

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAINÉIS SOLARES ORGÂNICOS FOTOVOLTAICOS (OPV) E PAINÉIS SOLARES DE SILÍCIO UTILIZANDO OS SOFTWARES PVSYST® e SETFOS®.

ANA CLARA CRUVINEL GUIMARÃES

Rio Verde, GO

2021

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAINÉIS SOLARES ORGÂNICOS
FOTOVOLTAICOS (OPV) E PAINÉIS SOLARES DE SILÍCIO
UTILIZANDO OS SOFTWARES PVSYST® e SETFOS®.**

ANA CLARA CRUVINEL GUIMARÃES

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Hiochio Sato

Rio Verde - GO

Abril, 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

G963e Guimarães, Ana Clara Cruvinel
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAINÉIS SOLARES
ORGÂNICOS FOTOVOLTAICOS (OPV) E PAINÉIS SOLARES DE
SILÍCIO UTILIZANDO OS SOFTWARES PVSYS[®] e SETFOS[®]. /
Ana Clara Cruvinel Guimarães; orientador Flávio
Hiochio Sato. -- Rio Verde, 2021.
38 p.

TCC (Graduação em Engenharia Civil) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. OPV. 2. ENERGIA SOLAR. 3. SOFTWARE. 4.
ORGÂNICO. 5. SUSTENTÁVEL. I. Sato, Flávio Hiochio,
orient. II. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 95/2021 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) 07 dia(s) do mês de junho de 2021, às 13 horas e 00 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Flávio Hiochio Sato, Michell Macedo Alves, Marconi Batista Teixeira, para examinar o Trabalho de Curso intitulado “ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAINÉIS SOLARES ORGÂNICOS FOTOVOLTAICOS (OPV) E PAINÉIS SOLARES DE SILÍCIO UTILIZANDO OS SOFTWARES PVSYST® e SETFOS®” do(a) estudante Ana Clara Cruvinel Guimarães, Matrícula nº 2016102200840431 do Curso de Engenharia Civil do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do(a) candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Flávio Hiochio Sato

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Michell Macedo Alves

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Marconi Batista Teixeira

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Michell Macedo Alves**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/06/2021 18:50:27.
- **Marconi Batista Teixeira**, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - UCPG-RV, em 24/06/2021 08:49:22.
- **Flavio Hiochio Sato**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/06/2021 08:28:22.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 24/06/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 283804

Código de Autenticação: 0cce9cba26



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

RESUMO

GUIMARÃES, Ana Clara Cruvinel. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAINÉIS SOLARES ORGÂNICOS FOTOVOLTAICOS (OPV) E PAINÉIS SOLARES DE SILÍCIO UTILIZANDO OS SOFTWARES PVSYST® e SETFOS®.** 2021. 38p. Monografia (Curso Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *campus* Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

A energia solar é uma fonte de energia renovável que vem crescendo cada vez mais, mediante a sua captação por placas fotovoltaicas, sendo a mais utilizada a placa a base silício que é um dos elementos mais abundantes da Terra e tem baixa toxicidade. Novas formas de produção estão sendo exploradas, como o uso de células fotovoltaicas orgânicas ou *organic photovoltaic* (OPV), pertencentes a terceira geração de tecnologia de células solares. O processo produtivo dessas células possui baixa demanda energética, menor emissão de carbono, sua forma é maleável, além de possibilidade de transparência. Propõe-se estudar placas de energia solar à base de células OPV, por levantamento de dados com empresas que já implantem essa tecnologia, e softwares de Energia Solar (PVSYST e SETFOS), e assim, comparar com os resultados das placas de Silício existentes no mercado, utilizando como parâmetros: aplicação, eficiência, sustentabilidade e custo. Por meio do software PVSYST chegou-se ao resultado de que, placas de Silício possuem até 1,5x de eficiência em relação a uma placa de OPV estudada, portanto, 1,5x de área a mais de OPV para chegar ao mesmo resultado, e investimento 20% maior do OPV, nas condições atuais. Por meio do software SETFOS, pode-se estudar mais a fundo o funcionamento da placa OPV, seus layers e seu comportamento, sendo que, para o polímero utilizado (PC71BM), por meio de uma otimização gerada pelo próprio software, uma mudança na espessura do filme, faria com que a eficiência aumentasse em quase 1,5x, chegando as comercializáveis de Silício.

Palavras-chave: Energia Solar, sustentável, tecnologia, OPV.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Aplicações da placa OPV.....	17
Figura 02 - Absorção da luz em diferentes condições de irradiação	19
Figura 03 - Relação Potência x Peso das placas.....	19
Figura 04 - Especificação dos dados iniciais.....	23
Figura 05 - Otimização dos dados..	23
Figura 06 - Pré-dimensionamento de um sistema com placas solares de Silício Poli cristalino.....	24
Figura 07 - Pré-dimensionamento de um sistema com placas solares de película fina.	25
Figura 08 - Comparação de redução da emissão de CO ₂ com as placas de filmes finos.....	26
Figura 09 - Exemplos de camadas de placas solares de diferentes tecnologias.	27
Figura 10 - Exemplo de camada de placa solar OPV.	28
Figura 11 - Inserção das camadas no software e importação de suas características.	29
Figura 12 - Absorção em função do comprimento de onda.	31
Figura 13 - Absorção em função do comprimento de onda otimizada.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Especificações técnicas da placa OPV modelo Sunew Flex.....	21
Tabela 02 – Resultados para a configuração anterior.....	30
Tabela 03 - Resultados da otimização para o polímero PC71BM.....	32

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício Amorfo Hidrogenado
Cd	Cádmio
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Cobre-ndio-Gálio-Selnio
CIS	Cobre-ndio-Selnio
COFINS	Contribuio para o Financiamento da Seguridade Social
CO ₂	Dióxido de Carbono
c-Si	Silício Cristalino
FLD	xido de Estanho dopado com flúor
FTO	Fator de Luz do dia
Ga	Gálio
GWP	Potencial de Aquecimento Global
In	ndio
ITO	xido de ndio dopado com estanho
Kw	Quilowatts
mono-Si	Silício Monocristalino
OPV	<i>Organic Photovoltaic</i>
P3HT	Poli(3-hexiltiofeno)
PASEP	Programa de Formao do Patrimnio do Servidor Público
PC71BM	1-(3-metoxicarbonil)-propil-1-1-fenil (6,6)metanofulereo
PCBM	cido [6,6]-fenilmetilesterbutrico
PEDOT:PSS	Poli(3,4- etilenodioxitiofeno) Poliestireno sulfonado
PIS	Programa de Integrao Social
p-Si	Silício Poli Cristalino
Se	Selnio
Te	Telúrio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Objetivo Geral.....	9
1.2 Objetivo Específico	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
5 CONCLUSÃO	34
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

Em busca de novas fontes de energia, de forma que não esgote os recursos do planeta, o ser humano vem explorando diversas maneiras de geração de energia ao longo dos tempos, por ter se tornado uma preocupação em nossa sociedade. A energia solar é uma alternativa. Seu funcionamento consiste no aquecimento por painéis solares, que ao serem expostos a irradiação, irão converter essa energia luminosa em elétrica. Essa forma de produção de energia é considerada “limpa”, portanto, não gerando poluentes na atmosfera, e renovável, não se esgotando.

Todas as usinas geradoras convencionais têm problemas inerentes, tais como poluição (e.g. usinas termelétricas a óleo ou carvão), dependência de fornecimento de combustível (e.g. óleo, carvão, urânio) ou oposição do público quanto à sua construção e operação (e.g. usinas nucleares, térmicas a carvão e também hidrelétricas). Além disto, usinas geradoras centralizadas deixam um grande número de consumidores vulneráveis a *blackouts* elétricos. A energia solar fotovoltaica distribuída elimina vários destes problemas (RÜTHER, 2004).

Essa alternativa de geração de energia tem se tornado cada vez mais popular, principalmente em residências para finalidades de aquecimento de piscina, geração de energia para alimentação individual, entre outras aplicações. Apesar de constituir de um investimento considerável no início, o retorno se dá em questão de alguns anos para o consumidor, constituindo de um bom custo/benefício.

As placas mais comuns do mercado são feitas à base Silício, podendo ser de silício monocristalino, policristalino, amorfo, além dos feitos de filme fino e os híbridos. O silício é o semicondutor utilizado em placas fotovoltaicas, por ser um dos elementos mais abundantes da terra e ter uma toxicidade muito baixa.

Novas formas de produção estão sendo exploradas, como o uso de células fotovoltaicas orgânicas ou *organic photovoltaic* (OPV). No Brasil algumas empresas de energia solar já estão começando a estudar essa alternativa e seus resultados em relação às placas comuns. É importante além de resultados de eficiência, comparar o custo, viabilidade e impacto ambiental.

O OPV pertence a terceira geração de tecnologia de células solares, à base de células orgânicas, seu processo produtivo possui baixa demanda energética e a menor emissão de carbono em relação as placas tradicionais, por essa produção sustentável, é considerada a alternativa mais verde de geração de energia, além de sua forma maleável permitir a sua integração em projetos inovadores de arquitetura, construção, mobiliário urbano e mobilidade.

De acordo com empresas que já estão comercializando essa tecnologia, além de orgânico, leve, flexível, semitransparente, o OPV traz diversos benefícios como, geração de energia limpa; redução da carga térmica no ambiente; redução da pegada de carbono; customizável em tamanho, forma e cor; transporte fácil e instalação simples; aumento do desempenho com o aumento da temperatura externa; melhor performance em baixa luminosidade; ideal para instalações verticais e/ou curvas e que a cada metro quadrado do OPV evita a emissão de aproximadamente 120 Kg de CO₂ por ano.

Essa proposta de pesquisa abordará uma nova tecnologia de energia solar, a OPV, que além de buscar eficiência energética, também se responsabiliza em produzir energia, de forma considerada limpa. O impacto está atrelado não somente a geração atual, como também as futuras, que poderão desfrutar dos avanços que essa tecnologia poderá trazer.

