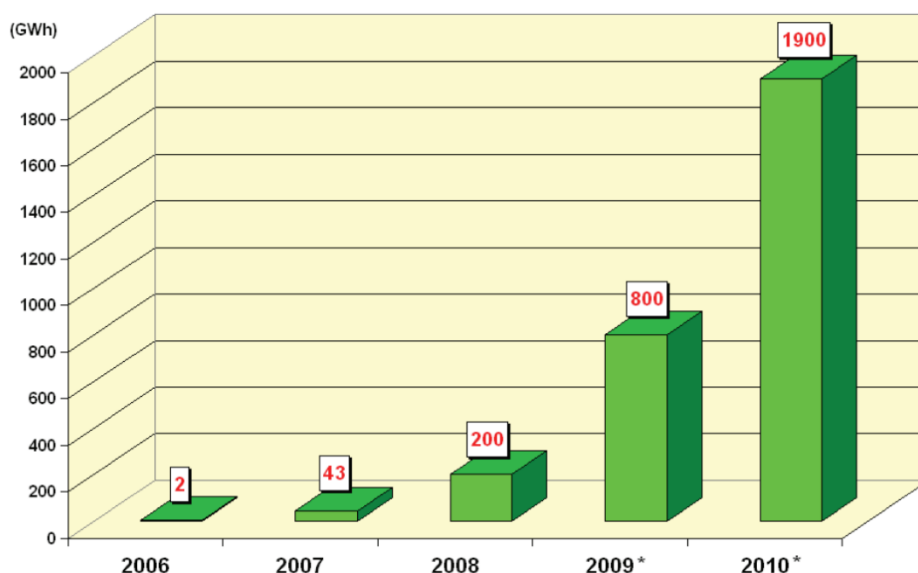


Figura 16 - Energia elétrica (GWh) anualmente financiada no enquadramento do Primeiro e Segundo “Conto Energia”. Fonte: Mazzanti et al., 2011.

Os seguintes decretos, conforme analisado por Dio et al. (2015), implementaram novas regras para incentivar a geração de energia elétrica por sistemas solares fotovoltaicos, após mudanças dentre as categorias, o último enquadramento do “Conto Energia” teve como principal objetivo simplificar as categorias dos incentivos em três: (i) sistemas fotovoltaicos tradicionais; (ii)

plantas fotovoltaicas integradas em edifícios inovadores (IBIPV); e (iii) sistemas fotovoltaicos concentrados (CPV).

Ainda, o último decreto promoveu os menores sistemas fotovoltaicos (cuja potência nominal não era superior a 12 kW) e outras situações particulares como a instalação de sistemas fotovoltaicos no lugar de telhados de amianto e nos telhados das escolas. Também, o governo italiano decidiu reduzir significativamente as tarifas (DIO et al., 2015), devido à:

- Redução do custo de realização de sistemas fotovoltaicos.
- Vontade de promover outros setores em que a aplicação de novas tecnologias possa dar resultados mais eficientes (transportes, calor e eficiência energética).

Como resultado da “Conto Energia” e das iniciativas BIPV relacionadas, a Itália tem a maior capacidade BIPV do mundo. No final de 2013, a Itália tinha cerca de 2,3 GW de usinas totalmente integradas, além de 300 MW adicionais de BIPV Inovador. Desde 2013, após a era FIT, a potência instalada de BIPV continuou a aumentar (IEA, 2019).

Desde o fim da era “Conto Energia”, em 2013, as taxas de crescimento desaceleraram significativamente. A figura 17 ilustra esse momento, com os dados históricos desde 2009 até 2020.

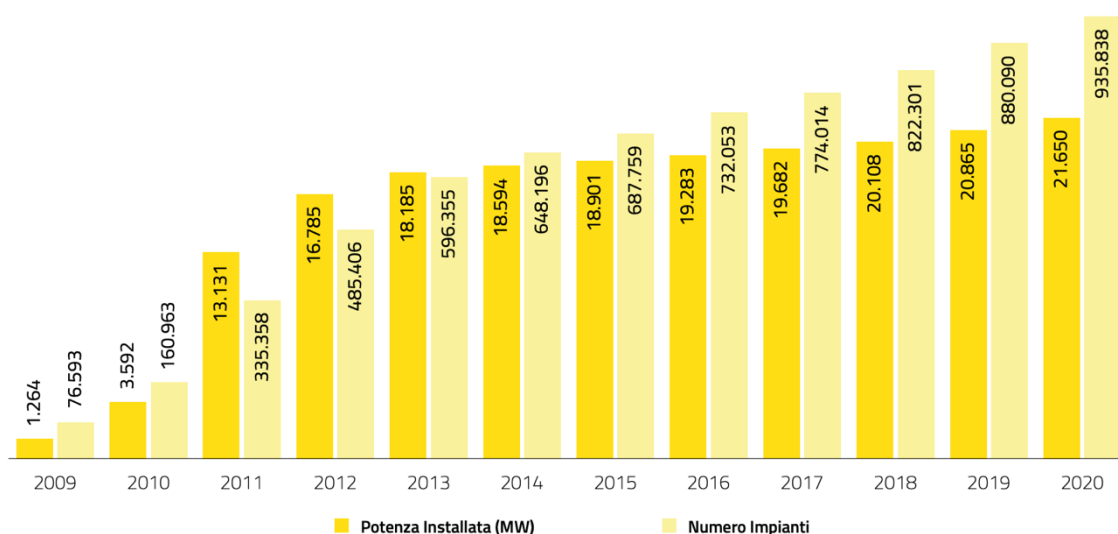


Figura 17 - Potência instalada e número de sistemas fotovoltaicos na Itália desde 2009 até 2020.
Fonte: GSE, 2021.

Dio et al. (2015) explica que a maior dificuldade da penetração de sistemas fotovoltaicos no país, após a interrupção dos incentivos, é a falta de produção de células solares e de cabos. Sem os incentivos, o número de instalações de usinas fotovoltaicas diminuiu e os funcionários de campo fotovoltaicos também diminuíram.

3.1.4 REINO UNIDO

O Reino Unido (UK) enfrenta desafios nos próximos anos para cumprir seu objetivo de reduzir suas emissões de dióxido de carbono em pelo menos 80% até 2050 em relação a uma linha de base de 1990 (OPSI, 2008). O setor de construção residencial do Reino Unido constitui cerca de 30% da demanda final de energia do Reino Unido e cerca de 23% das emissões de gases de efeito estufa (Allen et al., 2008a).

Assim, a nação insular introduziu um esquema de tarifa *feed-in* desde 1º de abril de 2010, Hammond et al. (2012) analisa que a tarifa substitui uma combinação bastante frouxa de subsídios, recompensas de exportação de eletricidade e recompensas de geração renovável, que foram aplicadas de forma semelhante à maioria dos tipos de geração renovável e tamanhos. Em contraste, o esquema baseia-se na diferenciação entre tipos e tamanhos de energia renovável e oferece diferentes mecanismos e níveis de suporte para cada um.

