

OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES

André Bertucci Martins da Silva – andrebertucci38@gmail.com

Claudio Hideo Murazawa Junior – juniormurazawa@hotmail.com

Guilherme Lopes Barbieri – guibarbieri1@hotmail.com

Matheus Magri Biagi – matheus.m.b@icloud.com

Vinicius Sawaya Sacamoto Calusa – viniciuscalusa0610@gmail.com

Fabio Raia (Orientador) – fabio.raia@mackenzie.br

RESUMO

Este artigo visa apresentar uma análise técnica, econômica e socioambiental de sistemas geradores de energia solar fotovoltaica integrados a edificações, avaliando soluções e tecnologias capazes de otimizar a eficiência energética destes sistemas. A partir de pesquisas relacionadas ao tema, foi possível compreender o panorama geral deste segmento no Brasil, o funcionamento dos conjuntos geradores, seus principais componentes, a regulação do mercado de energia solar, metodologia de projeto e execução dos empreendimentos. Após a consolidação dos estudos avaliou-se de que forma as novas tecnologias e soluções técnicas são capazes de otimizar a eficiência energética desses sistemas geradores e quais seus benefícios ambientais, sociais, técnicos e econômicos.

Palavras-chave: Otimização; Sistema fotovoltaico; Tecnologias, Energia solar, Edificações.

OPTIMIZATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN BUILDINGS

ABSTRACT

This article intends to present a technical, economic and social environmental analysis of photovoltaic solar generation systems integrated to buildings, evaluating solutions and technologies capable of optimizing its energy efficiency. Based on several researches, it was possible to understand the market overview of this specific segment in Brazil, the system operation, its main components, the legal regulation, the project design and work execution methodology. After the consolidation of all information obtained, the studies focused on new technologies and technical solutions able to increase the energy efficiency of those systems and how it benefits the society under a technical, economic, social and environmental point of view. Key Words: Optimization, Photovoltaic systems, Technology and Solar energy.

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da sociedade humana, surgiu-se a necessidade de desenvolverem-se novas tecnologias capazes de melhorar a sociedade como um todo. Dentre estas novas tecnologias, uma delas é essencial para qualquer indivíduo: a eletricidade. Mediante o constante crescimento da população mundial, o consumo de energia, à nível global, vem aumentando todos os dias e uma das principais formas de atender esta demanda é através do aproveitamento de fontes energéticas não renováveis e muito poluentes. A fim de encontrar uma alternativa que reduza o impacto ambiental destas fontes, o interesse pelo desenvolvimento de novas tecnologias capazes de aproveitar as fontes de energia renováveis vem crescendo constantemente. De acordo com o Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019), atualmente a principal fonte de energia constituinte da matriz elétrica brasileira é a hídrica, a qual corresponde por mais de 60% da capacidade instalada nacional. Entretanto, ao longo dos últimos anos, as usinas hidrelétricas vem reduzindo sua participação, muito relacionado ao impacto causado ao meio ambiente na construção destes empreendimentos. Isto proporcionou um espaço para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia como a solar, que de 2017 até hoje conquistou 1,35% da matriz, totalizando 2,27 GW instalados.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005), o potencial do Brasil para a geração de energia solar é 167 vezes maior quando comparado ao potencial hídrico do país. Além disto, de acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil da ANEEL (2005), o Brasil possui grande parte do seu território próximo à linha do Equador, o que contribui para que as variações da duração do sol ao longo do dia sejam pequenas e os níveis de irradiação solar sejam elevados. Adicionalmente, a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR, 2019) demonstra que países com condições inferiores às do Brasil para a geração de energia solar fotovoltaica possuem capacidades instaladas cerca de 40 vezes a do Brasil, como é o caso da Alemanha. Diante deste potencial que o país possui, a utilização desta tecnologia na área de construção civil vem se tornando cada vez maior.