Por essa nova tecnologia poder ser produzido e adaptada para diferentes tamanhos e formas geométricas, as possibilidades de implantação na construção civil assim como em outras áreas se tornam infinitas. Esse avanço permite aplicação em superfícies que integram ambientes de design, outras formas de aplicação também tem-se como exemplo, superfícies dinâmicas, no ramo automobilístico, lonas tensionadas, superfícies que almejam a passagem de luz como claraboias, domos, áreas de convivência e estufas agrícolas.

1.1 Objetivo Geral

Propõe-se estudar a viabilidade de aplicação de placas de energia solar à base de células orgânicas fotovoltaicas OPV, em comparação a outras tecnologias de mercado. Espera-se com esse estudo contribuir com a conscientização sobre essa nova metodologia de energia renovável, e disseminando informações de cunho inovador.

1.2 Objetivo Específico

Para concretizar o objetivo do estudo, faz-se necessário um levantamento de dados sobre as células orgânicas fotovoltaicas OPV por meio de empresas que já implantem essa tecnologia, e softwares especializados em Energia Solar (PVSYST e SETFOS), e assim, comparar com os resultados das placas de Silício existentes no mercado, e utilizar como parâmetros a aplicação, eficiência, sustentabilidade e custo, além de obter uma otimização em relação a uma placa OPV.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Painéis solares fotovoltaicos são projetados e fabricados para serem utilizados em ambiente externo, sob sol, chuva e outros agentes climáticos, devendo operar satisfatoriamente nestas condições por períodos de 30 anos ou mais (RÜTHER, 2004).

De acordo com Dassi *et al.* (2015), com ascendência da energia solar, há a descentralização da produção de energia no Brasil, fazendo com que o consumidor possa produzir eletricidade em seu próprio domicílio, adquirindo mais independência, isto é, não depende dos custos de distribuição e nem dos altos encargos do governo, o qual passa a entender com mais clareza sua conta de luz e o real valor da energia.

Rüther (2004) ainda aponta que essa tecnologia pode contar com a rede elétrica pública como *back up* quando a demanda excede a geração, não há a necessidade de superdimensionamento do sistema para atendimento da demanda energética sob períodos prolongados de baixa incidência solar, como é o caso em sistemas isolados ou autônomos, que o dimensionamento do sistema deve levar em consideração o pior caso de oferta solar e a sazonalidade que ocorre na maioria das regiões do globo, do que decorre que para alguns períodos do ano o sistema autônomo frequentemente estará superdimensionado, o que eleva os custos da instalação.

Segundo Rüther (2004), o potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil é muitas vezes superior ao consumo total de energia elétrica do país. Ele cita como exemplo a comparação com a usina hidrelétrica de Itaipu, que contribui com aproximadamente 25% da energia elétrica consumida no país, caso cobrisse o lago de Itaipu com módulos solares fotovoltaicos de filmes finos comercialmente disponíveis, seria possível gerar o dobro da energia gerada por Itaipu, ou o equivalente a 50% da eletricidade consumida no Brasil.

A Lei Brasileira nº 13.169/2015, reduziu a zero a contribuição de PIS/Pasep e COFINS incidentes sobre a energia gerada injetada na rede para micro e mini geração para consumidores residenciais, comerciais e industriais que produzam sua própria energia e nos termos das Resoluções ANEEL 482/2012 e 687/2015.

A Resolução Normativa da ANEEL nº 687/2015, veio para atualizar a Resolução nº 482/2012, sobre as leis sobre energia solar. Seu maior impacto foi sobre o mercado, que passou a contar com mais possibilidades de utilização para a energia gerada (modalidades de cooperativa de geração, micro geração para condomínios, consumo remoto, entre outros). Outra mudança importante foi a ampliação do prazo para a utilização da energia gerada e injetada na

rede pública passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses.

Dentre os painéis fotovoltaicos comercialmente disponíveis no mercado atualmente, existe uma grande variedade que atende a todos estes requisitos. [...] Em termos de aplicações terrestres, dentre os diversos semicondutores utilizados para a produção de células solares fotovoltaicas, destacam-se por ordem decrescente de maturidade e utilização o silício cristalino (c-Si); o silício amorfo hidrogenado (a-Si); o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInSe₂ ou CIS e Cu(InGa)Se₂ ou CIGS). Neste último grupo aparecem elementos que são ou altamente tóxicos (Cd, Se, Te), ou muito raros (Te, Se, Ga, In, Cd), ou ambos, o que inicialmente se mostrou um obstáculo considerável ao uso mais intensivo destas tecnologias. (RÜTHER, 2004).

Quando os fótons contidos na energia do sol incidem sobre um material semicondutor (e.g. silício) com determinadas características elétricas (junção elétrica p-n ou p-i-n), a energia de uma fração destes fótons pode excitar elétrons no semicondutor, que por sua vez poderão dar origem a uma corrente elétrica. (RÜTHER, 2004).

O c-Si é a tecnologia fotovoltaica mais tradicional, Rütther (2004) explica que é a única dentre as mencionadas pelo mesmo, que faz uso de lâminas cristalinas (diâmetro ~10cm tipicamente) relativamente espessas (espessura 300- 400µm), o que representa uma maior limitação em termos de redução de custos de produção. Ele ainda cita que as outras tecnologias estão baseadas em películas delgadas (filmes finos, com espessura da ordem de 1µm) de material ativo semicondutor e é neste aspecto que reside o grande potencial de redução de custos que estas tecnologias detêm, que é interessante analisar.

Os módulos de silício cristalino (c-Si) são compostos por células fotovoltaicas de primeira geração e corresponderam a 86% produção em 2010, já as células p-Si são chamadas de segunda geração, que compreendem as células de filmes finos e as células de junções múltiplas. (MACHADO, 2015).

Segundo Rütther (2004), há vários parâmetros que podem afetar o rendimento do conjunto de módulos solares fotovoltaicos, o principal deles é o parâmetro radiação solar, que depende fundamentalmente da localização geográfica da instalação, bem como de sua inclinação e orientação. O mesmo ainda cita que, a temperatura dos painéis, o sombreamento parcial, o descasamento entre painéis de um mesmo *string*, as resistências dos condutores e o estado de limpeza dos painéis também influenciam a desempenho do sistema gerador fotovoltaico.

Conforme Coutinho (2011), há um grande progresso no desenvolvimento de novos dispositivos fotovoltaicos, principalmente no uso de novos materiais, em propósito de aumento de eficiência e redução no custo de produção. O mesmo ainda cita o OPV entre os dispositivos mais promissores para o futuro, citando como vantagens em relação aos tradicionais (de silício), a fácil fabricação; flexibilidade; possibilidade de fabricação de filmes finos (custo reduzido). Ainda ressalta porém, que há a desvantagem de baixa eficiência, a qual ainda é um ponto a ser aperfeiçoado, e que vem aumentando, gradativamente.

Para Freitas *et al.* (2015), na última década, a motivação por novas tecnologias (OPV) estimulou os esforços de pesquisa em materiais semicondutores e a eficiência de conversão de energia melhorou de 2,5% em 2001 para mais de 9% em 2012, provando que a tecnologia dos filmes flexíveis de OPV está quebrando barreiras e, possivelmente, em alguns anos pode ser diretamente comparada às tecnologias tradicionais disponíveis no mercado hoje, com aumento considerável de sua eficiência, agora em torno de 10%.

Coutinho (2011) ainda ressalta que os materiais orgânicos possuem algumas vantagens peculiares que o tornam atualmente atrativos para a aplicação industrial e tecnológica, por serem processados facilmente, depositados de diferentes modos (*spin coating*, *doctor blading*, *casting*, evaporação térmica, entre outros), além de propriedades elétricas, ópticas, solubilidade e propriedades estruturais otimizadas de acordo com o necessário.

Para Rütther (2004), o material de revestimento deve cumprir exigências físicas e estruturais definidas na engenharia; apresentar versatilidade em termos de tamanhos, formas e construção/montagem e, além disso, deve ter uma boa aparência estética aliada a um alto padrão de qualidade e durabilidade.

Freitas *et al.* (2015) explana que é possível reduzir o custo e peso do produto que o mesmo deseja realizar, em relação aos produtos com semicondutores inorgânicos (painéis solares de silício), com a utilização de materiais orgânicos, tais como polímeros e moléculas pequenas, gerando muitas vantagens, pois os coeficientes de absorção são muito elevados, em média de aproximadamente 1000 vezes maior do que para o silício policristalino, o que torna possível a utilização de películas muito finas de material ativo (entre 50 e 200 nm) e ainda absorver eficientemente os fótons.

Uma típica célula OPV é formada de várias camadas de materiais fotoativos colocadas entre dois eletrodos. O material fotoativo de uma extremidade absorve fótons e ocorrerá o deslocamento dos elétrons devido ao excesso de energia da camada doadora para a aceitadora

de elétrons. Dessa forma os elétrons serão direcionados para um eletrodo, enquanto os prótons se moverão no sentido contrário para o outro eletrodo. (KAUR *et. al.* , 2014).

Ainda Segundo Kaur et al. (2014), embora a eficiência do OPV ainda não sejam competitivas com as tecnologias mais tradicionais, uma melhoria muito rápida foi observada em anos passados e as células certificadas em laboratório agora alcançam 12%.

Cabral (2016) cita como exemplos principais de aplicações do OPV, imóveis (janelas, paredes, telhas fotovoltaicas); eletrônicos (carregador portátil de baterias de celular); mobiliário urbano (pontos de ônibus, estacionamentos); automóveis (teto de carros com filmes OPV); estufa agrícola (com cobertura de plástico com OPV). A mesma realizou experimentos com a tecnologia, obtendo notáveis diferenças nos valores das correntes de curto circuito quando aplicadas diferentes cores de fundo, concluindo que as células orgânicas respondem à radiação recebida por ambos os lados, como esperado quando se optou pela troca das cores de fundo do suporte. A mesma ressaltou ainda que o fundo metálico (mais refletivo) apresenta uma corrente de curto circuito superior à do fundo branco (intermediário) para as inclinações de 30° e 45° mesmo com uma irradiação incidente até 4,55% menor, sendo as maiores correntes de curto circuito foram obtidas com a inclinação de 30° para todas as cores de fundo, devido à maior irradiância incidente no módulo em razão da menor inclinação.