O mecanismo de apoio substituído incluía um subsídio inicial, por meio do Programa de Edifícios de Baixo Carbono (LCBP) do governo do Reino Unido. Os subsídios estavam disponíveis para sistemas BIPV de até £ 2.000/kW_p de capacidade instalada, sujeitos a um máximo geral de £ 2.500 ou 50% dos custos elegíveis relevantes, normalmente o que for menor (DECC, 2009). Outros benefícios financeiros foram obtidos por meio das tarifas de exportação de eletricidade e do esquema *Renewables Obligation* (RO), que são certificados verdes emitidos para eletricidade renovável elegível gerada no Reino Unido e fornecida aos clientes (OFGEM, 2008, 2009)

As tarifas *feed-in* foram recomendadas na Consulta do governo do Reino Unido de 2009 sobre incentivos financeiros de eletricidade renovável (DECC, 2009). A tarifa substituiu completamente a concessão do LCBP e outros mecanismos de apoio à microgeração. A Lei de Energia de 2008 forneceu a base para a introdução da tarifa *feed-in* para geração de eletricidade de baixo carbono em pequena escala, inferior a 5 MW, (DECC, 2009). A nova estrutura para o

Reino Unido garante: i) um pagamento fixo do fornecedor de eletricidade para cada quilowatt-hora gerado (a "tarifa de geração"); e ii) outro pagamento adicional à tarifa de geração para cada quilowatt-hora exportado para o mercado de energia mais amplo (a "tarifa de exportação") (DECC, 2009). O sistema inclui toda a eletricidade gerada para evitar que o morador exporte toda a eletricidade fornecida pelo microgerador. A tarifa de geração é um preço fixo (p/kWh) pago ao longo de 25 anos para o atual sistema BIPV (DECC, 2009). Ainda, as tarifas para novos projetos são reduzidas anualmente para refletir e incentivar as reduções esperadas nos custos de tecnologia (DECC, 2009). No entanto, as tarifas pagas pela produção do sistema BIPV são 'grandfathered', o que significa que permanecerão as mesmas do primeiro ano de operação ao longo dos 25 anos de vida útil do produto.

Em 1º de abril de 2019, o governo fechou o esquema de tarifas *feed-in* para novos candidatos, salvo algumas exceções (OFGEM, 2020). No entanto, foi criada a Garantia de Exportação Inteligente (SEG), esquema que permite que as famílias sejam pagas por qualquer energia renovável extra que for gerada (SSE Energy Services, 2020). A figura 18 mostra, o crescimento da fonte solar fotovoltaica no Reino Unido desde o segundo quarto de 2018 até o primeiro quarto de 2021, vê-se uma desaceleração na potência instalada entre 2019 e 2020, época em que a tarifa *feed-in* deixou de ter efeito e, também, devido à pandemia de COVID-19. Apenas no primeiro quarto de 2021 foram instalados mais de 175 MW, o que, segundo a Solar Power UK, equivalem a 3 milhões de casas utilizando sistemas solares fotovoltaicos.

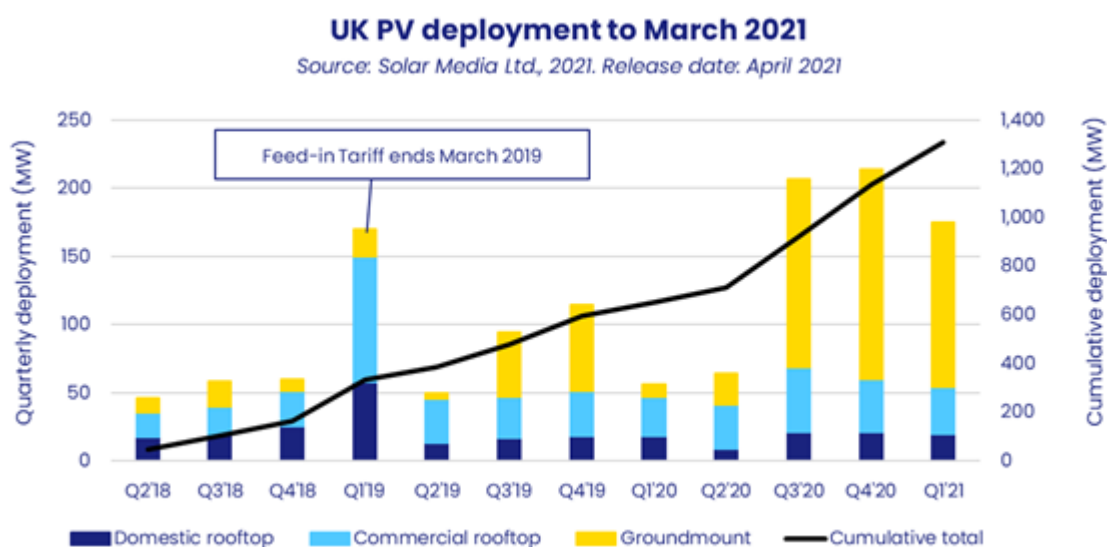


Figura 18 - Implantação de energia solar fotovoltaica no Reino Unido. Fonte: Solar Power UK, 2022.

3.2 ESTADOS UNIDOS

Segundo Pereira (2003) nos Estados Unidos (EUA) existem vários subsídios e incentivos disponíveis para a instalação de um sistema de energia solar fotovoltaica. Esses apoios financeiros não apenas variam de estado para estado, mas também distinguem entre diferentes tipos de aplicações fotovoltaicas. Incluem-se programas para promover casas de energia zero (ZEH). Além dessas iniciativas de alto nível, várias organizações nos EUA – nos níveis local, estadual e federal – empreenderam esforços importantes para incentivar a energia solar fotovoltaica em novas residências. Em particular, os fundos de energia limpa, atualmente estabelecidos em 14 estados dos EUA e com mais de US\$ 5 bilhões para investir em energia renovável na próxima década, emergiram como líderes nesses esforços.

Assim, muitos estados também introduziram políticas locais de energia renovável para apoiar a indústria fotovoltaica, como créditos fiscais estaduais, alto preço de compra para eletricidade solar excedente etc. Especificamente os sistemas de BIPV, o governo dos EUA começou a focar cada vez em promover a aplicação dessa tecnologia (SONG et al., 2016).

Song et al. (2016), também, complementa que em 2010, foi lançado o programa 10 milhões de telhados solares e, desde 2012, o governo dos EUA investiu US\$ 250 milhões na construção de telhados com energia solar e ampliou o orçamento anualmente, com o objetivo de atingir 100 GW até 2021. O objetivo, apesar de bastante audaz, ainda não atingiu a meta, conforme, pode ser visto na figura 19, abaixo.

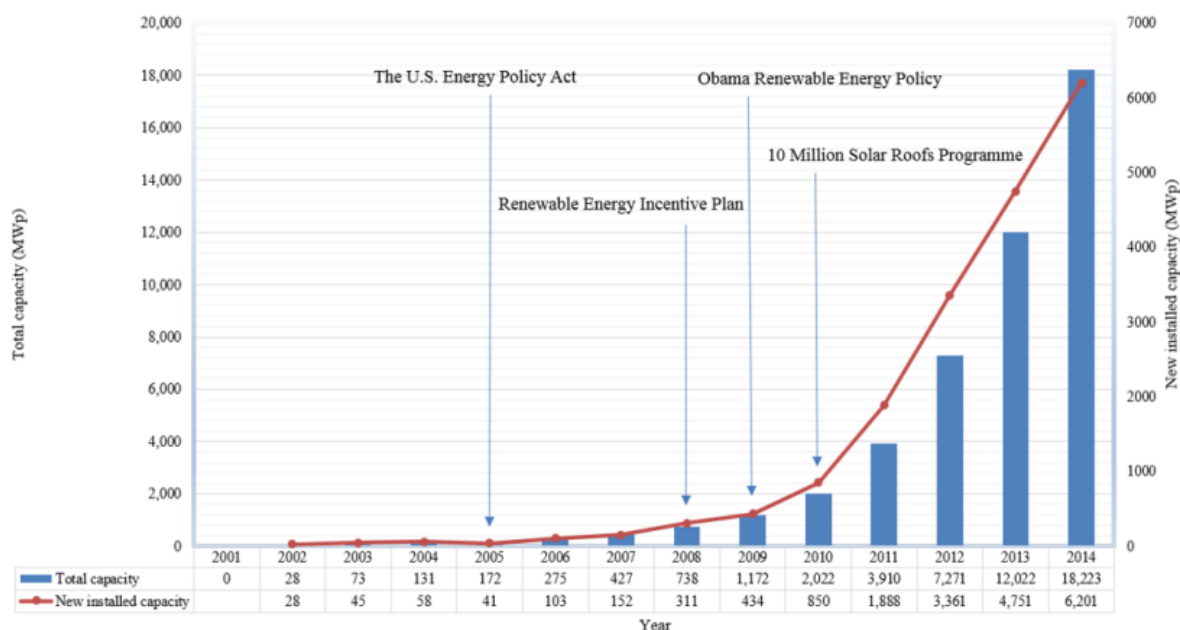


Figura 19 - Políticas fotovoltaicas americanas e status de desenvolvimentos industriais.
Fonte: Song et al., 2016.

