

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC TATUAPÉ**

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Ana Heloisa Teixeira Ghirelli
Deivid Luann Penaforte Lucas
Stella Pereira Abreu

**APLICAÇÃO DO VIDRO FOTOVOLTAICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE
DE VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL**

São Paulo
2025

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC TATUAPÉ**

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Ana Heloisa Teixeira Ghirelli
Deivid Luann Penaforte Lucas
Stella Pereira Abreu

**APLICAÇÃO DO VIDRO FOTOVOLTAICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE
DE VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Graduação apresentado por Ana Heloisa Teixeira Ghirelli, Deivid Luann Penaforte Lucas e Stella Pereira Abreu, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios, da Faculdade Tecnologia do Victor Civita - Tatuapé, elaborado sob a orientação do Prof. Haroldo Luiz Nogueira da Silva

São Paulo
2025

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC TATUAPÉ

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Ana Heloisa Teixeira Ghirelli, Deivid Luann Penaforte Lucas, Stella Pereira Abreu

**APLICAÇÃO DO VIDRO FOTOVOLTAICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE
DE VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL**

Aprovado em: ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Nome do professor (com titulação) - instituição

Nome do professor (com titulação) - instituição

Nome do professor orientador (com titulação) – instituição

Sumário

1 Introdução	6
2 Evoluções dos sistemas fotovoltaicos	7
2.1 Tecnologias fotovoltaicas	8
2.1.1 Silício monocristalino (m-Si):	8
2.1.2 Silício policristalino (p-Si):	8
2.1.3 Silício amorfo – <i>Filme Fino</i> :	8
2.1.4 Arseneto de Gálio (GaAs):	8
2.2 Tipos de Sistemas	9
2.2.1 Sistemas isolados	9
2.2.2 Sistemas conectados à rede elétrica	9
2.3 Sistemas integrados à arquitetura	10
3. Vidro Fotovoltaico	10
3.1. Células Fotovoltaicas Orgânicas (OPVs)	11
3.1.1. Funcionamento das células OPV	12
3.1.2 Componente das células OPV	12
3.1.3. Semicondutores	13
3.1.4 Fabricação	13
3.1.5 Propriedades	13
3.1.6 Eficiência	14
3.1.7 Aplicação da película OPV ao vidro	15
3.2 Custos da película OPV	16
3.2.1 Payback	17
4. Conclusão	19
5 Referências	20
6 Anexos	24
6.1 Anexo A	24

Ana Heloisa Teixeira Ghirelli¹, Deivid Luann Penaforte Lucas², Stella Pereira Abreu³;
Haroldo Luiz Nogueira da Silva⁴.

Faculdade de Tecnologia Victor Civita – FATEC Tatuapé

Tecnologia em Construção de edifícios.

Resumo – O avanço tecnológico no setor fotovoltaico tem sido fundamental para alcançar o principal objetivo de aumentar a eficiência na conversão da luz solar em energia elétrica. Inovações em células solares, módulos fotovoltaicos, inversores e demais componentes têm aprimorado o desempenho dos sistemas. Este trabalho examina a evolução dos materiais fotovoltaicos, com ênfase nas películas OPV aplicadas ao vidro convencional, transformando-o em vidro fotovoltaico capaz de gerar energia elétrica. Considerando a crescente necessidade global por soluções ambientalmente responsáveis, o estudo busca analisar alternativas que contribuam para edifícios mais sustentáveis. A metodologia adotada baseou-se em uma análise comparativa entre os custos de implantação do sistema com película OPV e os custos da energia elétrica convencional, de modo a avaliar sua viabilidade econômica. Conclui-se que, embora a película apresente grande potencial como solução sustentável e inovadora, ainda é necessário aperfeiçoamento tecnológico que aumente sua eficiência e reduza seus custos de produção. Ainda assim, a tecnologia mostra-se promissora para o aproveitamento de superfícies já existentes, especialmente em edificações com limitações de área útil para instalação de sistemas convencionais, além de contribuir positivamente para estratégias de sustentabilidade e para o atendimento a requisitos de certificações ambientais, como o LEED.

Palavras Chaves: Vidro Fotovoltaico, Sustentabilidade, Energia, OPV, Viabilidade e Custos.

¹ Ana.ghirelli@fatec.sp.gov.br

² Deivid.lucas @fatec.sp.gov.br

³ Stella.abreu@fatec.sp.gov.br

⁴ Haroldo.silva@fatec.sp.gov.br

1 Introdução

Na 29ª Conferência do Clima da Organização das Nações Unidas (ONU), a COP 29, realizada em novembro de 2024, reafirmou-se a meta global de limitar o aumento da temperatura média do planeta a até 1,5° C, conforme estabelecido no Acordo de Paris. Nesse contexto, o Brasil comprometeu-se a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em até 67% até 2035 (Brasil, 2024).

A Construção Civil, responsável por aproximadamente 37% das emissões globais de CO₂, além da geração significativa de resíduos e elevado consumo de energia elétrica, destaca-se como um setor estratégico para a implementação de soluções sustentáveis (UNEP, 2022). Diante disso, torna-se imprescindível a adoção de alternativas construtivas que promovam a sustentabilidade ambiental.

A energia fotovoltaica, obtida pela conversão da luz solar em eletricidade, é uma fonte renovável que tem ganhado crescente relevância nas últimas décadas. O painel fotovoltaico tradicional é o dispositivo mais conhecido para essa finalidade, porém, uma alternativa inovadora é o vidro fotovoltaico, que integra células solares diretamente ao material do vidro.

O vidro fotovoltaico é composto pelas células solares orgânicas (OPV), que são formadas por camadas de materiais fotoativos entre dois eletrodos. Esses materiais absorvem a luz e promovem o movimento de elétrons e prótons em direções opostas, gerando corrente elétrica (GUIMARÃES, 2021). Produzidas a partir de compostos orgânicos e polímeros, apresentam vantagens como leveza e flexibilidade, uso de materiais abundantes e não tóxicos (GUIMARÃES, 2021). Além disso, seu processo de fabricação é baseado em técnicas de impressão de alta produtividade sobre substratos leves e transparentes (GÓES; TANIMOTO, 2021).

Este artigo tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do vidro fotovoltaico, como uma solução limpa para a geração de energia solar integrada à construção civil. A metodologia inclui a análise das suas vantagens, limitações e viabilidade econômica, incluindo custos e retorno financeiro (*payback*).