Galdino et al. (2018), apresentou resultados experimentais realizados com 4 tipos de módulos OPV de diferentes tecnologias (P3HT:PCBM e molécula azul) e tamanhos para ensaios *indoor* e *outdoor*. Seus resultados mostram a molécula azul apresentou eficiências mais altas com os valores em torno de 4% para o módulo de menor tamanho (21,6 cm²), já o módulo com o pior desempenho foi o do Tipo 2 (P3HT:PCBM), com eficiências próximas de 1,7%. Comparando os tamanhos dos módulos, notou-se que, para o mesmo material da camada ativa, o aumento da área ativa provoca uma diminuição na eficiência e fator de forma devido a erros de não uniformidade de impressão na fabricação pelo método *roll-to-roll*.

O método de impressão *roll-to-roll*, empregado na fabricação de células OPV, permite produzir módulos em grande escala e em diferentes tamanhos sem a necessidade de condições muito restritivas (altas temperaturas e ambiente extremamente limpo), como as utilizadas em tecnologias fotovoltaicas convencionais. (Brian e Mark, 2003 apud Galdino, 2018).

Valadares (2019) cita a empresa brasileira Sunew, que trabalha com o filme fotovoltaico orgânico de terceira geração (OPV), o filme é feito de eletrodos impressos em um polímero e pode ser aderido a vários tipos de materiais, criando superfícies inteligentes geradoras de energia, e como o processo de fabricação do adesivo ocorre a baixa temperatura (variando entre

80°C e 150°C), o gasto energético é bem inferior ao necessário para fabricação das placas fotovoltaicas, em torno de 20 vezes menor; além disso, é possível compensar a emissão dos poluentes liberados na fabricação do material em dois meses, enquanto para os painéis são necessários 12 anos.

Do ponto de vista de instalações elétricas e da construção civil, as tecnologias necessárias à incorporação de painéis solares fotovoltaicos a projetos de construção convencional já são bem estabelecidas (a utilização de painéis de vidro em fachadas e coberturas é uma prática comum no setor da construção). A conexão elétrica dos painéis à rede e os dispositivos periféricos necessários à interconexão são comercialmente disponíveis no mercado, que oferece todos estes periféricos para qualquer tipo de configuração ou porte de instalação. (RÜTHER, 2004).

Quando o material OPV substitui um sistema convencional de janela, pode potencialmente atuar como uma camada de proteção UV (radiação ultravioleta) e NIR (radiação próxima à infravermelha) e, conseqüentemente, reduzir a carga de resfriamento do ar-condicionado do edifício. Portanto, além da economia de energia, a janela fotovoltaica poderia converter a radiação indesejável em eletricidade valiosa. (YAN et al., 2013; SKANDALOS; KARAMANIS, 2015).

Seguindo esse pensamento, um Centro de Pesquisa de Goiás, em parceria com a SUNEW, implantou em toda a fachada do edifício, filmes solares orgânicos, compondo a maior fachada utilizando essa ciência, do mundo. Estudantes da Unicamp realizaram uma pesquisa, afim de investigar a tecnologia fotovoltaica, o OPV, para aplicação em janela lateral em edifício de escritório de múltiplos pavimentos com planta profunda.

Comparou-se o OPV com dois tipos de materiais para janela: vidro comum e vidro comum com aplicação de película solar. O objetivo restringiu-se a avaliar o OPV em termos de iluminância, não incluindo ganhos térmicos e quantidade de energia produzida pela janela fotovoltaica. O experimento com o modelo em escala reduzida de uma sala genérica de escritório com planta profunda possibilitou obter dados de distribuição de iluminância no eixo central da sala (norte-sul) e, a partir disso, calculou-se o Fator de Luz do Dia (FLD), que relaciona a quantidade de luz natural no exterior com a quantidade de luz que incide sobre determinado ponto no interior da sala. (UEHARA, Leticia K. S. et al., 2018).

Os resultados alcançados por eles, mostraram que os cenários com vidro comum apresentam valores de FLD sempre elevados, os demais cenários com OPV e com película solar apresentam valores de FLD muito aproximados, portanto, esses materiais comportam-se de

maneira similar em relação à quantidade de luz natural que penetra no ambiente interno, com uma pequena vantagem para o OPV, que possibilita um nível de iluminância um pouco maior em pontos mais distantes de janela e reduz o ofuscamento de maneira similar à película nas áreas próximas à janela.

Em outra pesquisa, realizada pela empresa japonesa Toyobo, junto à CEA, conseguiram atingir o objetivo, de produzir pequenas células OPV, num substrato de vidro, com a maior eficiência já conseguida, de conversão de cerca de 25%, cerca de 60% mais elevada que as células solares de silício amorfo, sendo o teste feito com luz néon 220lux, o equivalente à luminosidade de uma sala com pouca luz ambiente. Isso através da otimização de todos os solventes e da técnica de revestimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de entender melhor o funcionamento dessa nova tecnologia e sua implantação, fez-se necessário entrar em contato com uma empresa que já trabalha com a 3ª geração de energia solar, para levantamento de informações sobre essa ciência.

A comunicação com a empresa foi feita de forma remota, considerando a distância e cenário atual de pandemia. Por meio da reunião realizada, foi possível o levantamento de dados como matéria-prima, processo executivo, dados alcançados por eles de eficiência, permitindo levantar as vantagens e desvantagens da mesma.

Buscando um maior aprofundamento no tema, foi feito o estudo comparativo com auxílio de softwares. Os softwares utilizados nesse trabalho foram: PVSYST, especializado em dimensionamento de sistemas de energia solar, e o software SETFOS, que é especializado em OPV (disponível somente em Inglês), para chegar a resultados acerca da eficiência da placa, comparação entre as mesmas, e até otimização de uma placa OPV.

O software PVSYST é adquirido por meio do site do mesmo, o qual permite a aquisição de uma licença estudantil de forma gratuita, por um tempo limitado. Já o SETFOS é adquirido por meio do site da Fluxim, empresa desenvolvedora do mesmo, que além deste, possui outro software de pesquisa e alguns aparelhos de desenvolvimento de testes laboratoriais, nessa linha. O SETFOS também foi conseguido por meio de uma licença estudantil, porém nesse caso foi necessário enviar um e-mail aos desenvolvedores e explicar os motivos para aquisição, também sendo uma licença limitada.

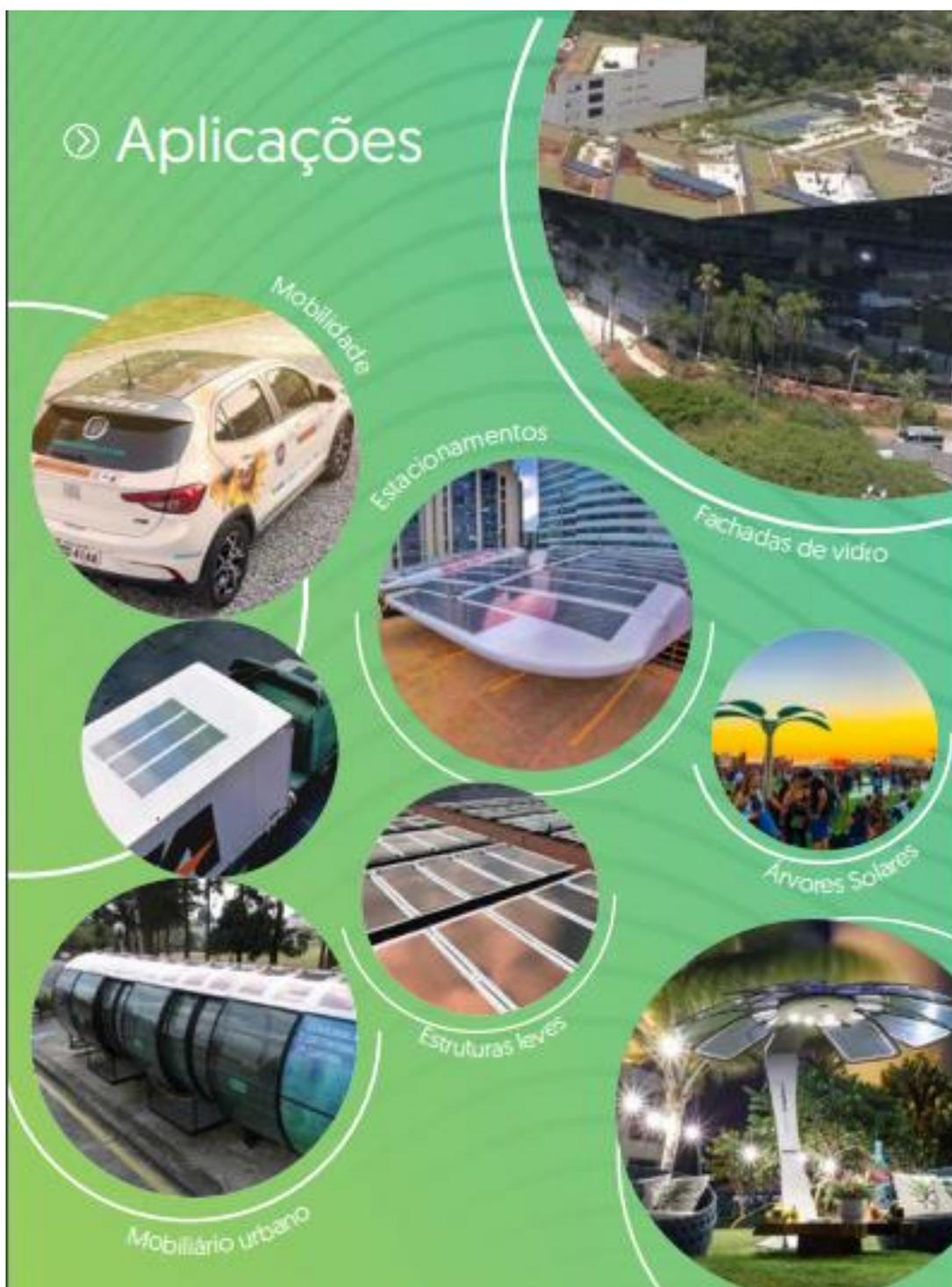
A comparação entre as placas foi feita de forma a analisar as variáveis: aplicação, eficiência, sustentabilidade e custo. Além dessas variáveis fez-se necessário também o estudo da fabricação das mesmas, que influi diretamente na parte ecológica, conhecer seus processos, assim como detritos e emissões resultantes. Assim o estudo de caso fez uma análise mais completa acerca da entrada da nova tecnologia no mercado e sua aceitação de mercado.