Na Califórnia, especificamente, as tarifas de energia elétrica são as mais altas do país, o que traz o custo de equilíbrio para sistemas solares fotovoltaicos a uma dimensão muito atraente. Além disso, a Califórnia oferece incentivos para empresas e clientes de energia solar fotovoltaica. Em São Francisco, o “*Solar Bond Act*” foi aprovado em 2001, permitindo o financiamento de sistemas solares fotovoltaicos em prédios públicos e alentando a utilização de sistemas BIPV. Já, o Distrito de Utilidade Municipal de Sacramento, não está apenas oferecendo dinheiro de compra para aplicações fotovoltaicas. Eles também apoiam fortemente os esforços de BIPV, onde as usinas fotovoltaicas são bem integradas nos envelopes dos edifícios (PEREIRA; JURGENS, 2003).

Em Los Angeles, segundo Pereira e Jurgens (2003), o Departamento de Água e Energia de Los Angeles (LADWP) oferece um suporte muito atraente para abordagens BIPV em edifícios na cidade. Desde o início, os arquitetos são motivados a integrar plantas fotovoltaicas em seus projetos.

Já na costa atlântica dos Estados Unidos, Nova York é o estado mais bem classificado em uma pesquisa recente de viabilidade para instalações fotovoltaicas (HERIG et al., 2002). O Estado oferece oportunidades de financiamento por meio da Autoridade de Pesquisa e Desenvolvimento de Energia do Estado de Nova York (NYSERDA) e possui várias leis que incentivam o uso de sistemas fotovoltaicos, incluindo uma lei de medição de rede e um crédito

fiscal de construção verde são apenas alguns dos incentivos disponíveis. Em particular, a “*Battery Park City Authority*” (BPCA) desenvolveu diretrizes rígidas de construção verde para novos projetos de construção dentro de sua jurisdição e desenvolvedores e arquitetos são incentivados a incluir sistemas BIPV em seus projetos.

3.3 CANADÁ

Um estudo realizado pela Natural Resources Canada em 2006 revelou um enorme potencial de mercado para BIPV no Canadá, indicando que cerca de 71,34 TWh poderiam ser gerados com a instalação desta tecnologia em edifícios residenciais e comerciais/institucionais. A tendência de construção de edifícios de vários andares altamente envidraçados na última década aumentou ainda mais a área adequada para BIPV.

Espera-se que a atividade de construção verde continue crescendo em ritmo acelerado (CANADA GREEN BUILDING COUNCIL, 2014) e novos rótulos e padrões canadenses, como o Programa de Etiquetagem de *Net Zero Homes* da Canadian Home Builders' Association (CHBA) e o *Zero Carbon Building Standard* da O Canada Green Building Council (CaGBC) incentivam ainda mais a geração de energia renovável no local em edifícios.

Ainda, o apoio político para a implantação de tecnologias e materiais solares fotovoltaicos é limitado a Ontário, onde a Lei de Energia Verde e Economia Verde, de 2009, introduziu a tarifa *feed-in*, a tabela 5 mostra os valores da tarifa do programa em 2017. A tarifa garante, por meio de contratos de compra de energia de 20 anos, uma tarifa fixa generosa para a eletricidade gerada por fontes renováveis elegíveis. O apoio em outras províncias é limitado a acordos de medição líquida, em que os geradores de energia renovável podem vender eletricidade excedente (sua produção líquida) à rede. Atualmente, a implantação de sistemas solares fotovoltaicos sob medição líquida não é economicamente justificável, em parte devido ao custo da eletricidade, relativamente baixo, do Canadá e, portanto, a capacidade instalada é quase inteiramente isolada de Ontário (Bertrand; Rosenbloom; Meadowcroft, 2012).

Tabela 5 - Tarifas *feed-in* em 2017 do *Green Energy and Green Economy Act* em Ontario.

Fonte renovável	Tamanho do sistema	Preço (¢/kWh)
Solar FV (telhado)	≤ 6 kW	31,1
	> 6 kW a ≤ 10 kW	28,8
	> 10 kW a ≤ 100 kW	22,3
	> 100 kW a ≤ 500 kW	20,7
Solar FV (outros)	≤ 10 kW	21
	> 10 kW a ≤ 500 kW	19,2

Adaptado de Internat Energy Solutions, 2017.

Atualmente, há mais de 50 projetos comerciais, institucionais, bem como vários projetos BIPV residenciais menores realizados no Canadá, conforme figura 20.



Figura 20 - Exemplos de instalações BIPV no Canadá (de esquerda para direita: Maxime Gagné, *One House Green*, Universidade de Alberta e Véronique Delisle). Fonte: Governo do Canadá, 2018.

3.4 CHINA

Segundo Yang; Zou (2015), o governo chinês tem encorajado os desenvolvedores a aplicar sistemas fotovoltaicos para novos edifícios. O Programa Telhados Solares subsidia investimentos de capital para BIPV *on-grid* e sistemas solares fotovoltaicos remotos acima de 50 kW_p, com um subsídio potencial de mais de 50% do custo do sistema (Huo & Zhang 2012; Moosavian et al. 2013). Já, o Programa *Golden Sun*, implementado em 2009, oferece subsídios de 50% dos custos totais para sistemas fotovoltaicos conectados à rede maiores que 300 kW (Grau et al. 2012).

Também, o apoio governamental é fornecido à indústria fotovoltaica por meio de vários programas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), incluindo: o Programa Nacional de P&D de alta tecnologia; o Programa Nacional de Pesquisa Básica; e o Programa de I&D de Tecnologias Chave. Esses programas financiaram P&D de módulos fotovoltaicos de filme fino e fabricação de módulos fotovoltaicos de silício cristalino para desenvolver cada componente na cadeia de

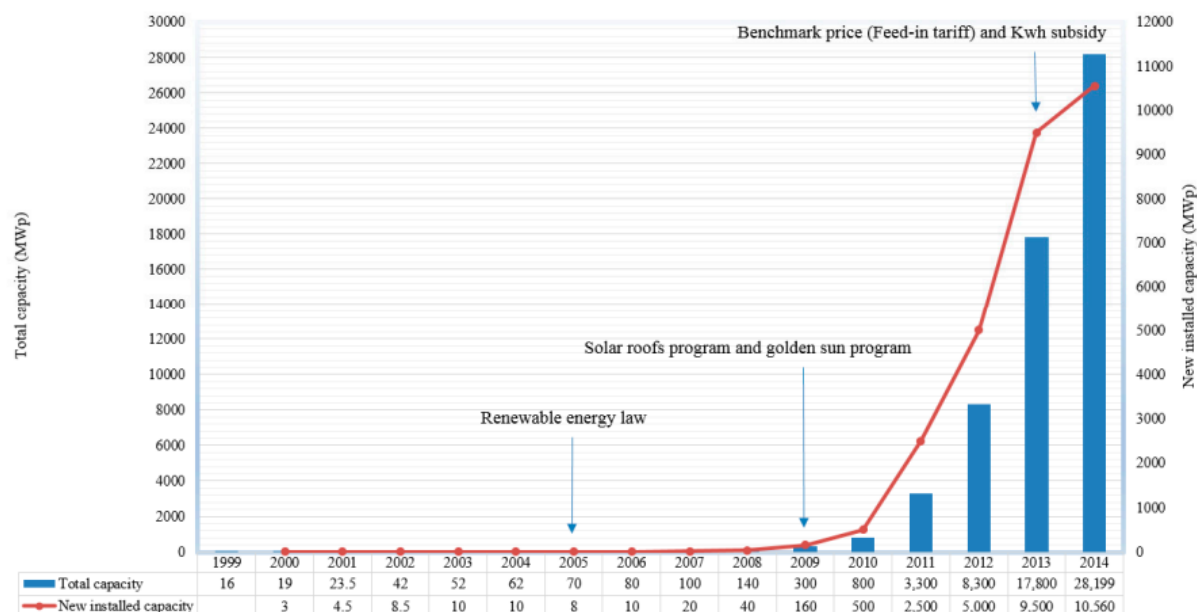


Figura 21 - Políticas fotovoltaicas da China e status de desenvolvimento industrial.
Fonte: Song et al., 2016.