É fundamental investigar os desafios e as possibilidades reais da implementação do vidro fotovoltaico nas edificações urbanas brasileiras. A compreensão dessas questões pode abrir caminho para a superação das barreiras atuais, promovendo não apenas a inovação na construção civil, mas também a transição para uma arquitetura mais sustentável, alinhada aos objetivos de redução de emissões e utilização eficiente de recursos energéticos que justificam o tema da pesquisa.

2 Evoluções dos sistemas fotovoltaicos

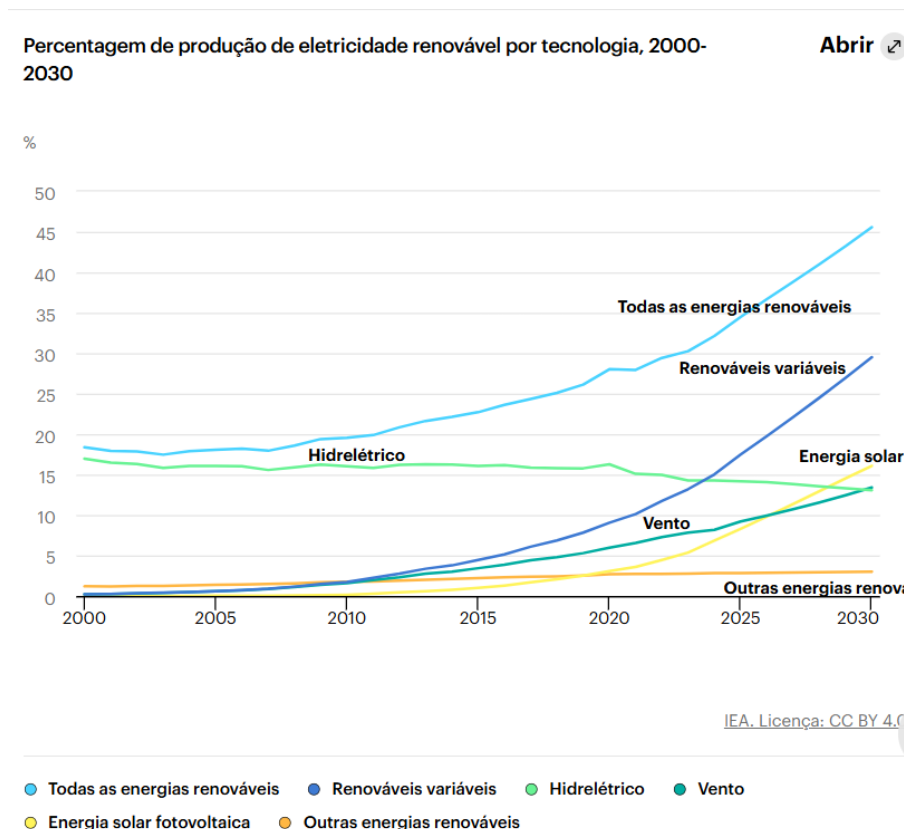
Os sistemas fotovoltaicos têm apresentado um crescimento acelerado nas últimas décadas, tanto em capacidade instalada quanto em eficiência tecnológica. Inicialmente, a energia solar era aplicada em pequenos dispositivos isolados. Com o avanço da tecnologia, os sistemas conectados à rede (on-grid) passaram a dominar o cenário energético, permitindo a injeção de energia excedente na rede elétrica e aumentando sua viabilidade econômica.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA,2025), a geração de energia solar fotovoltaica global atingiu mais de 1.600 TWh em 2023, representando o maior crescimento absoluto entre todas as fontes renováveis.

A evolução também inclui melhorias nos componentes dos sistemas: módulos fotovoltaicos mais eficientes, controladores de carga avançados, inversores mais robustos e integração com armazenamento em baterias e outras fontes renováveis.

O gráfico abaixo mostra a evolução da energia solar comparada as outras fontes de energia, representando uma previsão até o ano de 2030. É possível notar que a energia hidrelétrica e a solar estarão quase nos mesmos níveis de percentual.

Gráfico 1: Evolução Energia Solar



Fonte: International Energy Agency: IEA

2.1 Tecnologias fotovoltaicas

De acordo com (BÜHLER et al, 2018) os componentes das tecnologias fotovoltaicas podem ser divididos em silício monocristalino, policristalino, amorfo e arseneto de gálio. Compostos por duas fases, a primeira é constituída pelo silício monocristalino e policristalino. A segunda fase corresponde aos filmes finos, sendo o amorfo e o arseneto de gálio.

2.1.1 Silício monocristalino (m-Si):

É produzido a partir do crescimento de um único cristal de alta pureza. É o material mais eficiente entre os módulos comerciais de junção simples, com eficiências típicas entre 15% e 18%, podendo chegar até 24,1% em modelos avançados. No entanto, seu processo de fabricação é complexo e caro, elevando o custo final do sistema (Energypedia, 2019).

2.1.2 Silício policristalino (p-Si):

Obtido pela solidificação do silício fundido, forma blocos com múltiplos cristais, resultando em células quadradas sem necessidade de recorte adicional. Por isso, há melhor aproveitamento da área ativa nos módulos. Embora sua eficiência seja inferior ao monocristalino, sua fabricação é mais simples e barata. Eficiências típicas ficam entre 13% e 16%. Apesar da menor eficiência, o custo mais baixo torna a tecnologia com maior participação no mercado mundial (Energypedia, 2019).

2.1.3 Silício amorfo – Filme Fino:

É um tipo de silício não cristalino, usado em módulos de filme fino, com espessuras em torno de 1 μm . Tem alta absorvidade, o que permite boa captação de luz mesmo com pouca espessura. Apresenta boa performance em irradiação difusa e temperaturas elevadas, graças ao efeito de thermal annealing, que pode reverter parcialmente perdas iniciais de eficiência. A eficiência típica varia entre 6% e 8%, com recordes chegando a 10,2% (Green et al., 2017).

2.1.4 Arseneto de Gálio (GaAs):

Material semicondutor composto por gálio (Ga) e arsênio (As), com estrutura cristalina e alta eficiência de conversão (até 29% em células de junção simples). Absorve luz eficientemente com poucos micras de espessura. Por resistir bem ao

calor, é usado em sistemas fotovoltaicos de concentração e aplicações espaciais, como satélites e carros solares. Seu alto custo limita o uso a aplicações especiais (Shumkov, 2018).

2.2 Tipos de Sistemas

Os tipos de sistemas fotovoltaicos consistem nos sistemas isolados e nos sistemas conectados à rede.