Dentre os parâmetros de comparação, foi realizado o estudo dos materiais utilizados na fabricação, e seus processos, bem como detritos e emissões que podem resultar dos mesmos. Esse ponto é relevante para a comparação do impacto ambiental, por ser um meio de produção de energia que vem aumentando a demanda, sendo necessária então sua produção também ser a mais “limpa” possível.

Partindo então, para uma pesquisa de aceitação de mercado, de forma a analisar a comercialização das placas, além da análise do seu preço de negócio, para criar um paralelo

com as existentes mais populares, de forma a ser o primeiro passo para definir o custo benefício da mesma. Além do seu custo benefício, analisou-se referente as novas aplicabilidades, possibilitadas por essa tecnologia, como demonstrada na Figura 01:

Figura 01 – Aplicações da placa OPV.



Fonte: Sunew.

Outro ponto necessário para a definição do custo benefício é a eficiência das placas, que pode ser medida por meio de softwares citados, coletando dados juntamente á empresas, e outras pesquisas experimentais relacionadas ao tema para fins de comparação. Lembrando que o custo benefício não é medido somente em parâmetro quantitativo, mas também qualitativo.

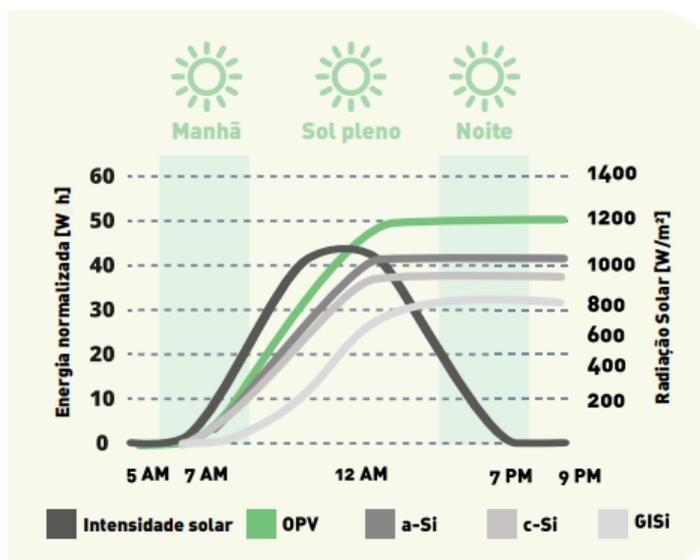
A eficiência das placas é medida por meio da energia solar que as mesmas geram por metro quadrado (Wh/m²). Primeiramente calcula-se a área do painel solar disponível, depois se divide a potência do painel por sua área (W/m²), dividindo novamente esse resultado por 10 (horas produtivas do sol) para chegar na eficiência em porcentagem. Fazendo se possível a conferência dessa eficiência e atestando seu funcionamento.

Coletada todas as informações, é apresentado a análise referente aos resultados encontrados no estudo de caso, de forma que seja possível obter uma visão clara da nova tecnologia em relação ao mercado existente, além de melhor entendimento dessa forma de produção de energia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tecnologia OPV vem crescendo, e tem como objetivo, se tornar competitiva no mercado, para que ela se sobressaia como uma nova opção, por ter a vantagem de ser orgânica, além de suas vantagens de performance em relação às adversidades, como demonstrado na Figura 02:

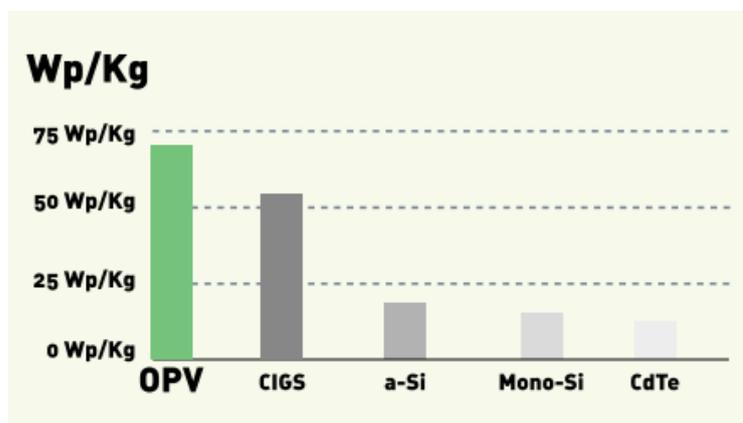
Figura 02 - Absorção da luz em diferentes condições de irradiação.



Fonte: Sunew.

Ainda em suas vantagens, tem-se a comparação de potência por peso da placa (Wp/kg), como demonstrado na Figura 03:

Figura 03 - Relação Potência x Peso das placas.



Fonte: Sunew.

A comparação acima nos demonstra a leveza da placa OPV, com uma potência maior por seu peso, em comparação com as outras tecnologias comercializadas (Cobre-Índio-Gálio-Selênio, Silício Amorfo Hidrogenado, Silício Monocristalino e Telureto de Cádmio, respectivamente).

A fabricação de uma placa de Silício, produz um Potencial de Aquecimento Global (GWP) em torno de 40 kg CO₂ Equiv./módulo. De modo que, se fosse implantado energia solar em todas as casas do Brasil, seria uma emissão enorme, em toneladas de CO₂, o que tornaria essa energia renovável não tão “limpa” assim, enquanto a produção por meio de filmes OPV solucionaria esse problema.

Esse estudo teve intuito de contribuir com a conscientização sobre as novas tecnologias aplicadas na energia fotovoltaica, e disseminando informações de cunho inovador, sobre a área de energias renováveis que vem crescendo e se modificando para atender as novas demandas do mundo, assim como as diferentes variações dessa tecnologia, como demonstrado na Tabela 01:

Tabela 01 – Especificações técnicas da placa OPV modelo Sunew Flex.

		SUNEW FLEX™					
		SUNEW FLEX™ 4	SUNEW FLEX™ 10	SUNEW FLEX™ 12	SUNEW FLEX™ 14	SUNEW FLEX™ 20	
Dimensões	Comprimento (C)	[m]	0,54	1,30	1,55	1,81	2,57
	Espessura	[mm]	0,4				
	Largura (L)	[m]	0,53				
Propriedades Elétricas	Potência nominal (Pmax)	[W]	7,4	18,5	22,2	25,9	37
	Corrente de máxima potência (Imax)	[mA]	442,2	1105,6	1326,7	1547,8	2211,2
	Eficiência	[%]	3,5				
	Tensão de máxima potência (Vmax)	[V]	16,7				
	Tensão de circuito aberto (Voc)	[V]	24,9				
	Corrente de curto circuito (Icc)	[mA]	624,2	1560,5	1872,6	2184,7	3121
Propriedades Mecânicas	Peso (sem adesivo)	[kg]	0,115	0,225	0,330	0,385	0,550
	Peso (com adesivo)	[kg]	0,200	0,390	0,580	0,670	0,950
	Energia da superfície		45-48 dinas				
	Célula Solar		Organic Solar Cell (OPV)				
	Adesivo		14,8 N/cm (Adhesion 72 hr dwell @ RT Modified ASTM D-3330 180°C peel 2 mil)				
	Proteção a hot spot		Cada painel possui um diodo de bypass embutido no junction box.				
	Junction Box - Instalado na parte superior		Índice de proteção IP67; classe de inflamabilidade 5VA IED1000V/UL600V; conector MC4.				
	Transparência	[%]	≤ 30				
	Cor		Verde				
	Condições de Trabalho	Temperatura de operação	[°C]	-40 até +85			
Tensão máxima do sistema			600VDC IEC, 600VDC UL				
Raio mínimo de curvatura		[mm]	120				
Resistência à bobinagem (no diâmetro mínimo)		[ciclos]	40.000				
Temperatura de armazenamento		[°C]	-10 até +40				
Coefficiente de temperatura		[%/°C]	0.35				
Umidade ambiente para armazenagem		[%]	50 ± 5				
Vida Útil (LT80)		[anos]	15				

Fonte: Sunew.

Com o intuito de levantar dados sobre essa nova tecnologia OPV, foi realizado uma reunião de forma online com uma empresa que aplica essa tecnologia já no Brasil.

A reunião se deu com o Gerente de Produção da empresa SUNEW, por ser a pessoa mais habilitada e de maior conhecimento referente a parte técnica dessa nova tecnologia. Nessa reunião pôde ser discutido a produção dos filmes finos de OPV, que são produzidos na sede deles em Belo Horizonte, por meio de “impressão”, no processo *roll-to-roll*, que se assemelha a produção em massa de jornais. Alcançando com isso um volume grande de produção em uma velocidade maior.

Essa “impressão” funciona com divisão de camadas de material base, sendo a camada final o “rolo” de OPV. Um diferencial da produção em questão é que junto à impressão é

adicionado polímeros, diluídos em um solvente simples (que não causa danos ao ambiente), e posteriormente é realizado a secagem do mesmo, por meio de um forno entre 80°C a 150°, sendo uma produção de CO₂ muito menor no processo do que por exemplo o Silício, que precisaria alcançar 1200°C, consumindo mais energia, e, portanto, produzindo mais CO₂.

O peso das placas demonstrado anteriormente na Figura 03, se deve porque possui camadas de filmes orgânicos finos (na casa de nanômetros). A matéria-prima dos filmes orgânicos é constituído de polímeros, ou pequenas moléculas que são sintetizadas na base de carbono e hidrogênio, tendo efeito semicondutor.

A discussão sobre a tecnologia finalizou apontando que, apesar de ter avançado muito nos últimos anos, e já estar sendo comercializada, inclusive no Brasil, ainda não tem uma eficiência de conversão de energia compatível com as outras formas de energia solar populares.