valor fotovoltaico (Huo & Zhang 2012). A figura 21 mostra como a capacidade instalada de sistemas solares fotovoltaicos aumentou graças aos incentivos do governo.

Embora o governo chinês tenha reduzido gradualmente os subsídios para os programas *Golden Sun* e Telhados Solares, foram implementadas novas medidas de incentivo conhecidas como *PV Electric Grants* (PVEG), que concederam à energia gerada por sistemas fotovoltaicos distribuídos com 0,42 RMB/kWh e forneceram tarifas *feed-in* para sistemas fotovoltaicos baseados no solo (chamados de preço de referência) que diferiam em termos de distribuição regional de recursos de energia solar na China.

4. RESUMO DOS INCENTIVOS INTERNACIONAIS

De forma a resumir o trabalho aqui apresentado, montou-se uma tabela resumo com todos os incentivos discutidos e avaliados para analisar as possibilidades de melhores práticas a serem utilizadas no Brasil.

Tabela 6 - Resumo dos incentivos internacionais estudados no trabalho.

País	Ano	Incentivo	Objetivo
Alemanha	1990 a 1994	1.000 telhados solares	Desenvolvimento de <i>know-how</i> de instalação e um padrão de instalação.
	1991	Tarifa <i>feed-in</i>	90% do preço do mercado doméstico, que era de cerca de 8,5 centavos EUR/kWh na época, para fornecedores de eletricidade.
	1999	100.000 telhados solares	Subsídios aos investimentos e empréstimos baratos para instalar os módulos solares.
	2000	Lei de Fontes de Energia Renovável (EEG)	Para a energia elétrica gerada a partir da fonte solar fotovoltaica foram fixados 50,62 centavos EUR/kWh.
	2004	Segunda revisão da Lei de Fontes de Energia Renovável (EEG)	Bônus para os sistemas em fachadas de 5 centavos EUR/kWh.
França	2002 - atualmente	Tarifa <i>feed-in</i>	Incentivos à energia renovável, com subsídios específicos para os sistemas BIPV. Estabelecimento de um comitê para avaliação de produtos fotovoltaicos para integração predial (CEIAB).
	2005	Lei POPE	Metas obrigatórias de economia às empresas de energia.

País	Ano	Incentivo	Objetivo
Itália	2001	10.000 telhados solares	Subsídios de capital equivalentes a 60–70% dos custos totais.
	2005	Conto Energia - tarifa <i>feed-in</i>	Incentivo para sistemas FV de 1 kW a 1 MW.
	2007	Segunda revisão do Conto Energia	Tarifa <i>feed-in</i> específica para sistemas não integrados, integrados parcialmente e integrados.
	2010	Terceira revisão do Conto Energia	Tarifa <i>feed-in</i> para o incentivo de sistemas solares fotovoltaicos.
	2011	Quarta revisão do Conto Energia	Novos incentivos para os sistemas solares fotovoltaicos.
	2012	Quinta revisão do Conto Energia	Novos enquadramentos e tarifas <i>feed-in</i> : (i) sistemas fotovoltaicos tradicionais; (ii) plantas fotovoltaicas integradas em edifícios inovadores (IBIPV); e (iii) sistemas fotovoltaicos concentrados (CPV).
Reino Unido	2010	Tarifa <i>feed-in</i>	Subsídios para sistemas BIPV de até £ 2.000/kW _p .
	2019	Garantia de Exportação Inteligente (SEG)	Pagamento por qualquer energia renovável extra que for gerada.
Estados Unidos	2010	10 milhões de telhados solares	Atingir 100 GW até 2021
Estados Unidos - São Francisco, Califórnia	2001	<i>Solar Bond Act</i>	Financiamento de sistemas solares fotovoltaicos em prédios públicos e alentando a utilização de sistemas BIPV.
Estados Unidos - Los Angeles, Califórnia	-	-	Incentivo para integrar sistemas solares FV nos edifícios.
Estados Unidos - Nova Iorque	-	Leis da Autoridade de Pesquisa e Desenvolvimento de Energia do Estado de Nova York (NYSERDA)	Financiamento dos BIPV.

País	Ano	Incentivo	Objetivo
Canadá	-	Programa de Etiquetagem de Casas <i>Net Zero</i> da <i>Canadian Home Builders' Association</i>	Programa de eficiência energética de residências.
	-	<i>Zero Carbon Building Standard</i>	Programa de eficiência energética de residências.
Canadá - Ontário	2009	Lei de Energia Verde e Economia Verde – tarifa <i>feed-in</i>	Tarifa <i>feed-in</i> com diferenciação entre sistemas em telhado e outros.
China		Programa Telhados Solares	Subsídio de investimentos de capital para BIPV <i>on-grid</i> e sistemas solares fotovoltaicos remotos acima de 50 kW _p .
	2009	<i>Golden Sun</i>	Subsídios de 50% dos custos totais para sistemas fotovoltaicos conectados à rede maiores que 300 kW
	-	Programa Nacional de P&D de alta tecnologia; Programa Nacional de Pesquisa Básica; e Programa de I&D de Tecnologias Chave	Incentivo à indústria fotovoltaica
	-	<i>PV Electric Grants (PVEG)</i> – tarifa <i>feed-in</i>	Concede à energia gerada por sistemas fotovoltaicos distribuídos 0,42 RMB/kWh.

Fonte: Própria elaboração.

5. APLICAÇÃO DE BIPV NO BRASIL

O capítulo visa apresentar o desenvolvimento da microgeração e minigeração de energia solar fotovoltaica conectada à rede no Brasil e expansão dos sistemas integrados às edificações. Para isso, será apresentada uma breve análise das políticas regulatórias do país. Por fim, o capítulo mostrará os principais projetos de BIPV instalados no Brasil.

5.1 ASPECTOS REGULATÓRIOS

A partir de 2010, a ANEEL começou a discutir os dispositivos legais para a geração distribuída, que no momento estava sendo alavancada no exterior. Assim, a agência realizou a consulta pública nº 15/2010 e a Audiência Pública nº 42/2011 (Machado, 2017). Assim, em 2012, o resultado saiu, com a Resolução Normativa nº 482/2012, responsável por estabelecer as condições gerais do sistema de compensação de energia elétrica para os sistemas de geração distribuída.

O Ministério de Minas e Energia (MME, 2017) afirma que pela sistemática instituída por meio da Resolução ANEEL nº 482/2012 (REN ANEEL 482/2012), a energia excedente é cedida à distribuidora local, e depois compensada com o consumo de energia elétrica dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade. Ou seja, o saldo positivo de um mês pode ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário, ou na fatura do mês subsequente.