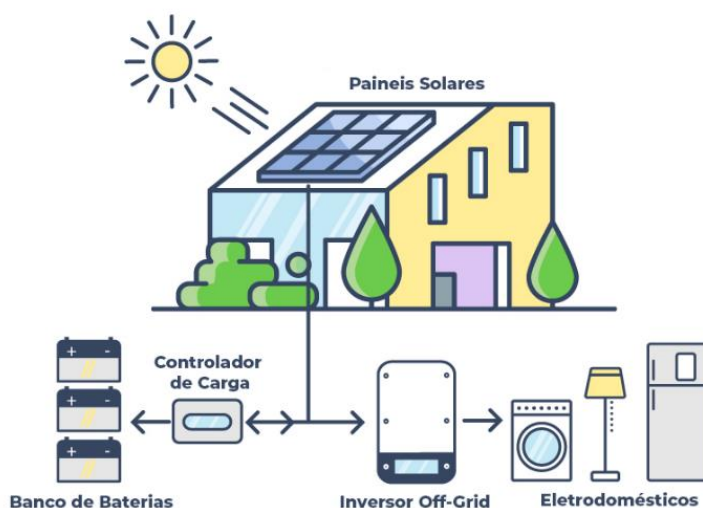
2.2.1 Sistemas isolados

O sistema isolado é aquele em que a geração de energia precisa acompanhar diretamente o consumo, ou então utilizar baterias para armazenar a energia gerada.

Essa configuração é empregada em situações nas quais não é possível se conectar à rede elétrica, quando a conexão não apresenta um custo-benefício adequado ou simplesmente não é desejada. São exemplos de uso desse tipo de sistema os pequenos aparelhos eletrônicos, como relógios, lanternas e calculadoras.

Os principais componentes que o compõem são os módulos fotovoltaicos, o controlador de carga, as baterias, o dispositivo consumidor de energia e, quando necessário, o inversor para corrente alternada.

Figura 1: Sistema Off Grid

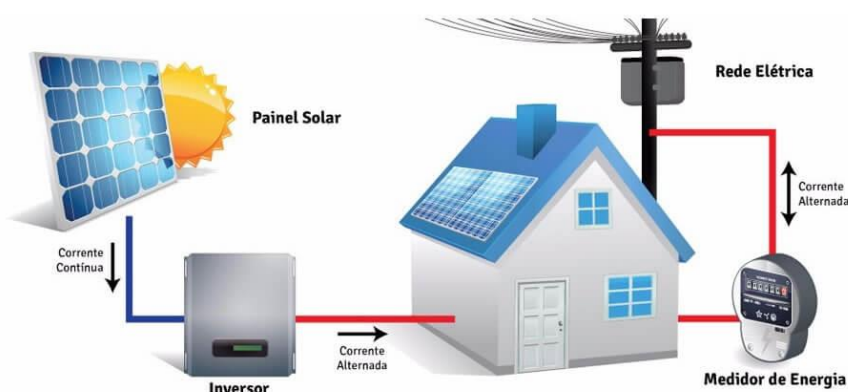


Fonte: Minha casa solar, 2023

2.2.2 Sistemas conectados à rede elétrica

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, conhecidos como On-grid, são compostos essencialmente por painéis solares, responsáveis pela geração de energia elétrica em corrente contínua (CC); um inversor, que converte essa energia em corrente alternada (CA), compatível com a rede elétrica; e um medidor bidirecional, que registra tanto a energia consumida da rede quanto a energia excedente injetada nela, assim quando a produção não supre a demanda, a energia é consumida da rede; por outro lado, quando ocorre excedente, este é injetado nela. A imagem 2, demonstra esse sistema.

Figura 2: Sistema On Grid



Fonte: Credsolaire, 2019

2.3 Sistemas integrados à arquitetura

Os sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura, denominados *Building-Integrated Photovoltaics* (BIPV), consistem na incorporação de células solares diretamente aos elementos construtivos dos edifícios. Essa tecnologia pode ser aplicada em diferentes componentes, como fachadas, janelas e coberturas. No âmbito desta pesquisa, destaca-se o vidro fotovoltaico, cuja análise será aprofundada no item 3.

3. Vidro Fotovoltaico

O vidro fotovoltaico é uma tecnologia que transforma a energia solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, mais comum na terceira geração desta fonte de energia, temos as células orgânicas, também chamadas de OPVs. Essa tecnologia tem se tornado cada vez mais comum em diversas partes do mundo, especialmente através da BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*), que se refere à integração de sistemas fotovoltaicos em edifícios.

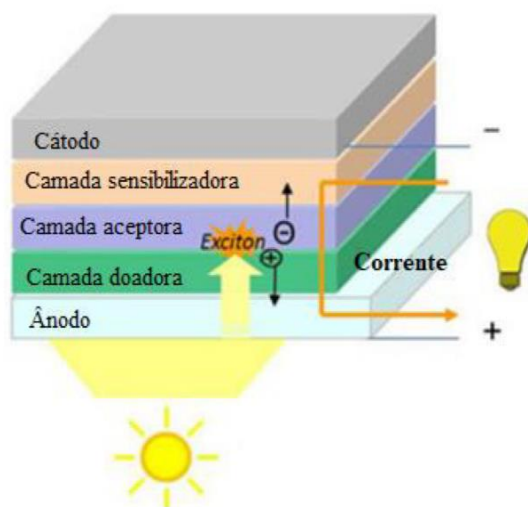
3.1. Células Fotovoltaicas Orgânicas (OPVs)

As células fotovoltaicas orgânicas, conhecidas internacionalmente como *Organic Photovoltaics* (OPVs), representam uma alternativa promissora às tecnologias convencionais baseadas em silício. Diferentemente das células tradicionais, as OPVs utilizam materiais semicondutores à base de carbono, polímeros ou moléculas conjugadas, que possuem a capacidade de absorver luz solar e converter a energia luminosa em energia.

São formadas principalmente por polímeros conjugados ou moléculas conjugadas, que apresentam propriedades elétricas e ópticas semelhantes às dos metais e semicondutores. A estrutura básica inclui um eletrodo transparente, responsável por permitir a entrada da luz; uma camada ativa fotossensível, composta pelo material orgânico semicondutor e um eletrodo metálico.

As camadas externas funcionam como eletrodos condutores, enquanto a camada ativa é a responsável pela absorção de fótons e geração de cargas elétricas. O desempenho do dispositivo depende diretamente da espessura dessas camadas, onde filmes muito finos comprometem a geração de energia e a eficiência de operação.