Partiu-se então para a segunda etapa do trabalho, com o intuito de comparação das placas solares, por meio do software de Energia Solar PVSYST, para obter uma simulação entre as duas placas. Primeiramente foi feito o dimensionamento da placa mais comum vendida em mercado, o Silício poli cristalino, e posteriormente, feita a simulação de filmes finos OPV. Para utilização do software, são necessários parâmetros, definidos de acordo com o local de estudo. Para essa simulação, utilizou-se da cidade de Rio Verde, obtendo os dados do mesmo através de outra base de dados, fornecida pelo próprio programa.

Inicialmente, por meio do SolarData, chegou-se nos parâmetros de Rio Verde, sendo:

- Azimute: 0°;
- Inclinação: 26°;
- Latitude: -17.8;
- Longitude: 50.92;

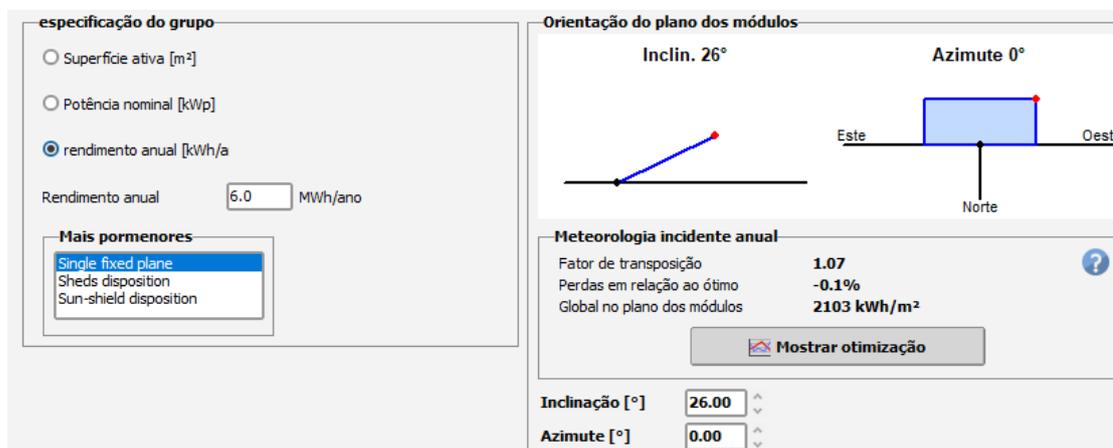
Incluindo esses parâmetros no PVSYST, foi possível chegar nos resultados de cada placa e compará-las. Feito isso, foi analisado o melhor método para o cálculo da placa, sendo que é possível fazer esse cálculo por meio de: área disponível (m²); Potência Nominal (kWp); ou optar por sem dimensionamento, porém esse último seria mais genérico, para uma comparação de forma unitária.

Escolheu-se então o parâmetro de Potência necessária, que é o mais utilizado no mercado. Por meio disso, estimou-se um consumo médio anual, por meio de uma conta de luz, para uma casa de 150m² e 5 residentes, tem-se um consumo de 500 kWh/mês, ou 6,0MWh/ano.

Por meio disso o software já calcula automaticamente a perda, fator de transposição, e aproveitamento esperado em kWh/m². Obteve-se um aproveitamento de 2.103 kWh/m² anual

como mostrado na Figura 04. Até esse passo os parâmetros e resultados alcançados são iguais, diferenciando a partir daí, somente na escolha do tipo de placa.

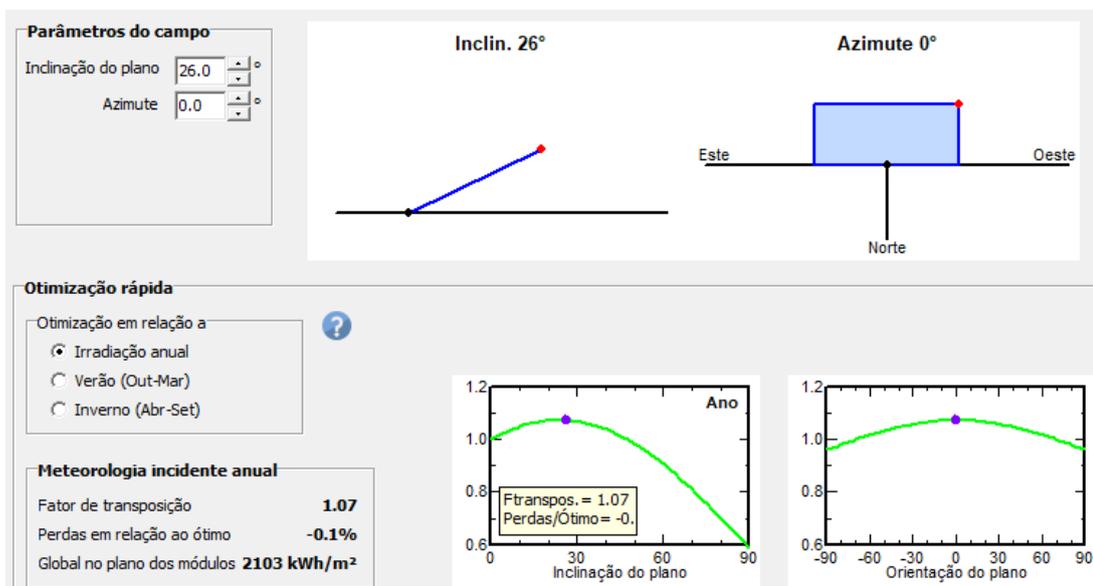
Figura 04 – Especificação dos dados iniciais.



Fonte: PVSYS.

A partir disso o próprio software dá a opção de demonstrar a otimização dos dados, em relação a inclinação e orientação do plano, como demonstrado na Figura 05 a seguir:

Figura 05 – Otimização dos dados.



Fonte: PVSYS.

Com os parâmetros definidos até aqui, realizou-se o pré-dimensionamento de cada placa (Silício poli cristalino e OPV), como demonstrado a seguir, pelas figuras 06 e 07:

Figura 06 – Pré-dimensionamento de um sistema com placas solares de Silício Poli cristalino.



PVsyst V7.1.8

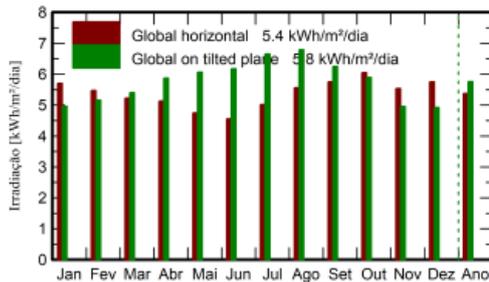
Pré-dimensionamento do sistema em rede

Localização geográfica		Localização	
Rio Verde	Brasil	Latitude	-17.79 °S
		Longitude	-50.94 °W
		Altitude	699 m
		Fuso horário	UTC-3
Orientação do plano dos módulos			
Plano fixo			
Inclinação/Azimute	26 / 0 °		

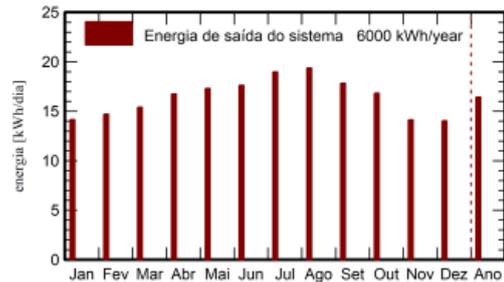
Resumo do sistema

Potência nominal	3.4 kWp	Superfície total	23 m ²
Tipo de módulo	Standard	Suportes dos módulos	Fachada ou telhado inclinado
Tecnologia	Células poli-cristalinas	Propriedades da ventilação	Circulação de ar livre
Rendimento anual	6.00 MWh	Investimento	54310 BRL
Prod. específica	1768 kWh/kWp	Custo da energia	0.65 BRL/kWh

Meteorologia e energia incidente



Saída sistema



	Horizonte total kWh/m²/dia	Piano mód. kWh/m²/dia	Saída sistema kWh/dia	Saída sistema kWh
Jan.	5.70	4.96	14.16	439
Fev.	5.47	5.16	14.71	412
Mar.	5.23	5.40	15.40	478
Abr.	5.13	5.88	16.76	503
Mai.	4.75	6.06	17.30	536
Jun.	4.56	6.18	17.62	528
Jul.	5.02	6.65	18.98	588
Ago.	5.56	6.79	19.38	601
Set.	5.75	6.25	17.82	535
Out.	6.05	5.90	16.82	521
Nov.	5.54	4.96	14.14	424
Dez.	5.75	4.92	14.03	435
Ano	5.38	5.76	16.44	6000

Figura 07 – Pré-dimensionamento de um sistema com placas solares de película fina.