De Castro et al. (2016), Konzen et al. (2016), dentre outros, avaliam a importância da REN ANEEL 482/2012, uma vez que esta é o primeiro marco regulatório efetivo voltado à viabilização da expansão da GD no país, apesar de destinado apenas a micro e minigeração, com limite inicial de 1 MW, expandido posteriormente para 5 MW.

Em 2015, a ANEEL publicou a Resolução ANEEL nº 687/2015 (REN ANEEL 687/2015), que definiu novas regras para o setor. Como a mudança de limites de microgeração (até 75 kW) e minigeração (entre 75 kW e 5 MW) e diminuiu a burocracia para conexão de sistemas de geração distribuída. Pela nova normativa, podem ser enquadradas nas modalidades de mini e microgeração os imóveis individuais, condomínios, cooperativas e consórcios e, no caso da microgeração (CUNHA, 2021).

As modificações introduzidas e os novos arranjos permitidos pela REN ANEEL 687/2015 foram importantes para estimular a instalação de novos sistemas, por meio do sistema de compensação, acelerando a curva de crescimento da GD, como pode ser observado na figura 22, abaixo.

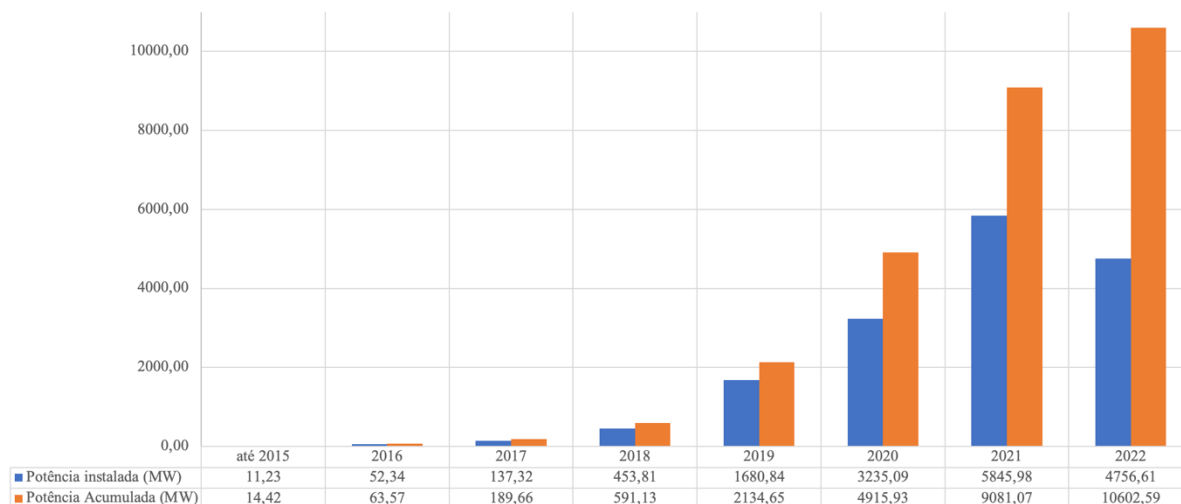


Figura 22 - Potência instalada de geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil desde 2008 até maio de 2022. Adaptado de ANEEL, 2022.

Em 2019 foi introduzido no Congresso Nacional o Projeto de Lei nº 5.829/2019 (PL 5.829/2019), que tinha como diretriz criar o marco legal da geração distribuída. Em dezembro de 2021, o PL 5.829/2019 foi aprovado, convertendo-se no dia 07 de janeiro de 2022 na Lei nº 14.300/2022.

A Lei nº 14.300/2022 muda as regras de compensação de energia elétrica para os novos acessantes em 2023, criando um período de transição, de forma a que exista tempo hábil para que tanto o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) como a ANEEL possam definir as regras para a geração distribuída, a partir dos seus custos e benefícios à sociedade e ao setor elétrico. O período de transição tem de 8 a 9 anos, em que o consumidor final não irá compensar totalmente o excedente de energia. Dessa forma, deverá ser pago a parcela da tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD Fio b), conforme colocado pelo paragrafo primeiro do artigo 17:

“Art. 17. Após o período de transição de que tratam os arts. 26 e 27 desta Lei, as unidades participantes do SCEE ficarão sujeitas às regras tarifárias estabelecidas pela Aneel para as unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída.

§ 1º As unidades consumidoras de que trata o **caput** deste artigo serão faturadas pela incidência, sobre a energia elétrica ativa consumida da rede de distribuição e sobre o

uso ou sobre a demanda, de todas as componentes tarifárias não associadas ao custo da energia, conforme regulação da Aneel, e deverão ser abatidos todos os benefícios ao sistema elétrico propiciados pelas centrais de microgeração e minigeração distribuída.”

No entanto, nem a REN ANEEL 482/2012 ou a Lei nº 14.300/2022 tratam de incentivos diretos aos sistemas BIPV, apesar destes poderem se beneficiar das regras atualmente estabelecidas.

Na área de regulamentação dos equipamentos, em 2011, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) criou o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) para sistemas fotovoltaicos.

O PBE incentiva a inovação e a evolução tecnológica dos produtos, funcionando como um instrumento para estimular a fabricação de aparelhos e equipamentos mais eficientes, seja em relação ao consumo de energia, de combustível ou de água. Além do desempenho, o PBE também estabelece requisitos de segurança para os produtos, de modo a minimizar a possibilidade de acidentes de consumo, ou outros critérios utilizados para diferenciar os produtos no mercado como, por exemplo, o nível de potência sonora (ruído) de alguns aparelhos (Inmetro, 2020).

Especialmente o PBE Fotovoltaico foi implementado por meio da Portaria Inmetro nº 004/2011, que estabeleceu os requisitos técnicos com foco na segurança e no desempenho (eficiência energética), de cumprimento obrigatório por fabricantes ou importadores de equipamentos para energia fotovoltaica.

A Portaria desde 2011 já considerava dentro do seu escopo os módulos fotovoltaicos integrados às edificações (BIPV) tais como telhas, placas de revestimento, mantas flexíveis, vidros fotovoltaicos etc. No entanto, apenas em 2022, com a nova Portaria Inmetro nº 140/2022 é que de fato são considerados ensaios e requisitos técnicos a serem apresentados pelos fabricantes, distribuidores e importadores dos equipamentos.

“Art. 4º

[...]

§ 1º Aplica-se o presente Regulamento aos seguintes equipamentos de geração, condicionamento e armazenamento de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos:

I - módulos fotovoltaicos com potência nominal igual ou superior a 5 Wp, de células de silício (monocristalino - mono-Si e multicristalino - multi-Si), de camadas semicondutoras de filmes finos (silício amorfo - a-Si, telureto de cádmio - CdTe ou seleneto de cobre, índio e gálio - CIS/CIGS) ou híbridas (tecnologia heterojunção - HJT); de tipos com ou sem moldura; de tipos monofacial ou bifacial; de tipos rígido, flexível ou semiflexível; de tipos independente, aplicado (BAPV) **ou integrado a edificações (BIPV);**” (grifo do autor)

5.2 PROJETOS BIPV NO BRASIL

É importante destacar que a presença das tecnologias BIPV no mercado brasileiro é praticamente inexistente, avalia Bodon et al. (2013). Entretanto, vale destacar que o país desperdiça o grande potencial energético solar disponível em seu território, como também vê passar a oportunidade de competir no mercado internacional de energia solar, hoje dominado pela China. Nota-se ainda que, apesar dos custos ainda elevados, a demanda por sistemas fotovoltaicos BIPV vem crescendo nas economias mais desenvolvidas do mundo (ANEEL, 2008; GTM RESEARCH, 2010; KANN, 2010).

Atualmente, há diversos protótipos de projetos de BIPV, como o apresentado por Kaltmaier; Junior; Fontoura (2020), figura 23 abaixo, e já existe um sistema integrado à fachada no Brasil. O projeto é um *retrofit* da fachada da Fortlev Solar em Vitória (ES), figura 24, com 6 kW_p de potência instalada, o que representa 166 W_p/m² (CANAL SOLAR, 2020).