Figura 3: Camadas para geração de energia



Fonte: Universidade de São Paulo: USP, 2021

Essa característica flexível confere às OPVs versatilidade de aplicação, permitindo sua integração em fachadas de edifícios, vidros, superfícies curvas, veículos automotivos e até em dispositivos portáteis (Revista Pesquisa Fapesp, 2022).

3.1.1. Funcionamento das células OPV

As células fotovoltaicas orgânicas (OPVs) operam a partir da interação de dois materiais distintos: um doador de elétrons (D) e um aceptor de elétrons (A). Quando a radiação solar incide sobre o dispositivo, os fótons interagem com a camada ativa do material orgânico, promovendo a excitação de elétrons do nível de energia mais alto ocupado (HOMO – *Highest Occupied Molecular Orbital*) para o nível de energia desocupado mais baixo (LUMO – *Lowest Unoccupied Molecular Orbital*). Esse processo gera pares elétron-buraco, denominados éxcitons.

Os éxcitons difundem-se até a interface D/A, onde ocorre a dissociação em elétrons e buracos livres. Os elétrons migram em direção ao cátodo (geralmente alumínio), enquanto os buracos são transportados para o ânodo (comumente óxido de índio e estanho – ITO). Dessa forma, estabelece-se um fluxo de cargas que, ao serem coletadas pelos eletrodos, resulta na geração de corrente elétrica.

De forma simplificada, o funcionamento de uma OPV pode ser descrito em três etapas principais:

Absorção da luz – Os fótons solares são absorvidos pelo material orgânico da camada ativa, promovendo a excitação de elétrons do orbital HOMO para o LUMO.

Formação e dissociação dos éxcitons – A excitação gera um buraco no orbital HOMO e um elétron no LUMO. Esses pares difusos atingem a interface D/A, onde são separados em cargas livres.

Transporte e coleta das cargas – Os elétrons são conduzidos ao cátodo e os buracos ao ânodo. Para que essa coleta seja eficiente, é necessário que a diferença entre o potencial de ionização do doador (PI) e a afinidade eletrônica do aceptor (EA) seja superior à diferença entre a energia do orbital HOMO e as funções trabalho dos eletrodos.

3.1.2 Componente das células OPV

Uma célula de filme fotovoltaico orgânico (OPV) típica consiste em várias camadas finas impressas sobre um substrato plástico flexível. Essas camadas geralmente incluem:

- **Substrato plástico:** é a base flexível onde todas as outras camadas são depositadas; costuma ser feito de materiais recicláveis ou de baixa toxicidade.
- **Eletrodo transparente:** fica na face voltada para a luz incidente e permite que os fótons cheguem à camada ativa enquanto coleta cargas elétricas.
- **Camada ativa:** formada por polímeros conjugados ou pequenas moléculas orgânicas que absorvem a luz solar e geram elétrons e “lacunas”.
- **Camadas de transporte de carga:** há, em muitos projetos, camadas específicas para conduzir as cargas positivas (lacunas) em direção a um eletrodo e camadas para as cargas negativas (elétrons) em direção ao outro eletrodo.

- **Eletrodo metálico:** na parte oposta à entrada de luz, esse eletrodo coleta as cargas elétricas e fecha o circuito externo.

3.1.3. Semicondutores

Atuando na doação de elétrons, existem diversos tipos de materiais semicondutores cada um com uma característica que impacta diretamente na performance do OPV.

3.1.4 Fabricação

O processo de fabricação das películas OPV ocorre em sistemas *roll-to-roll*, que podem ser conduzidos de duas maneiras distintas. O processamento discreto é mais utilizado em pesquisas, pois permite que cada camada seja impressa ou revestida separadamente, possibilitando a otimização de parâmetros como método de fabricação, velocidade e tempo de secagem, de acordo com as propriedades de cada material. Já o processamento em linha caracteriza-se pela produção em grande escala, na qual todas as camadas são aplicadas simultaneamente em uma única máquina, com menor necessidade de intervenção. No entanto, esse método apresenta como desvantagem o fato de que qualquer falha pode comprometer toda a sequência de camadas (Araújo, 2022).

No caso específico da tecnologia desenvolvida pela empresa Sunew, a produção das películas OPV é realizada em duas etapas principais por meio de um sistema *roll-to-roll*. A primeira etapa, denominada impressão, consiste no depósito de cinco camadas de materiais orgânicos sobre um substrato plástico, que, em conjunto, apresentam a capacidade de absorver luz e convertê-la em energia. Em seguida, na etapa de laminação, ocorre o encapsulamento do material com dois filmes de barreira, com o objetivo de protegê-lo contra agentes externos responsáveis por sua degradação. Para que esse processo seja viável, o substrato flexível utilizado deve estar disponível em forma de rolo contínuo, adequado ao sistema de manufatura em filmes finos (Sunew).

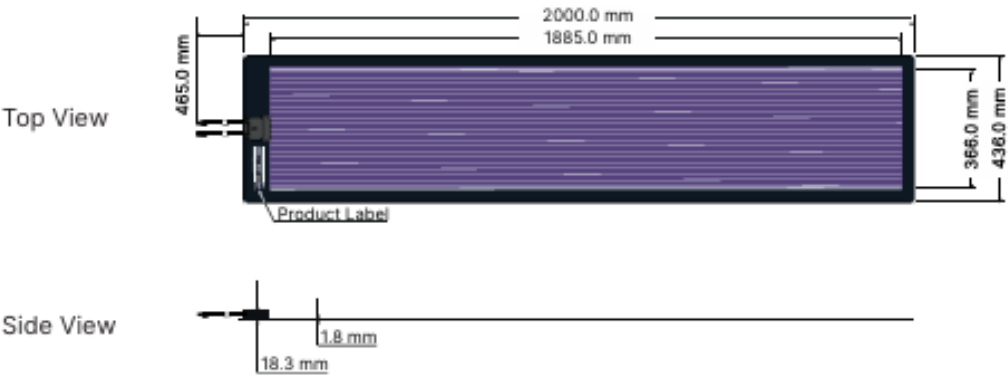
3.1.5 Propriedades

De acordo com a empresa MDV Solar, as propriedades técnicas da película OPV incluem características como espessura ultrafina (< 2 mm), baixa densidade (< 2 kg/m²) e alta flexibilidade. O material não compromete a integridade estrutural do edifício, dispensa sistemas de fixação com furação e apresenta pegada de carbono inferior a 10 g CO₂e/kWh, ou seja, emite menos de 10 gramas de dióxido de carbono equivalente por quilowatt-hora de energia gerada, o que representa um impacto

ambiental significativamente reduzido em comparação com fontes convencionais de energia.