PVsyst V7.1.8

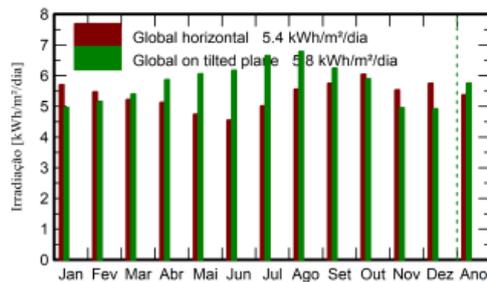
Pré-dimensionamento do sistema em rede

Localização geográfica		Localização	
Rio Verde		Latitude	-17.79 °S
Brasil		Longitude	-50.94 °W
		Altitude	699 m
		Fuso horário	UTC-3
Orientação do plano dos módulos			
Plano fixo			
Inclinação/Azimute	26 / 0 °		

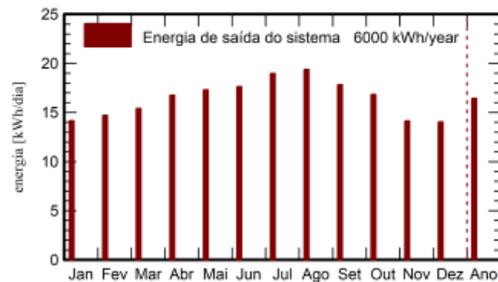
Resumo do sistema

Potência nominal	3.4 kWp	Superfície total	34 m ²
Tipo de módulo	Standard	Suportes dos módulos	Fachada ou telhado inclinado
Tecnologia	Película fina	Propriedades da ventilação	Circulação de ar livre
Rendimento anual	6.00 MWh	Investimento	61574 BRL
Prod. específica	1768 kWh/kWp	Custo da energia	0.71 BRL/kWh

Meteorologia e energia incidente



Saída sistema



	Horizonte total	Plano mód.	Saída sistema	Saída sistema
	kWh/m²/dia	kWh/m²/dia	kWh/dia	kWh
Jan.	5.70	4.96	14.16	439
Fev.	5.47	5.16	14.71	412
Mar.	5.23	5.40	15.40	478
Abr.	5.13	5.88	16.76	503
Mai.	4.75	6.06	17.30	536
Jun.	4.56	6.18	17.62	528
Jul.	5.02	6.65	18.98	588
Ago.	5.56	6.79	19.38	601
Set.	5.75	6.25	17.82	535
Out.	6.05	5.90	16.82	521
Nov.	5.54	4.96	14.14	424
Dez.	5.75	4.92	14.03	435
Ano	5.38	5.76	16.44	6000

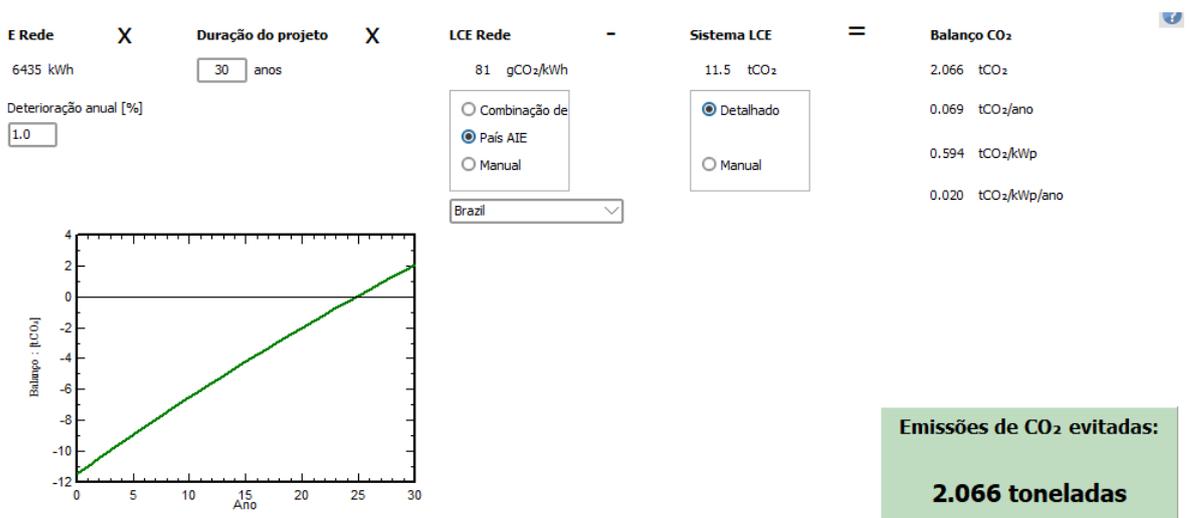
Como demonstrado na Figura 06, tem-se que, com o uso do Silício poli cristalino, nas condições descritas anteriormente, precisaria de uma superfície de 23m², e um investimento em torno de R\$54.310,00. Enquanto para uma tecnologia com filmes finos, demonstrado na Figura 07, precisaria de uma área de 34m² e um investimento de R\$61.574,00 para alcançar o mesmo resultado.

A partir disso pode-se calcular a eficiência das mesmas, utilizou-se a potência (de 3,4kWh, para as duas), e dividiu pela área necessária de cada tecnologia, chegou-se então, a 14,78% para a placa de Silício Poli cristalino e 10% para o filme fino OPV. A eficiência de placas comercializadas para o Silício já alcançam cerca de 20%, e para o OPV estão chegando a 15%.

Quanto a questão de área, os filmes finos, como o OPV, tem a vantagem de possuírem maior maleabilidade, facilidade de instalação e podendo até adicionar o fator de transparência, o que torna ideal para fachadas de prédios, os quais não possuem uma área de laje tão grande para implantação de placas solares em cima dos mesmos, mas possuem uma área de fachada muito maior.

O investimento das placas de OPV ainda é maior que as outras placas de mercado, mas não pôr a placa em si ser mais cara, mas por necessitarem de uma área maior para obter a mesma eficiência, contudo ela compensa em sua aplicabilidade como já dito, e seu fator ambiental, como pode-se verificar na Figura 08.

Figura 08 – Comparação de redução da emissão de CO₂ com as placas de filmes finos.

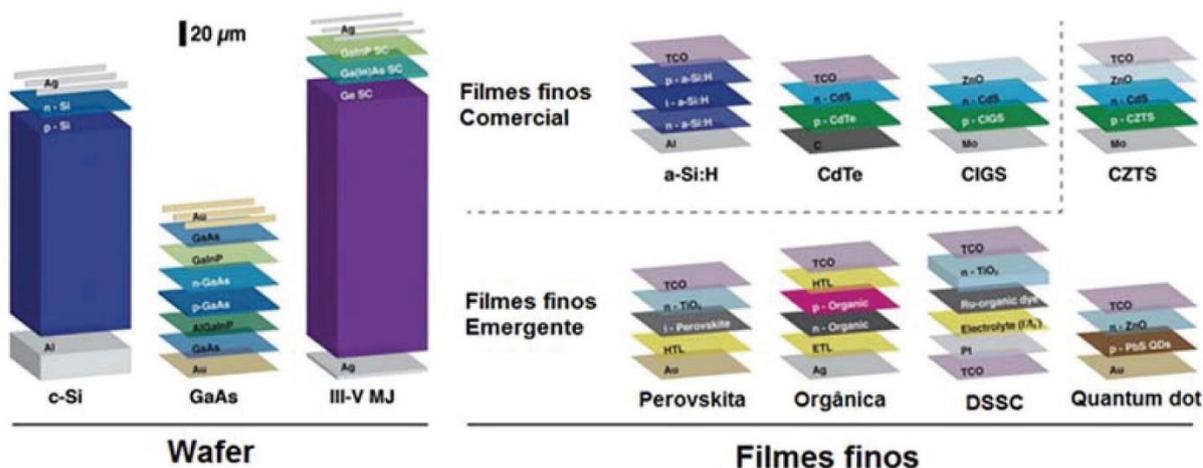


Fonte: PVSYST.

Portanto, para um projeto de 30 anos, (que placas solares OPV já estão alcançando de vida útil, com novas formas de aplicação de vidro em duas faces as encapsulando), é possível ter um sistema de energia fotovoltaica, levando em consideração a emissão do Brasil, que evite a emissão de 2.066 toneladas de CO₂, ao escolher a utilização da tecnologia OPV.

A célula fotovoltaica orgânica, assim como as outras tecnologias de Energia Solar, é formada por uma estrutura em camadas, composta primeiramente por um eletrodo transparente, que irá absorver a luz incidente, uma camada fotossensível que irá ficar entre os eletrodos, chamada de camada ativa, e um eletrodo metálico, sendo que, as camadas externas são formadas por dois eletrodos condutores. Na Figura 09 tem-se exemplos de camadas dentro cada tipo de placa disponível:

Figura 09 – Exemplos de camadas de placas solares de diferentes tecnologias.

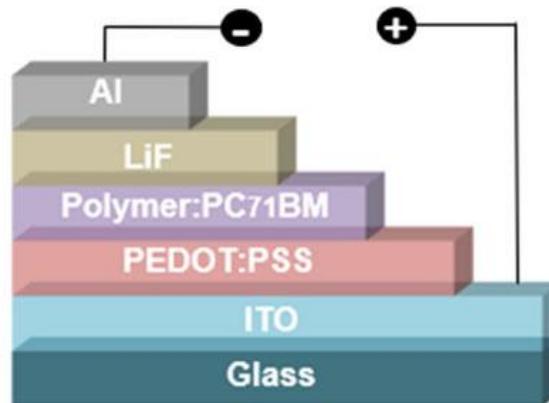


Fonte: Raphael *et al.* (2017).

Nos laboratórios de pesquisa, muitas vezes utilizam-se como substrato lâminas de vidro recobertas com um filme fino de FTO (óxido de estanho dopado com flúor) ou ITO (óxido de índio dopado com estanho) entre outros materiais condutores, os quais são utilizados como parte do eletrodo transparente. Esse processo de dopagem nada mais seria que um procedimento de adição de impurezas químicas a um elemento semiconductor, para transformá-lo num elemento mais condutor.

Sobre a lâmina é depositado uma fina camada de PEDOT:PSS por centrifugação. O PEDOT:PSS é um material transparente, condutor e solúvel em água cuja associação com o eletrodo reduz a barreira de energia entre o ânodo e a camada ativa aumentando a injeção dos portadores positivos no interior da camada ativa. (Lourenço Junior *et al.*, 2020).

Figura 10 – Exemplo de camada de placa solar OPV.



Fonte: Albuquerque *et al.* (2020).