Figura 23 - Protótipo BIPV em Curitiba.
Fonte: Kaltmaier et al., 2020.



Figura 24 - Fachada de BIPV Fortlev.
Fonte: Canal Solar, 2020.

Além disso, vários estudos têm sido desenvolvidos de forma a avaliar o potencial brasileiro da inclusão de sistemas BIPV em edificações. Didoné et al., em 2014, avaliou estratégias para diminuir o consumo energético de edificações por meio do uso de BIPV em diferentes latitudes e climas. Nesse sentido, o estudo concluiu que em climas mais quentes, ou latitudes próximas ao Equador, é necessária a utilização de mais módulos FV, devido ao maior consumo de energia elétrica, já em latitudes inferiores, mesmo com menores índices de irradiação solar, a quantidade de módulos FV diminui.

Outro estudo interessante de Zomer et al., em 2013, mostra o desempenho de construção integrada e energia FV aplicada à construção em aeroportos brasileiros, os sistemas BIPV e BAPV foram comparados na utilização nos aeroportos Santos Dumont (Rio de Janeiro) e o aeroporto internacional de Florianópolis (Santa Catarina). Em ambos os aeroportos, a utilização de sistemas BIPV apresentou melhores valores de *Peak Power Density* (100% maior) e *Energy Density* (87% maior) do que a solução BAPV.

Já em 2020, Bender et al. estudou o uso de sistemas BIPV e sua paridade econômica e desempenho energético nas fachadas do extremo sul do Brasil. No estudo, verifica-se que a tecnologia FV é viável, em que janelas ou vidros transparentes podem ser substituídas por vidro fotovoltaico, com retorno do investimento entre 5 a 6 anos, por exemplo. Portanto, a utilização de BIPV no sul do país é economicamente viável e ajudam na diminuição do consumo de energia elétrica.

6. MELHORES PRÁTICAS A SEREM REPLICADAS

Após analisar os diferentes países neste estudo apresentado e verificando os incentivos à microgeração e minigeração distribuída no país, podem se observar os seguintes pontos:

Os sistemas BIPV requerem de políticas adaptadas às circunstâncias que cercam a tecnologia, de forma a dar um suporte específico aos BIPV além do amplo suporte aos sistemas de geração distribuída. Analisando as políticas dos outros países, existem três objetivos a serem atingidos desenvolvendo políticas em torno ao BIPV, apoiando na implantação e no avanço da pesquisa e desenvolvimento da tecnologia no país.

Primeiramente, faz-se necessário remover as barreiras não financeiras para a implementação do BIPV, como por exemplo a criação de normas ABNT NBR para estimular a segurança e desenvolvimento dos equipamentos. Além disso, faz-se necessário implementar programas de treinamento e educação para arquitetos e engenheiros. A sinergia entre empresas de BIPV e a indústria de construção também deve ser bastante explorada, por meio de financiamentos de novas parcerias “aplicadas”.

Segundo o governo deve incentivar a implantação de sistemas de BIPV, visando iniciativas políticas diretamente no uso de materiais BIPV para projetos de construção. É importante observar que todo suporte deve incentivar a implantação de BIPV em edifícios projetados com a eficiência energética em mente. Nesse sentido, pode-se aplicar uma tarifa *feed-in* específica para os sistemas BIPV, ou com a própria Lei nº 14.300/2022 propor a alternativa de manter o sistema de compensação de energia elétrica como era previsto na REN ANEEL nº 482/2012 para os sistemas BIPV.

O apoio dessas políticas públicas também deve envolver o estabelecimento de metas de implantação e geração, como foi feito na Itália e Alemanha, podendo ser lançado um programa de 1.000.000 de edifícios sustentáveis até 2025. Essas metas devem ser focadas em novas unidades comerciais e novas residências por simplicidade regulatória e por serem alguns dos segmentos mais promissores para o BIPV. A meta, também pode exigir que os novos edifícios atendam uma certa percentagem de seu consumo anual de eletricidade por meio do BIPV até uma determinada data. Dessa forma, esses esforços promoveriam gradualmente as indústrias de construção a se adaptarem e inovarem em torno do BIPV e da eficiência energética em geral.

Ainda, é importante que os compromissos sejam revisados anualmente e ajustados, se apropriado.

Um ponto crucial para alavancar a utilização de BIPV no Brasil é pensar em subsídios diretos, subvenções ou descontos fiscais para os equipamentos de BIPV. Esses subsídios devem ser estabelecidos para os pioneiros e reduzidos de acordo.

A estrutura de regras para todos os programas de apoio deve favorecer a participação do setor privado, principalmente por meio de inovação financeira, como tem sido o caso dos módulos solares fotovoltaicos. Por exemplo, acordos agregados de compra de energia e programas de locação de telhados provaram ser benéficos para a implantação fotovoltaica – principalmente na Europa e nos Estados Unidos – e esses acordos devem ser explorados e promovidos no setor de BIPV.

Finalmente, é necessário um programa de pesquisa e desenvolvimento (P&D) avançado. O BIPV permanece em um estágio inicial de desenvolvimento e pesquisas adicionais continuarão a desbloquear melhorias de eficiência, aprimoramentos de desempenho e designs inovadores. Uma terceira camada de políticas de apoio deve, portanto, incentivar a pesquisa e o desenvolvimento vinculados tanto ao BIPV quanto à eficiência energética. Em particular, o financiamento deve se concentrar em parcerias de demonstração entre agências governamentais, concessionárias, universidades e empresas de ponta em BIPV.

7. CONCLUSÃO

Os sistemas BIPV, sejam estes em fachadas ou em telhados de edifícios, trouxeram uma nova perspectiva e visão arquitetônica e, também, energética. Internacionalmente, pode-se ver que alguns incentivos foram necessários para alavancar o uso destes sistemas e, portanto, a capacidade instalada, que tem custos elevados se comparados com os sistemas BAPV. Diversos foram os incentivos, principalmente econômicos, como o financiamento do sistema ou o pagamento pela energia elétrica gerada e injetada na rede, tarifas *feed-in*. Atualmente, vê-se a necessidade da incorporação destes sistemas nas edificações, uma vez que a eficiência energética é bastante prezada para poder diminuir as emissões de gases de efeito estufa, para isso, novos incentivos estão sendo elaborados. No Brasil, por outro lado, ainda não existem incentivos diretos para sistemas BIPV e a inserção destes sistemas ainda é um nicho de mercado, com dificuldades técnicas, econômicas e de capacitação. O trabalho aqui presente conseguiu, com os dados levantados, configurar uma boa estratégia a ser levada em consideração para aumentar o uso de BIPV no Brasil. Portanto, nesta pesquisa encontram-se caminhos e possibilidades que podem vir corroborar de forma complementar, às pesquisas futuras que abordem a mesma temática.

8. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações de futuros trabalhos, deve-se continuar a monitorar o desenvolvimento dos sistemas BIPV no exterior e no país de forma a entender melhor quais as melhores praticas a serem utilizadas pelo Brasil. Dessa forma, sugere-se continuar na linha de análise crítica dos incentivos proporcionados por outros países, que venham a beneficiar os BIPV. Além disso, com a elevada preocupação internacional sobre as mudanças climáticas, novos acordos e diretrizes podem alavancar a geração de energia elétrica por meio de sistemas integrados às edificações. Além disso, propõe-se aprofundar nos conceitos econômicos de custos dos sistemas.

9. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADO. **Geração de energia solar distribuída no RJ sobe 14% em maio, aponta estudo.** Correio Braziliense. Disponível em: <<https://www.correiobraziliense.com.br/economia/2021/06/4932957-geracao-de-energia-solar-distribuida-no-rj-sobe-14--em-maio-aponta-estudo.html>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

ALVES, M. **Energia Solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid.** Universidade Federal de Ouro Preto. 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Geração Distribuída**, Brasil. Disponível em: Microsoft Power BI.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** Brasília: Aneel. 2018.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482/2012**, de 17 de abril de 2012. 2012. Disponível em antigo.aneel.gov.br. Acesso em: 15 abr. 2022.

ASTE, N.; DEL PERO, C.; LEONFORTE, F. **The first Italian BIPV project: Case study and long-term performance analysis.** Sol. Energy 2016, 134, 340–352.

BADRA, Mateus. **“BIPV é o mercado que mais cresce no mundo”.** Canal Solar. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/bipv-e-o-mercado-que-mais-cresce-no-mundo-diz-especialista/#:~:text=Mercado%20BIPV%20no%20Brasil&text=H%C3%A1%20tamb%C3%A9m%20a%20Onyx%2C%20que>>.

CANAL JORNAL DA BIOENERGIA. **Geração distribuída solar pode gerar R\$ 173 bilhões em redução de custos aos consumidores até 2050** - Canal Bioenergia. www.canalbioenergia.com.br. Disponível em: <<https://www.canalbioenergia.com.br/geracao-distribuida-solar-pode-gerar-r-173-bilhoes-em-reducao-de-custos-aos-consumidores-ate-2050/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

BCC Research LLC, **Building-Integrated Photovoltaics (BIPV): Technologies and Global Markets.** Maio 2021.

BECQUEREL INSTITUTE. **Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders.** Status Report. University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland. Switzerland. 2020.

BENDER, L.; et al. **Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil.** Ambiente Construído, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 489-508, dez. 2020. FapUNIFESP (SciELO).

BIYIK, E.; et al. **A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems, Engineering Science and Technology**, an International Journal, v. 20, edição 3, p. 833-858, 2017.

BODON, J. H.; PELEGRINI, A. V.; HEEMANN, A. **Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edificações: Tecnologias e Oportunidades com Foco no Mercado Brasileiro**. 8º Congresso Internacional de Bioenergia. São Paulo. 2013.

BOLSONI, D. R.; GHENO, G. K. Z.; ZARDO, I. S.; PACHECO, M. T. G. **Impacto do adensamento e verticalização na geração fotovoltaica de fachada em quadra na área urbana central de Chapecó SC**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 18. 2020. Porto Alegre. 2020.

CANAL JORNAL DA BIOENERGIA. **Geração distribuída solar pode gerar R\$ 173 bilhões em redução de custos aos consumidores até 2050**. www.canalbioenergia.com.br. Disponível em: <<https://www.canalbioenergia.com.br/geracao-distribuida-solar-pode-gerar-r-173-bilhoes-em-reducao-de-custos-aos-consumidores-ate-2050/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

CHIARONI; D. **Global Sustainable Communities Handbook. Renewable Energy Generation: Incentives Matter**, p. 346 a 367. 2014.

CLER. "LOI POPE du 13 juillet 2005". 2006. Disponível em: <http://www.cler.org/info/article.php3?id_article=3631>. Acesso em: 15 abr. 2022.

CLER. "Comité de Liaison des Energies Renouvelables". 2007. Disponível em: <<http://www.cler.org/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

CRASSARD, F.; RODE, J. **The evolution of building integrated photovoltaics (BIPV) in the German and French technological innovation systems for solar cells**. Environmental Systems Analysis (ESA). Sweden. 2007.

DEBOUTTE, GWÉNAËLLE. **France provides incentives to landscape-integrated BIPV**. pv magazine International. Disponível em: <<https://www.pv-magazine.com/2022/03/16/france-provides-incentives-to-landscape-integrated-bipv/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

DECC, 2009. **Consultation on Renewable Electricity Financial Incentives 2009**. Department of Energy and Climate Change (DECC), London

DECC, 2011. **Modifications to the Standard Conditions of Electricity Supply Licences**. Report URN: 11D/798. Department of Energy and Climate Change (DECC), London.

DIDONÉ, E.; et al. **Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV**. Ambiente Construído, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 27-42, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

DIO, V. D.; FAVUZZA, S.; La CASCIA, D.; MASSARO, F.; ZIZZO, G. **Critical assessment of support for the evolution of photovoltaics and feed-in tariff(s) in Italy**. Sustainable Energy Technologies and Assessments 9. Páginas 95 – 104. 2015.

DURAND, Y. **Photovoltaic Power Applications in France**. National Survey Report 2011; French Agency for Environment and Energy Management (ADEME): Paris, France, 2012; p. 25.

EIFFERT, P.; KISS, G. **Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures: A Sourcebook for Architects**, 2020.

EIFFERT, P.; THOMPSON, A. **U.S. Guidelines for the Economic Analysis of Building-Integrated Photovoltaic Power Systems**. NREL. 2000.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Brasília: MME/EPE, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília: MME/EPE, 2021.

EUROPEAN COMMISSION. **European Green Deal: Commission proposes to boost renovation and decarbonisation of buildings**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6683>. Acesso em: 15 abr. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **Nearly zero-energy buildings**. Disponível em: <https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en>. Acesso em: 15 abr. 2022.

FERRARA, C.; WILSON, H. R.; SPRENGER, W. Building-integrated photovoltaics (BIPV). The Performance of Photovoltaic (PV) Systems. 2017. Páginas 235 – 250.

FISCHER, A. **Distributed solar installed in 2021 nearly matches capacity of all new gas plants**. pv magazine USA. Disponível em: <<https://pv-magazine-usa.com/2022/03/28/distributed-solar-installed-in-2021-nearly-matches-capacity-of-all-new-gas-plants/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

GHOLAMI, H.; RØSTVIK, H. N. MÜLLER-EIE, D. **Holistic economic analysis of building integrated photovoltaics (BIPV) system: Case studies evaluation**. Energy & Buildings, 203. 2019.

GHOLAMI, H.; RØSTVIK, H. N. **Economic analysis of BIPV systems as a building envelope material for building skins in Europe**. Energy, 205. 2020.

GHOLAMI, H.; RØSTVIK, H. N. **Levelised Cost of Electricity (LCOE) of Building Integrated Photovoltaics (BIPV) in Europe, Rational Feed-In Tariffs and Subsidies**. Energies. 14. 2021.

GHOLAMI, H.; RØSTVIK, H. N.; STEEMERS, K. **The Contribution of Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) to the Concept of Nearly Zero-Energy Cities in Europe: Potential and Challenges Ahead**. Energies 2021. 14. 2021.

GOVERNMENT OF CANADA. **Building-integrated Photovoltaics**. Disponível em: [Building-integrated Photovoltaics \(nrcan.gc.ca\)](https://nrcan.gc.ca/building-integrated-photovoltaics). Acesso em: 15 abr. 2022.

GRAU, T.; HUO, M.; NEUHOFF, K. **Survey of photovoltaic industry and policy in Germany and China**. Energy Pol. 51:20 – 37. 2012.

HAMMOND, G. P.; HARAJLI, H. A.; JONES, C. I.; WINNETT, A. B. **Whole systems appraisal of a UK Building Integrated Photovoltaic (BIPV) system: Energy, environmental, and economic evaluations.** Energy Policy. Volume 40. 2012. Páginas 2019 – 230. 2012.

HEINSTEIN, P.; BALLIF, C.; PERRET-AEBI, L. **Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potentials, Barriers and Myths.** Green, [S. l.]. Volume 3. Páginas 125-156. 2013.

HERIG Ch., GOUCHOE S., HAYNES R., PEREZ R. and HOFF T. 2002. **Customer-Sited Photovoltaics: State Market Analysis.** SOLAR 2002, Junho 2002, Reno Nevada, USA.