O módulo possui adesivo integrado, compatibilidade com diferentes tipos de substratos e mantém o desempenho estável em temperaturas elevadas (superiores a 65 °C), apresentando coeficientes de temperatura próximos de zero.

Figura 4: Dimensões película solar – Empresa MDV Solar



Fonte: MDV Solar

3.1.6 Eficiência

A potência das células fotovoltaicas é caracterizada pelo Watt-pico (Wp), valor nominal obtido sob Condições Padrão de Teste (Standard Test Conditions – STC). Essas condições correspondem a uma irradiação de 1.000 W/m², incidência perpendicular da luz solar, massa de ar 1,5 e temperatura da célula em 25 °C. A padronização permite a comparação entre diferentes tecnologias fotovoltaicas, como exemplificado nas especificações técnicas disponibilizadas por empresas do setor, a Sunew.

Figura 5: Especificação técnica OPV – Empresa Sunew

			SUNEW FLEX™ 5	SUNEW FLEX™ 10	SUNEW FLEX™ 12	SUNEW FLEX™ 14	SUNEW FLEX™ 20
DIMENSÕES	Comprimento (C)	[m]	0,67	1,30	1,55	1,81	2,57
	Espessura	[mm]			0,63		
	Largura (L)	[m]			0,53		
PROPRIEDADES ELÉTRICA	Potência nominal (Pmax)	[W]	9,00	18,1	21,7	25,3	36,1
	Corrente de máxima potência (Imax)	[A]	564,2	1128,4	1354,1	1579,8	2256,8
	Eficiência	[%]			3,5		
	Tensão de máxima potência (Vmax)	[V]			16		
	Tensão de circuito aberto (Voc)	[V]			24,9		
	Corrente de curto circuito (Icc)	[A]	789,9	1579,8	1895,7	2211,7	3159,5
PROPRIEDADES MECÂNICAS	Peso (sem adesivo)	[kg]	0,3	0,5	0,6	0,7	1,1
	Peso (com adesivo)	[kg]	0,4	0,7	0,9	1,0	1,4
	Célula Solar	Organic Solar Cell (OPV)					
	Transparência	≤ 30					
	Cor	Verde					
	Junction Box	IP67; classe de inflamabilidade 5VA IED 1000V/UL600V; Conector MC4					
	Diodo de by-pass	1 - Instalado no Junction Box					

Fonte: Sunew

Como segundo exemplo, destaca-se a parceria entre a empresa MDV Solar e a Heliatek GmbH, distribuidora alemã responsável pela fabricação de filmes solares orgânicos. A Figura 6 apresenta outro conjunto de dados elétricos relacionados.

Figura 6: Especificação técnica OPV – Empresa MDV Solar

DADOS DE ELÉTRICA NA STC	
	HELIA SOL 55W
Potência Nominal	55 W
Classificação de P_{MPP}	+5/-0 W
Eficiência de Abertura	8.0 %
Voltagem - P_{MPP} (V_{MPP})	44.1 V
Corrente - P_{MPP} (I_{MPP})	1.31 A
Voltagem - Circuito Aberto (V_{OC})	55.7 V
Corrente de Curto Circuito (I_{SC})	1.65 A
Classificação de proteção de sobrecorrente	2.1 A

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS	
Temperatura de Operação	-40 ... +85 °C
Temperatura Coefficient P_{MPP}	+0.00 %/°C, from 25°C up to 65 °C -0.11 %/°C, from 65°C to 85 °C
Temperatura Coefficient I_{SC}	+0.07 %/°C
Temperatura Coefficient V_{OC}	-0.20 %/°C

Fonte: MDV Solar

A tecnologia desenvolvida pela Sunew apresenta potência energética entre 5 e 36 Wp/m², com eficiência aproximada de 3,5%. A película OPV Heliasol possui 55Wp/m² e com eficiência de 8,0%. Se compararmos com os sistemas fotovoltaicos convencionais à base de silício, como por exemplo os painéis fotovoltaicos, podem alcançar até aproximadamente 17,3% de eficiência (Canal Energia, 2017).

Apesar dessa diferença, comparado ao sistema de painéis convencionais, as películas orgânicas fotovoltaicas (OPV) destacam-se por serem leves, flexíveis e semitransparentes, características que permitem maior versatilidade de aplicação. Além disso, podem ser produzidas em larga escala.

3.1.7 Aplicação da película OPV ao vidro

A fixação das películas fotovoltaicas é realizada por meio da fita autoadesiva incorporada à própria película, a qual apresenta elevada aderência ao vidro e a diversos outros tipos de substratos.

A empresa Sunew adota uma configuração semelhante aos sistemas fotovoltaicos convencionais, empregando um inversor central (ou inversor string) associado a uma string box em corrente contínua (CC). Essa caixa de junção é equipada com dispositivos de seccionamento e proteção, como chave seccionadora ou disjuntor CC, dispositivo de proteção contra surtos (DPS) e fusíveis de proteção. Os condutores provenientes das películas fotovoltaicas são conectados à string box,

que realiza a interface com o inversor, responsável pela conversão da energia de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). A partir do inversor, o circuito de saída (alimentador) segue para o quadro de distribuição da edificação. O arranjo elétrico dos módulos pode ser configurado em série ou em paralelo, de acordo com o projeto elétrico e o dimensionamento do sistema, como também determinado na NBR 16690, 2019.

Por sua vez, a empresa MDV Solar emprega sistemas baseados em micro inversores, nos quais cada módulo possui seu próprio dispositivo de conversão. Nessa topologia, a energia elétrica já é convertida em corrente alternada (CA) diretamente no microinversor, resultando em conexões predominantemente em paralelo. Apesar disso, é prevista a instalação de uma caixa de junção em corrente alternada, que integra os circuitos provenientes dos microinversores e contém disjuntores ou chaves seccionadoras CA, dispositivo de proteção contra surtos (DPS) e barramento de aterramento, assegurando a proteção, a segurança operacional e a conformidade com as normas técnicas aplicáveis no caso da NBR 16690, 2019.

Figura 7: Aplicação da película OPV ao vidro



Fonte: Sunew

3.2 Custos da película OPV

Segundo informação obtida por meio de cotação direta com a empresa MDV Solar, o valor da película fotovoltaica orgânica (OPV) é de aproximadamente R\$ 21.000,00 por caixa, contendo 12 módulos. Assim, o custo unitário corresponde a cerca de R\$ 1.750,00 por módulo, aproximadamente R\$ 609,5 reais por m². A empresa também informou que cada pallet é composto por 8 caixas, totalizando 96 módulos. O pallet é uma estrutura utilizada para facilitar o manuseio, armazenamento e transporte das caixas, garantindo maior segurança e organização durante o envio dos módulos.