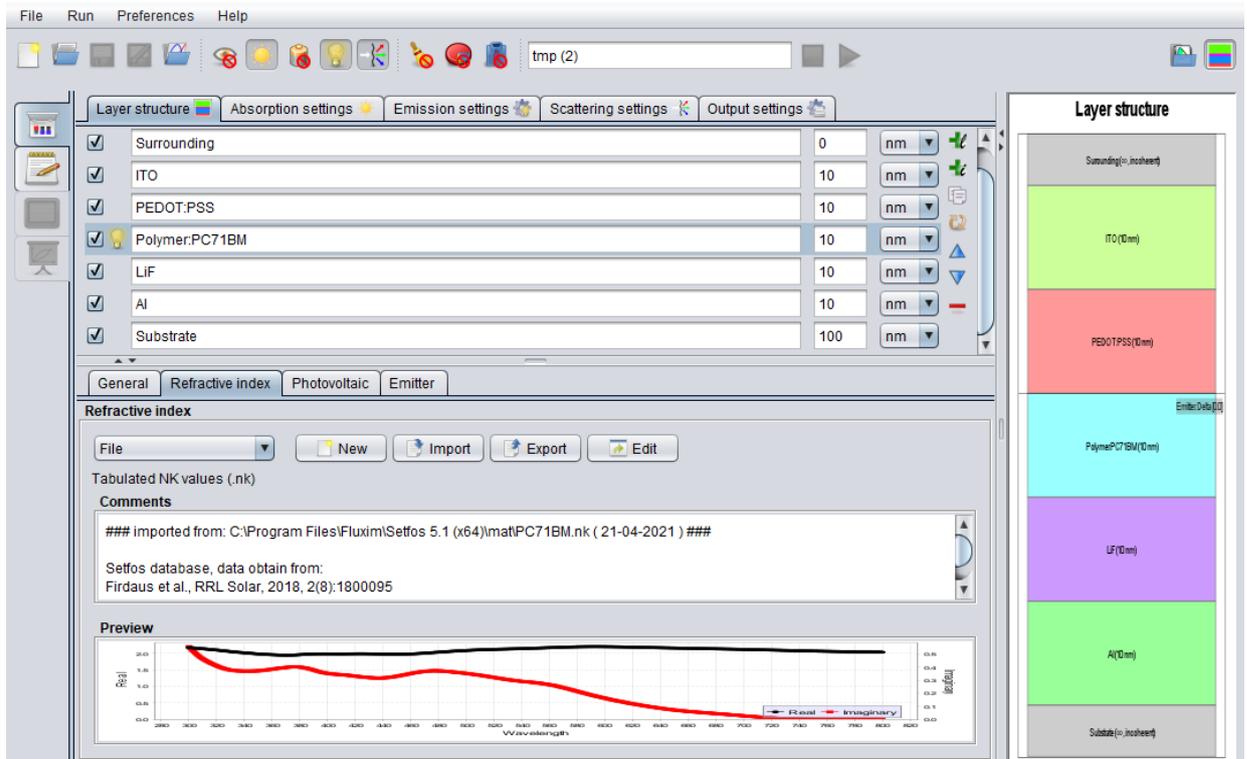
Foi realizado então um teste por meio de um outro software, o SETFOS, que é especializado em tecnologia fotovoltaica orgânica, permitindo a montagem de uma placa solar OPV, e ao definir os parâmetros da mesma, foi gerada a simulação, que chegou em resultados expostos a seguir, para o Polímero PC71BM.

O SETFOS é amplamente utilizado nas pesquisas científicas, realizando os testes em uma configuração orgânica, chegando a uma melhor otimização da mesma, para só então partir para fabricação e testes em condições reais, da mesma.

De acordo com Lourenço Junior *et al.* (2020), os polímeros utilizados na produção de eletrônica orgânica podem ser aplicados como condutores e semicondutores, sendo o PEDOT:PSS (poli(3,4- etilenodioxitiofeno) poliestirenosulfonado), por exemplo, empregado como condutor, por possuir alta condutibilidade, estabilidade e uma boa transmissão óptica.

Definiu-se então a configuração da Figura 10 como base, inserindo no software essas camadas, sendo que o mesmo já possui as propriedades base para os compostos apresentados, sendo necessário somente a importação desses dados, e utilizando para PEDOT, $n = 1.5$, como definido pelos próprios criadores, como observado na Figura 11 a seguir.

Figura 11 – Inserção das camadas no software e importação de suas características.



Fonte: SETFOS.

Feito isso, gerou-se a simulação com os parâmetros definidos, chegando aos resultados apresentados na tabela a seguir:

Tabela 02 – Resultados para a configuração anterior.

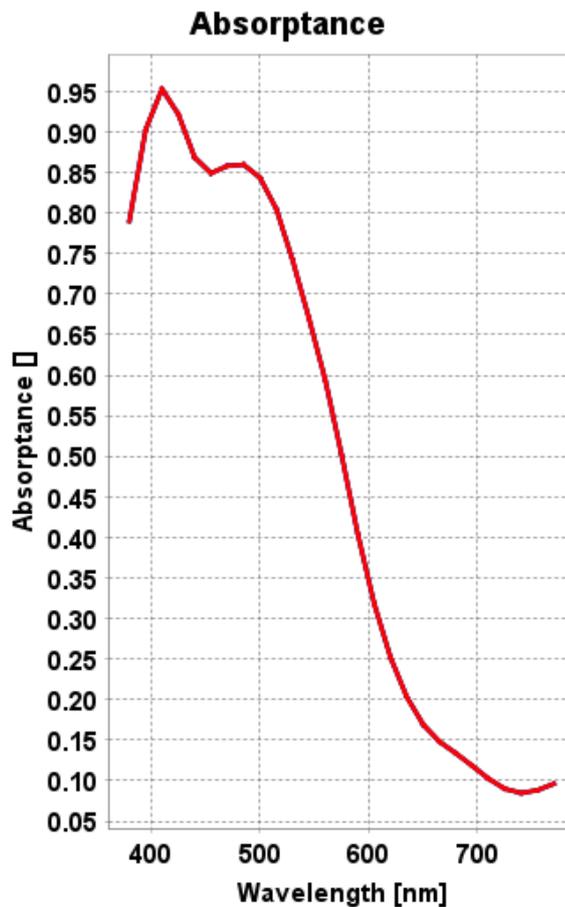
<i>Optical Keyfigures</i>	
PARÂMETRO	ÍNDICE
<i>CIE_x,R []</i>	0.4819
<i>CIE_Y,R []</i>	0.4224
<i>CIE_y,T []</i>	0.3017
<i>CRI transmitted []</i>	83.5816
<i>SIA []</i>	0.504
<i>Tref []</i>	2.855E-29
<i>Vidro.opteff [%]</i>	0
<i>ITO.opteff [%]</i>	0
<i>PEDOT:PSS.opteff [%]</i>	0
<i>Polymer:PC71BM.opteff [%]</i>	13.8089
<i>LiF.opteff [%]</i>	0
<i>Al.opteff [%]</i>	1.8858
<i>isc_T [mA/cm^2]</i>	3.5971E-27
<i>CIE_y,R []</i>	0.3978
<i>CIE_x,T []</i>	0.3193
<i>CIE_Y,T []</i>	3.0064E-29
<i>SEIR []</i>	0.4224
<i>Rref []</i>	0.4058
<i>Vidro.isc [mA/cm^2]</i>	0
<i>ITO.isc [mA/cm^2]</i>	0
<i>PEDOT:PSS.isc [mA/cm^2]</i>	0
<i>Polymer:PC71BM.isc [mA/cm^2]</i>	9.5258
<i>LiF.isc [mA/cm^2]</i>	0
<i>Al.isc [mA/cm^2]</i>	1.3009
<i>isc_R [mA/cm^2]</i>	13.662

Fonte: SETFOS.

Como pode-se notar pela tabela o polímero escolhido possui um *opteff*[%], que seria um efeito óptico, de absorção de luz de, aproximadamente, 13,81%.

Além dos dados apresentados anteriormente, também é obtido gráficos, como por exemplo em função da absorbância, demonstrando que para um comprimento de onda em torno de 410, possui um melhor índice de absorção, como demonstrado na figura a seguir:

Figura 12 – Absorção em função do comprimento de onda.



Fonte: SETFOS.

Nesse comprimento de onda é a cor violeta. O sol possui o seu máximo de intensidade de emissão da luz visível produzida, entre o verde e o azul, isto é, a maior intensidade de radiação visível encontra-se na faixa dos 500 nm de comprimento de onda, possuindo uma coeficiente de absorção desse espectro de 0,85.

O próprio software já possui uma ferramenta de otimização dos dados, de forma que você somente seleciona ela e ele mostra o parâmetro que ele mudou para alcançar um melhor resultado e os resultados otimizados, como demonstra a Tabela 03 a seguir, para a otimização da placa OPV:

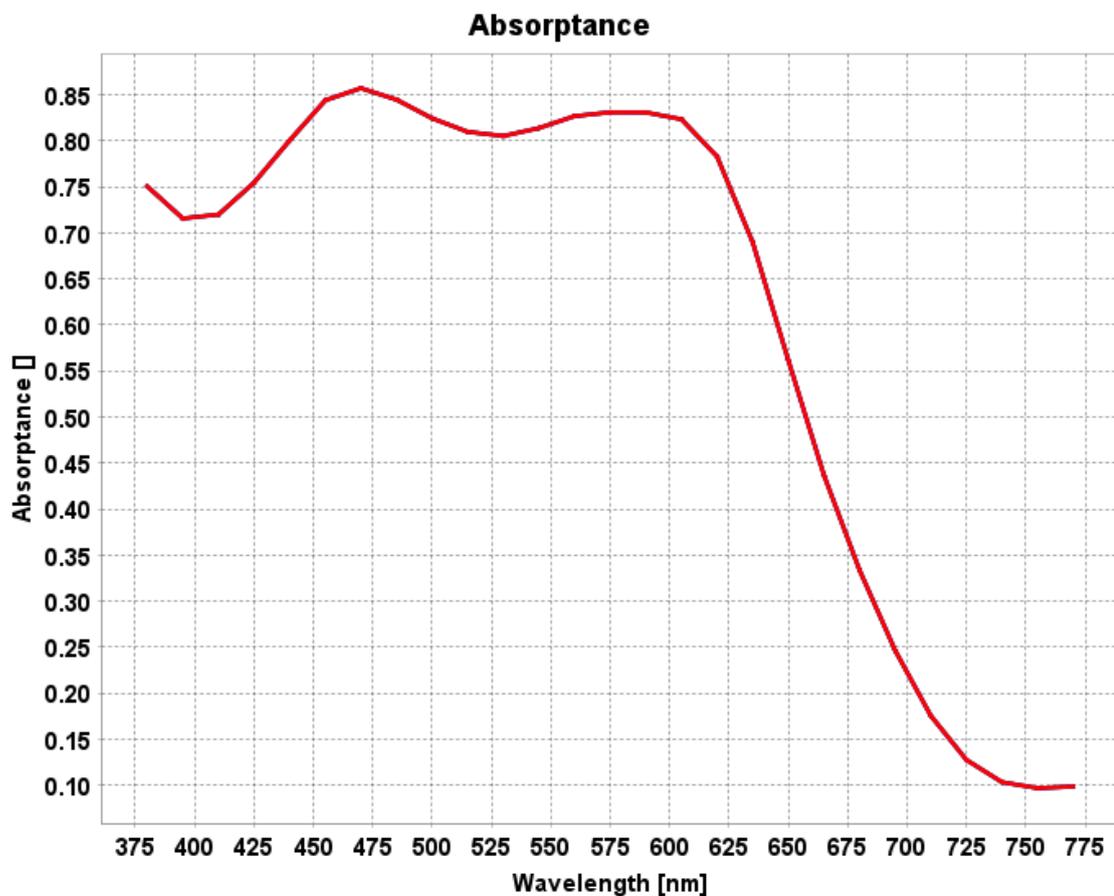
Tabela 03 – Resultados da otimização para o polímero PC71BM.