HUO, M-l.; ZHANG, D-W. **Lessons from photovoltaic policies in China for future development.** Energy Pol. 51:38 – 45. 2012.

IEA PVPS. National Survey Report of PV Power Applications in France, 2020. Disponível em: [National Survey Report of PV Power Applications in COUNTRY \(iea-pvps.org\)](#).

IEA PVPS. Building Integrated Photovoltaic Policies in Italy, 2021. Disponível em: [BIPV Policy Report in Italy \(iea-pvps.org\)](#).

IEA PVPS. Trends in Photovoltaic Applications, 2021. Disponível em: [IEA-PVPS-Trends-report-2021-1.pdf](#).

IMPrensa NACIONAL. **PORTARIA nº 140, DE 21 DE MARÇO DE 2022 - DOU - Imprensa Nacional.** In.gov.br. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-140-de-21-de-marco-de-2022-389587680>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

INMETRO. **Orientações Gerais para Fabricantes e Importadores sobre aRegulamentação de Equipamentos para Geração de Energia Fotovoltaica.** 2020.

INTERNAT Energy Solutions. **Renewable Energy Programs in Canada.** 2017. Disponível em: [Renewable-Energy-Programs.pdf \(internatenergy.com\)](#)

JAMES, T.; et al. **Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices,** 2011. Disponível em: [Building Integrated Photovoltaics \(BIPV\) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices \(nrel.gov\)](#).

JUNIOR, Gunther Kaltmaier; DOS SANTOS, Jair Fabrício Fontoura; JUNIOR, Jair Urbanetz. **Construção e ensaios de um protótipo bipv/t na cidade de curitiba.** VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, 2020.

KALTMAIER, G.; JUNIOR, J. U.; DOS SANTOS, F. F. **Construção e Ensaios de um Protótipo BIPV/T na Cidade de Curitiba.** VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza. 2020.

KANN, S. **Global PV Demand Analysis and Forecast 2010: Executive Summary.** GTM RESEARCH. 2010.

KUHN, T. E.; ERBAN, C.; HEINRICH, M.; EISENLOHR, J.; ENSSLEN, F.; NEUHAUS, D. H. **Review of technological design options for building integrated photovoltaics (BIPV).** Energy and Buildings. Volume 231. 2021.

LANGLOIS-BERTRAND, S.; ROSENBLOOM, D.; MEADOWCROFT, J. **Policy Brief. A Strategy for Building-Integrated Photovoltaics in Canada.** NSERC Photovoltaic Innovation Network. 2012.

LIU, Z.; ZHANG, Y.; YUAN, X.; LIU, Y.; XU, J.; ZHANG, S.; HE, B. **A comprehensive study of feasibility and applicability of building integrated photovoltaic (BIPV) systems in regions with high solar irradiance.** Journal of Cleaner Production. 2021.

MATURI, L.; ADAMI, J. **Building Integrated Photovoltaic (BIPV) in Trentino Alto Adige.** 2018.

MOOSAVIAN SM, Rahim NA, Selvaraj J, Solangi KH. 2013. **Energy policy to promote photovoltaic generation.** Renew Sustain Energy. Rev. 25:44 – 58.

NATURAL RESOURCES CANADA. **Factsheet: Building-Integrated Photovoltaics (BIPV).**

NATURAL RESOURCES CANADA. **Building-integrated Photovoltaics.** www.nrcan.gc.ca. Disponível em: <<https://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/data-research-and-insights-energy-efficiency/buildings-innovation/solar-photovoltaic-energy-buildings/building-integrated-photovoltaics/21280>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

NARUTO, D. T. **Vantagens e Desvantagens da Geração Distribuída e Estudo de Caso de um Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017.

OFGEM. **FAQ: FIT scheme closure.** Ofgem. Disponível em: <<https://www.ofgem.gov.uk/publications/faq-fit-scheme-closure>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

OPSI, 2008. **Climate Change Act 2008.** Office of Public Sector Information (OPSI), UK.

OSSEWEIJER, F. J. W.; van den HURK, L. B. P.; TEUNISSEN, E. J. H. M. **A comparative review of building integrated photovoltaics ecosystems in selected European countries.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 90. Páginas 1027-1040. 2018.

PEHARZ, G.; et al. **COLOURED BIPV Market, Research and Development.**

PELLE, M.; LUCCHI, E.; MATURI, L.; ASTIGARRAGA, A.; CAUSONE, F. **Coloured BIPV Technologies: Methodological and Experimental Assessment for Architecturally Sensitive Areas.** Energies. 2020.

PENG, C.; HUANG, Y.; WU, Z. **Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China.** Energy and Buildings, v.43, p. 3592–3598, 2011.

PLOSZAI, S. **Sistemas fotovoltaicos aplicados e integrados às edificações**. 2019. 85 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

PRASAD, D.; SNOW, M. **Designing with Solar Power: A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV)** (1st ed.). Routledge, 2005.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SÁNCHEZ-PANTOJA, N.; VIDAL, R.; PASTOR, M. C. **Aesthetic perception of photovoltaic integration within new proposals for ecological architecture**. Sustainable Cities and Society. Volume 39. Páginas 203 – 214. 2018.

SANTOS, I. P. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica integrada à arquitetura**. 2013. 278f. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SANTOS, I. P. **Minicurso *Building-Integrated Photovoltaics (BIPV)* para Arquitetos e Engenheiros Civis**. 4º InovaFV, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SEIA. **U.S. Solar Market Insight**. Disponível em: <<https://www.seia.org/us-solar-market-insight#:~:text=The%20U.S.%20installed%2023.6%20gigawatts>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SCHUETZE, T. **Integration of Photovoltaics in Buildings—Support Policies Addressing Technical and Formal Aspects**. Energies 2013. Volume 6. Páginas 2982-3001.

SIVANANDIAN, A. **BIPV hotspots in the EU**. Renewable Energy Focus. 2009.

SONG, A.; LU, L.; LIU, Z.; WONG, M. S. **A Study of Incentive Policies for Building-Integrated Photovoltaic Technology in Hong Kong**. Sustainability 2016, 8, 769; doi:10.3390/su8080769.

SSE ENERGY SERVICES. **About Smart Export Guarantee – Help – SSE**. sse.co.uk. Disponível em: <<https://sse.co.uk/help/energy/smart-export-guarantee>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

VERBERNE, G.; et al. **BIPV products for façades and roofs: a market analysis**. Em: 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Holanda, 2014.

VIDAL, A. L. **Energia Solar no Brasil: Geração Distribuída nos Setores Comercial e Industrial**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017.

VINAGRE, M. V. A.; et al. **Bipv e bapv: avaliações a partir de conceitos teóricos, de aspectos positivos e negativos e de estimativas de desempenho energético para regiões de baixa latitude**. Em: V Congresso Brasileiro de Energia Solar: Recife, 2014. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/218404347/BIPV-E-BAPV-AVALIACOES-A-PARTIR-DE-CONCEITOS-TEORICOS-DE-ASPECTOS-POSITIVOS-E-NEGATIVOS-E-DE-ESTIMATIVAS-DE-DESEMPENHO-ENERGETICO-PARA-REGIOES-DE-BAI>>

YANG, J. R.; PATRICK X.W. ZOU W. X. P. Building integrated photovoltaics (BIPV): costs, benefits, risks, barriers and improvement strategy, International Journal of Construction Management, 2016.

ZHANG, Z. 2005. The Chinese Renewable Energy Law and BIPV's Introduction, Application and Development in China. Master of Science in Environmental Management and Policy Lund, Sweden, 2005.

ZOMER, C.; COSTA, M.; NOBRE, A.; RÜTHER, R. Performance compromises of building-integrated and building-applied photovoltaics (BIPV and BAPV) in Brazilian airports, 2013.