Para fins de comparação, informações divulgadas pela Sunew, referência em películas OPV, indicam que o custo do produto pode variar conforme o projeto, sendo estimado em cerca de R\$ 1.000,00 a R\$ 1.800,00 por m² instalado, incluindo película e aplicação. Essa variação decorre de fatores como dimensões, complexidade da

instalação e personalização do módulo. Assim, observa-se que os valores podem diferir significativamente entre fornecedores e tipos de projeto, servindo como parâmetro para dimensionamento orçamentário de sistemas fotovoltaicos orgânicos. (Sunew)

3.2.1 Payback

O Payback analisa o tempo que um investimento tende a ser recuperado, “ele é usado para avaliar a viabilidade de um investimento. Um período mais curto indica que o investimento se paga mais rapidamente, tornando-o atraente para investidores em busca de retornos rápidos”. (EXAME,2024)

Nesse contexto, para avaliar a capacidade de retorno financeiro de um Sistema Fotovoltaico é necessário levar em consideração o custo inicial de implantação do projeto, sua manutenção e a capacidade de economia de energia que ele pode gerar.

Para estudo da viabilidade da película OPV aplicada ao vidro foram considerados os valores fornecidos pelo fornecedor MD VIDROS. A Película estudada é a HELIASOL 55W com dimensões de 0,436 x 2m.

Considerando um palete com 96 películas, que somam 83,7m2 de área geradora de energia e um custo de instalação de aproximadamente R\$ 168.000,00, é avaliada sua potência.

$$P = 55W \times 96 = 5.280W \text{ ou } 5,28kw$$

Para entender a real potência do painel é necessário avaliar o HSP (horas de sol pleno) da região que será aplicada, neste estudo, foram usadas as coordenadas geográficas de uma aplicação real do vidro, no prédio da empresa TOTVS localizado no bairro de Santana, em São Paulo. Em virtude da orientação do vidro que será à Norte verdadeiro com ângulo de inclinação de 90°, é feita mais uma correção através do Fator K.

Tabela 1: Irradiação solar diária mensal

Estação: Sao Paulo
Município: Sao Paulo , SP - BRASIL
Latitude: 23,5° S
Longitude: 46,649° O
Distância do ponto de ref. (23,50839° S; 46,65149° O) :1,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	5,22	5,48	4,70	4,14	3,42	3,17	3,24	4,20	4,24	4,76	5,13	5,69	4,45	2,52
✓	Ângulo igual a latitude	24° N	4,72	5,22	4,83	4,70	4,23	4,13	4,12	4,99	4,50	4,64	4,70	5,05	4,65	1,10
✓	Maior média anual	21° N	4,81	5,28	4,85	4,66	4,16	4,04	4,04	4,92	4,50	4,69	4,79	5,16	4,66	1,25
✓	Maior mínimo mensal	34° N	4,37	4,92	4,71	4,75	4,41	4,37	4,33	5,13	4,45	4,43	4,37	4,63	4,57	,80

Fonte: CRESESB

O HSP (Horas de Sol Pleno) é a quantidade de horas por dia em que a radiação solar equivale em determinado local. A Hora de Sol Pleno é calculada a partir da

divisão da irradiação de determinado local (kWh/m²) pelo valor padrão de 1000 W/m² (FATORSOLAR, 2023).

A conversão da irradiação solar em Horas de Sol Pleno (HSP) permite interpretar a energia solar recebida ao longo do dia como um número equivalente de horas de máxima irradiância, possibilitando o correto dimensionamento da disponibilidade energética para um Sistema Fotovoltaico. A partir da latitude e longitude do local de instalação, é possível obter esse dado no site do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito), que disponibiliza medições mensais desse parâmetro. Para fins de projeto, adota-se a maior média anual, garantindo que o sistema opere plenamente mesmo em períodos de menor incidência solar.

Os valores de HSP fornecidos pelo CRESESB são calculados para um plano horizontal. Assim, torna-se necessária a aplicação de um fator de correção angular (K) para adequar o valor à inclinação real da superfície de instalação. No presente caso, as películas OPV serão instaladas na fachada, que apresenta inclinação de 90°, exigindo a correção correspondente.

Como demonstrado na tabela 2 (Anexo A), a primeira coluna da tabela representa a latitude do local e a segunda o ângulo de inclinação. Correlacionando as duas colunas se obtém o valor do fator de correção, apresentado na coluna denominada “Média”. Portanto, com latitude de 23° do estado de São Paulo e inclinação das películas OPV à 90° tem-se o valor de 0,45 para correção do HSP.

$$\text{HSP} = 4,66 \text{ (maior média anual)}$$

$$\text{HSP } 4,66 \times 0,45 = 2,097$$

A partir deste ponto é possível estimar a potência de geração do sistema fotovoltaico.

$$E = 5,28 \times 2,097 = 11,0722 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Mensalmente} = 332 \text{ kWh}$$

Portanto, com um custo inicial de R\$ 168.000,00, é possível a geração de 332kwh/mensais.

Quando comparado ao sistema tradicional de fornecimento de energia elétrica, o custo correspondente à mesma capacidade de geração, tomando como referência as tarifas da concessionária local Enel São Paulo, pode ser estimado em:

Tabela 2: Tarifas grupo B

Tarifas para fornecimento de energia elétrica

Grupo B – Baixa Tensão

Baixa Renda					Residencial B1	Rural B2	Demais Classes B3	Demais Classes B4a	Demais Classes B4b
Até 30 R\$ / MWh	31 a 80 R\$ / MWh	81 a 100 R\$ / MWh	101 a 220 R\$ / MWh	Mais de 221 R\$ / MWh	R\$ 725,18	R\$ 725,18	R\$ 725,18	R\$ 398,85	R\$ 435,11
R\$ 196,84	R\$ 337,43	R\$ 337,43	R\$ 506,15	R\$ 562,39					
Custo de Disponibilidade R\$/MWh		Baixa Renda (*)	B1	B2	B3	B4a	B4b	Demais Classes	
Monofásico	30 KWh	R\$ 5,90	R\$ 21,75	R\$ 21,75	R\$ 21,75	R\$ 11,96	R\$ 13,05		
Bifásico	50 KWh	R\$ 12,64	R\$ 36,25	R\$ 36,25	R\$ 36,25	R\$ 19,94	R\$ 21,75		
Trifásico	100 KWh	R\$ 29,51	R\$ 72,51	R\$ 72,51	R\$ 72,51	R\$ 39,88	R\$ 43,51		
Desconto BT: Água, Esgoto e Saneamento (15% s/ Tarifa do Subgrupo B3) – R\$ / MWh		R\$ 616,40	B2 Coop. Elet. Rural – (R\$ / MWh)						
			B2 Serv.Púb.Irrig. (R\$ / MWh)						
RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 3.477/2025 de 01/07/2025 DA ANEEL VÁLIDAS A PARTIR DE 04/07/2025 até 04/07/2026.									
(*) Valores aplicados à residencial baixa renda e residencial baixa renda BPC									

Atualizado em: 04 de julho de 2025.