<i>Optimize Keyfigures</i>	
<i>Mean chi-square value []</i>	0.9051
<i>Optimize Parameter Values</i>	
<i>Polymer:PC71BM.d [nm]</i>	151.9425
<i>Optical Keyfigures</i>	
PARÂMETRO	ÍNDICE
CIE_x,R []	0.3623
CIE_y,R []	0.3364
CIE_Y,R []	0.1907
CIE_x,T []	0.4351
CIE_y,T []	0.312
CIE_Y,T []	2.4532E-29
CRI transmitted []	69.8433
SEIR []	0.1907
SIA []	0.6408
Rref []	0.1732
Tref []	1.8095E-29
Vidro.isc [mA/cm ²]	0
Vidro.opteff [%]	0
ITO.isc [mA/cm ²]	0
ITO.opteff [%]	0
PEDOT:PSS.isc [mA/cm ²]	0
PEDOT:PSS.opteff [%]	0
Polymer:PC71BM.isc [mA/cm ²]	13.1403
Polymer:PC71BM.opteff [%]	19.0486
LiF.isc [mA/cm ²]	0
LiF.opteff [%]	0
Al.isc [mA/cm ²]	1.4408
Al.opteff [%]	2.0886
isc_R [mA/cm ²]	9.9075
isc_T [mA/cm ²]	4.0106E-27

Fonte: SETFOS.

Como observado, o parâmetro otimizado, foi a espessura do *layer* do polímero para, aproximadamente, 151,94mm, resultando em um aumento no efeito óptico, que antes era 13,81%, e agora passou a ser 19,05%. Tem-se também a configuração de absorção de espectro que foi otimizada, como mostra a Figura 14, a seguir:

Figura 13 – Absorção em função do comprimento de onda otimizada.



Fonte: SETFOS.

O software, por observação, é ideal para testes primários de um polímero que deseja ser utilizado para energia solar, de forma a obter resultados preliminares, e a otimização dessa placa, por meio do mesmo, além de outros recursos disponíveis, para só após ter alcançado uma boa configuração, partir para testes em condições reais.

5 CONCLUSÃO

Como pode-se concluir, a energia solar a partir de Células Orgânicas OPV traz um grande diferencial em relação a questão ambiental da produção das placas, por sua produção ser mais limpa, com o método *roll-to-roll*, e precisa de temperaturas muito menores de fabricação em comparação a placas comercializáveis de Silício.

Além disso, ela inova em relação a sua aplicação, por ser um filme fino, permite maleabilidade, possibilidade de mudança de cor, inclusive podendo ser incolor (admitindo a passagem de luz), fatores que antes não eram explorados por meio de outras tecnologias, e agora foi possível com essa 3ª geração de energia solar.

Em questão da eficiência do OPV, nas mesmas condições de comparação à placas comercializáveis de Silício, ainda deixa a desejar - mesmo já tendo grande evolução em resultados nos últimos anos - por ser necessário uma maior área de placas, para alcançar o mesmo resultado, e conseqüentemente de um maior investimento.

Por meio do software PVSYST foi possível chegar ao resultado de que placas de Silício possuem até 1,5x de eficiência, em relação a uma placa de OPV estudada. Por meio disso, precisou-se então de 1,5x de área a mais de OPV para chegar ao mesmo resultado, e automaticamente um investimento 20% maior, em relação ao de Silício, nas condições atuais.

Por meio do software SETFOS, pode-se estudar mais a fundo o funcionamento da placa OPV, seus *layers* e seu comportamento. Chegou-se ao resultado de que para o polímero utilizado, por meio de uma otimização gerada pelo próprio software, uma mudança na espessura do filme, faria com que a eficiência aumentasse em quase 1,5x, chegando as comercializáveis de Silício.

O estudo permitiu uma maior abrangência em relação a aplicabilidade de energia solar em diversas áreas e finalidades, antes pouco estudadas, que podem permitir grandes avanços na área de Engenharia Civil, como por exemplo, no uso de energia solar em fachadas de prédio, como uma solução vertical, ao problema de área de laje disponível, uso em claraboias e fachadas, permitindo passagem de luz, e uso em superfícies curvas, por sua maleabilidade.

O OPV apesar de já encontrar progresso em sua eficiência nos últimos anos, sendo já até comercializada de forma a haver uma empresa dessa tecnologia, aqui no Brasil, ainda deve evoluir nas próximas décadas, inclusive com auxílio de softwares, que já vem trazendo facilidade para os estudos do mesmo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Lais Schmidt et al. **Synthesis and characterization of novel conjugated copolymers for application in third generation photovoltaic solar cells.** *Journal Of Materials Research And Technology*, Rio de Janeiro, n. 9, p. 7975-7988, 05 maio 2020.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/341959535_Synthesis_and_characterization_of_novel_conjugated_copolymers_for_application_in_third_generation_photovoltaic_solar_cells/link/5edb0a4a92851c9c5e86a13c/download. Acesso em: 04 maio 2021.

BRASIL. Constituição (2012). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.**

Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica: ANEEL. 17 abr. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>. Acesso em: 26 maio 2020.

BRASIL. Constituição (2015). **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015.**

Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Agência Nacional de Energia Elétrica: ANEEL. 24 nov. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 26 maio 2020.

BRASIL. Constituição (2015). **Lei nº 13169, de 06 de outubro de 2015.** Altera a Lei nº 7.689, de 15 de dezembro de 1988, para elevar a alíquota da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido - CSLL em relação às pessoas jurídicas de seguros privados e de capitalização. Secretaria Geral: Subchefia para Assuntos Jurídicos. 06 out. 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13169.htm. Acesso em: 26 maio 2020.

CABRAL, Raíssa Tavares. **Avaliação qualitativa dos parâmetros característicos de um módulo Fotovoltaico Orgânico (OPV) comercial.** 2016. 28p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal

do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/151361>. Acesso em: 26 maio 2020.

CHOI, J.-K., FRILEY, P., & ALFSTAD, T. **Implications of energy policy on a product system's dynamic life-cycle environmental impact: Survey and model.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 9. 27 Jun 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112003668>. Acesso em: 06 maio 2021.

COUTINHO, Douglas José. **Estudo e caracterização de dispositivos fotovoltaicos orgânicos (OPV) baseados em heterojunção de volume.** 2011. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-31082011-112444/en.php>. Acesso em: 26 maio 2020.

DASSI, Jonatan Antonio et al. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC.** 2015. 16p. Disponível em: <http://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3924>. Acesso em: 26 maio 2020.

FREITAS, Priscila Oliveira *et al.* Multi-Integration Solar Shading System (M-ISSS). In: **Brazilian Technology Symposium.** 2015. 9p. Disponível em: <http://www.lcv.fee.unicamp.br/images/Proceedings/PA-19-15.pdf>. Acesso em: 26 maio 2020.

GALDINO, Janis Joplim Bezerra et al. Caracterização de módulos fotovoltaicos orgânicos comerciais. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7.,** 2018. Gramado. 8p. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/cc54/c9939f0d5b052a74a93df19cb6ee0705c4fe.pdf>. Acesso em: 26 maio 2020.

KAUR, Navpreet et al. **Organic materials for photovoltaic applications: Review and mechanism.** *Synthetic Metals*, v. 190, p. 20-26, 2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379677914000356>. Acesso em: 26 maio 2020.

LOURENÇO JUNIOR, Osvaldo Donato *et al.* Células Solares Orgânicas, a Energia que Vem dos Polímeros. **Revista Virtual de Química**, Curitiba, v. 12, n. 3, p. 583-597, 14 maio 2020. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v12n3a04.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015. Disponível em: <http://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/664>. Acesso em: 26 maio 2020.

RAPHAEL, Ellen *et al.* Células Solares De Perovskitas: uma nova tecnologia emergente. **Quim. Nova**, São João del Rei, v. 41, n. 1, p. 61-74, 02 out. 2017. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/RV20170031.pdf>. Acesso em: 04 maio 2021.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos**: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil / Ricardo Rütther. – Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114 p. Disponível em: <https://fotovoltaiica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaiicos.pdf>. Acesso em: 26 maio 2020.

SCHMIDT ALBUQUERQUE *et al.* Synthesis and characterization of novel conjugated copolymers for application in third generation photovoltaic solar cells. **Journal of Materials Research and Technology**, London, v. 14, n. 10, p. 463-466, 14 outubro 2021. Mensal. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Layer-structure-of-an-organic-solar-cell-in-the-traditional-a-and-inverted-b_fig2_257555233. Acesso em: 21 abr. 2021.

SKANDALOS, N.; KARAMANIS, D. PV Glazing technologies. *Renew. Sustain. Energy Reviews*, v. 49, p. 306-322, 2015. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.145>. Acesso em: 03 março 2021.

SUNEW, **Células Solares de 3ª Geração**. Disponível em: < <https://sunew.com.br/>>. Acesso em: 29 junho 2020.

UEHARA, Letícia K. S. et al. Avaliação do potencial da janela OPV para iluminação natural de salas profundas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e01904, jan. 2019. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652752>>. Acesso em: 30 dez. 2018. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652752>.

VALADARES, Patrícia Nazareth. **A energia solar e os desafios para sua consolidação no brasil e no mundo**. 2019. 31 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28488>. Acesso em: 26 maio 2020.