Fonte: ENEL BRASIL

O estudo de caso enquadra-se em consumidor B - Baixa Tensão, B3 - DEMAIS CLASSES (ENEL,2025). A tarifa por MWh é estimado em R\$725,18= 0,72518 R\$/kWh (já que 1 MWh = 1.000 kWh). Portanto:

- Custo médio = $332 \times 0,72518 = \text{R\$ } 240,76$
- PIS/COFINS (5,93%) R\$ 14,27
- ICMS (18%) R\$ 43,33
- Custo final de R\$ 298,36/mês

Por fim, é possível analisar o Payback do investimento pela razão:

Payback = investimento inicial / fluxo de caixa mensal

$168.000,00/298,36 = 563,07 \text{ meses} \cong 47 \text{ anos}$

A instalação de um Sistema Fotovoltaico com a película OPV HELIASOL 55w com capacidade de geração de 332kwh/mês demoraria em torno de 47 anos para se auto custear, sendo a partir deste período apresentando lucro de fato.

4. Conclusão

A análise desenvolvida neste estudo evidenciou que o vidro fotovoltaico com película orgânica (OPV) representa um avanço tecnológico significativo na integração entre eficiência energética e arquitetura sustentável. A tecnologia apresenta vantagens como leveza, flexibilidade, transparência e baixo impacto ambiental, características que a tornam promissora para o futuro da construção civil.

Na 2ª edição do *Atlas Brasileiro de Energia Solar* (LABREN, 2017), observa-se que o Brasil possui condições geográficas altamente favoráveis à utilização de tecnologias solares, com elevados índices de radiação nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. Além disso, o país é um dos maiores produtores mundiais de

quartzo, matéria-prima essencial para o silício utilizado na fabricação de células fotovoltaicas (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Esses fatores consolidam um cenário propício para o avanço e expansão da energia solar no território nacional.

Entretanto, apesar do potencial técnico e ambiental, a análise de viabilidade econômica demonstrou que a aplicação do vidro fotovoltaico ainda não é financeiramente viável no contexto atual. O elevado custo de instalação e a baixa eficiência das películas OPV resultam em um tempo de retorno do investimento (payback) estimado em aproximadamente 47 anos, o que ultrapassa a vida útil média dos componentes do sistema.

Dessa forma, conclui-se que, embora o vidro fotovoltaico apresente grande potencial como solução sustentável e inovadora, sua implementação em larga escala na construção civil depende de avanços tecnológicos que aumentem sua eficiência e reduzam seus custos de produção. Somente com essas melhorias e com o fortalecimento de políticas públicas de incentivo à geração distribuída, essa tecnologia poderá se tornar uma alternativa economicamente competitiva e ambientalmente vantajosa no futuro.

No entanto, a análise realizada indica que, nas condições atuais, sua adoção não se justifica economicamente quando comparada a sistemas fotovoltaicos convencionais. Mesmo assim, quando a necessidade ou o objetivo do empreendimento não é exclusivamente financeiro, especialmente quando há um viés ambiental, arquitetônico ou de eficiência energética, o vidro fotovoltaico pode representar uma solução complementar interessante, ampliando as estratégias de sustentabilidade do projeto.

5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto, 2019**. Acesso em 27 de out. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão, 2004**. Acesso em 27 de out. 2025.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO – CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CEPEL/Eletrobras, 2014. Acesso em 27 de out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília, 2012. Acesso em 27 de out. 2025.

AGÊNCIA BRASIL. COP29: **Brasil reafirma compromisso com Acordo de Paris**. Brasília, nov. 2024. <https://agenciabrasil.ebc.com.br> . Acesso em 15 de set. 2025.

BRASIL. Governo federal. **Brasil apresenta novas metas climáticas durante COP29**. Brasília: Secom/MDIC, 2024. <https://gov.br/> . Acesso em 15 de set. 2025.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Relatório de Status Global de 2022 para Edifícios e Construção**.

<https://globalabc.org/resources/publications/2022-global-status-report-buildings-and-construction> Acesso em 15 de set. 2025.

IEA, International Energy Agency. **A energia solar fotovoltaica deve se tornar a maior fonte de energia renovável até 2029**, 2025.

<https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv> Acesso em 15 de set. 2025.

POLITYTO, Nicole. **Estudo de diferentes tecnologias de células fotovoltaicas** Jan, 2022.

https://www.researchgate.net/publication/379849946_Estudo_de_diferentes_tecnologias_de_celulas_fotovoltaicas Acesso em 15 de set. 2025.

ALVES, Arthur; SALAROLI, Fernando; BONO, Giuseppe; ROGGERO, Marcus; BARROS, Pedro; PRADO, Racine. **Sistema de geração de energia integrado à fachada de edifícios por meio de vidros fotovoltaicos** (2013)

<https://bdta.abcd.usp.br/item/002467344> . Acesso em 23 out. 2025

BUHLER, A. J; SANTOS, F.H; GABE, I. J. **Uma revisão sobre as tecnologias fotovoltaicas atuais**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado. 2018.

<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/267/267> . Acesso em 15 de set. 2025.

Green,M.A.,Hishikawa,Y.,Warta,W. **Solar cell efficiency tables** (version50).

<https://doi.org/10.1002/pip.2909> . Acesso em 15 de set. 2025.

ENERGYEDIA. **Células e módulos**. Jan, 2019.

https://energypedia.info/wiki/Solar_Cells_and_Modules . Acesso em 15 de set. 2025.

SHOMKOV, Ivan. Alta devices alcança 29,1% de eficiência para célula solar GaA. <https://renewablesnow.com/news/alta-devices-achieves-29-1-percent-efficiency-for-gaas-solar-cell-633488/> Acesso em 15 de set. 2025.

GÓES, Patrícia Fagundes, TANIMOTO, Armando Hirohumi. 2 **Tecnologias e Parâmetros Ambientais para escolha de uma placa geradora de Energia Solar Fotovoltaica**. Revista Scientia, Salvador, v.6, n.1, p. 34-6. Jan/abril, 2021. Acesso em 15 de set. 2025.

GUIMARÃES, Ana Clara Cruvinel. **Estudo comparativo entre Paineis Solares Orgânicos Fotovoltaicos (OPV) e Paineis Solares de Silício utilizando os Softwares Pvsyst® e Setfos®**. 41p. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal Goiano. Rio Verde – GO. 2021. Acesso em 15 de set. 2025.

SCHMITT, Lucas Higashiyama. **Estudo de Sistemas Multicamadas Semicondutoras para OLED e OPV**. 2021. Trabalho de Formatura (Graduação em Engenharia de Materiais) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Acesso em 22 set. 2025

Revista Pesquisa FAPESP. **Filmes captam a energia do sol**. São Paulo, 2021. <https://revistapesquisa.fapesp.br/filmes-captam-a-energia-do-sol/>. Acesso em 22 set. 2025

MINHA CASA SOLAR. Dimensionador de painel para kit solar off-grid. 2023. https://www.minhacasasolar.com.br/dimensione-seu-sistema-off-grid?srsId=AfmBOogv45leULir-ZC_i3JFB_i4XCZW6sm-wY3yYC-okCT6FvcwS3dH. Acesso em 23 set. 2025

CREDSSOLARIE. **Sistema On Grid**. 2019. <https://credsolaire.com.br/on-grid/>. Acesso em 23 set. 2025

SUNEW FLEX. Especificação técnica. <https://sunew.com.br/wp-content/uploads/documents/spec-sheet-opv-sunew.pdf> . Acesso em 23 set. 2025

CANAL ENERGIA. Universidade brasileira desenvolve célula solar mais eficiente. 2017. <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53023450/universidade-brasileira-desenvolve-celula-solar-mais-eficiente> . Acesso em 24 set. 2025

MDV solar. <https://mdvsolar.com.br> . Acesso em 23 out. 2025

ENEL SÃO PAULO. **Tabela de tarifas para o fornecimento de energia elétrica: Resolução Homologatória nº 3.477/2025 de 01.07.25 — válidas a partir de 04.07.2025.** São Paulo: Enel São Paulo, [s. d.]. Disponível em: [https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Corporativo e Governo/tabela-de-tarifas.html](https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Corporativo_e_Governo/tabela-de-tarifas.html). Acesso em: 02 nov. 2025.

ENEL. **Impostos e outros encargos.** São Paulo: Enel São Paulo, [s.d.]. Disponível em: [https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para Voce/tarifa-taxas-e-impostos.html](https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para_Voce/tarifa-taxas-e-impostos.html). Acesso em: 02 nov. 2025.

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.** Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 11 nov. 2025.

Enel São Paulo. Tabela de tarifas – **Tarifa de energia elétrica: Resolução Homologatória nº 3.477/2025 de 01.07.25 da ANEEL – válidas a partir de 04/07/2025.** Disponível em: [https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Corporativo e Governo/tabela-de-tarifas.html](https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Corporativo_e_Governo/tabela-de-tarifas.html). Acesso em: 11 nov. 2025.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** 1. ed. São Paulo: Érica, 2012. Acesso em: 11 nov. 2025.

LABREN. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2. ed. São Paulo: Laboratório de Referência em Energia Solar, 2017. Disponível em: https://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 11 nov. 2025.

FATORSOLAR. **Você sabe o que é o cálculo HSP?** 2023. Disponível em: <https://fatorsolar.eco.br/voce-sabe-o-que-e-o-calculo-hsp/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

SENAI-SP. **Instalação de Sistema de Microgeração Solar Fotovoltaica.** São Paulo: SENAI-SP Editora, 2016. ISBN 978-8583935865. Acesso em 11 nov. 2025

6 Anexos

6.1 Anexo A

Tabela 3: Fator de correção angular (K)

	INC,	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
23 0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00
23 5	5	1	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,01	1	0,99	1,02
23 10	10	0,99	1,01	1,05	1,08	1,1	1,1	1,09	1,07	1,04	1,01	0,99	0,98	1,04
23 15	15	0,97	1,01	1,06	1,11	1,14	1,14	1,12	1,09	1,05	1	0,97	0,96	1,05
23 20	20	0,95	0,99	1,06	1,13	1,18	1,18	1,15	1,11	1,05	0,99	0,95	0,93	1,06
23 25	25	0,92	0,98	1,06	1,15	1,2	1,2	1,17	1,11	1,05	0,97	0,92	0,9	1,05
23 30	30	0,88	0,95	1,05	1,15	1,22	1,22	1,18	1,12	1,04	0,95	0,88	0,86	1,04
23 35	35	0,84	0,92	1,03	1,15	1,23	1,23	1,18	1,11	1,02	0,92	0,84	0,81	1,02
23 40	40	0,79	0,88	1,01	1,14	1,23	1,24	1,18	1,1	0,99	0,88	0,79	0,76	1,00
23 45	45	0,73	0,83	0,98	1,13	1,23	1,23	1,17	1,08	0,96	0,84	0,74	0,7	0,97
23 50	50	0,68	0,78	0,94	1,1	1,21	1,22	1,16	1,06	0,92	0,79	0,68	0,64	0,93
23 55	55	0,61	0,73	0,89	1,07	1,19	1,2	1,13	1,02	0,88	0,73	0,62	0,57	0,89
23 60	60	0,54	0,67	0,84	1,03	1,16	1,18	1,1	0,99	0,83	0,67	0,55	0,5	0,84
23 65	65	0,47	0,6	0,79	0,99	1,13	1,14	1,06	0,94	0,78	0,61	0,48	0,43	0,79
23 70	70	0,4	0,53	0,73	0,94	1,08	1,1	1,02	0,89	0,72	0,54	0,41	0,35	0,73
23 75	75	0,32	0,46	0,66	0,88	1,03	1,05	0,97	0,84	0,66	0,47	0,33	0,28	0,66
23 80	80	0,24	0,39	0,59	0,81	0,97	1	0,91	0,78	0,59	0,4	0,26	0,2	0,60
23 85	85	0,17	0,31	0,52	0,74	0,91	0,94	0,85	0,71	0,52	0,32	0,18	0,12	0,52
23 90	90	0,08	0,23	0,44	0,67	0,84	0,87	0,79	0,64	0,45	0,25	0,1	0,08	0,45

Fonte: SENAI SP