A utilização de módulos fotovoltaicos na construção advém de diversos benefícios que esta tecnologia pode oferecer, tais como: geração de valor para o empreendimento, sustentabilidade, redução da pegada de carbono, economia aos consumidores nos gastos com energia elétrica, geração de emprego, e até mesmo por beleza estética.

Dados os fatos acima, o presente artigo tem como finalidade o estudo de como a integração do sistema fotovoltaico, e suas novas tecnologias, com a arquitetura de uma edificação podem otimizar a geração de energia solar.

1.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é o produto da conversão de luz e calor solar em energia elétrica. Ao expor um material semicondutor à luz, uma diferença de potencial é criada nas extremidades da estrutura do material, permitindo a passagem de elétrons e, por sua vez, possibilitando a geração de energia a partir desta fonte.

O efeito fotovoltaico ocorre quando a luz solar é absorvida pelo material semicondutor através de seus fótons. A energia absorvida é transferida para os elétrons, os quais a partir de então movimentam-se. Esta movimentação de elétrons forma uma tensão elétrica que, por sua vez gera energia elétrica.

O material semicondutor é formado pela camada de valência cheia e a de condução vazia. A movimentação de elétrons supracitada ocorre através de saltos da camada de valência cheia para a de condução vazia, e neste momento é que ocorre a formação de corrente elétrica. Para esta função, o material mais comumente utilizado é o silício, devido ao fato de o intervalo entre suas camadas ser próximo de ótimo em termos de eficiência na geração de corrente, além de ser abundante.

1.2 REGULAÇÃO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração de energia distribuída pode ser definida como a geração na qual ocorre de forma descentralizada, cuja energia é gerada através de sistemas que ficam próximos ou na própria unidade consumidora, independentemente da tecnologia ou da fonte de energia considerada, tendo ligação com a rede elétrica pública ou isolado (ACKERMANN,2001). Podem ser divididas em microgeração, quando limitada à 75 KW instalados, e mini geração, quando a capacidade instalada estiver entre 75 KW e 5 MW.

A geração distribuída pode ocorrer de quatro modalidades diferentes, sendo elas:

Autoconsumo remoto – Unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa física ou jurídica, que possua uma central geradora em um local diferente das unidades consumidoras, porém, dentro da mesma área de concessão ou permissão.

Geração Compartilhada – Reunião de consumidores por meio de consórcio ou cooperativa, composta de pessoa física ou jurídica, que possua central geradora em local diferente das unidades consumidoras, nas quais a energia excedente será compensada, sendo da mesma área de concessão ou permissão.

Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (Condomínios) – Utilização de energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora (localizadas em uma mesma propriedade) e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta.

Geração na própria unidade consumidora – Unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída que utilizam a energia gerada na própria unidade.

Neste trabalho em questão aprofundaremos nossos estudos na geração distribuída, uma vez que sistemas de geração de energia solar fotovoltaica integrados a edificações possuem uma capacidade instalada inferior a 5 MW.

1.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema fotovoltaico é composto por um conjunto de células fotovoltaicas, juntamente com elementos auxiliares para os processos de conversão da incidência de luz solar em energia elétrica. São os módulos fotovoltaicos, estruturas metálicas, inversores e, em alguns casos baterias.

Os sistemas solares fotovoltaicos podem ser classificados em duas categorias: o sistema isolado (*off grid*) e o sistema conectado à rede pública (*on grid*).

O sistema *off grid* é caracterizado por não possuir nenhuma conexão à rede pública, dependendo apenas de sua própria geração para atender sua demanda energética própria. Geralmente, em casos onde não há a possibilidade de conexão, o proprietário opta por esta solução e garante o armazenamento da energia produzida através da utilização de baterias.

Já os sistemas *on grid*, são aqueles que possuem uma ligação direta entre o quadro elétrico do empreendimento e a rede pública. Sendo assim, caso o proprietário deixe de gerar energia em determinado período, a concessionária responsável pela rede suprirá sua demanda energética.

1.3.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos ou painéis solares, são os principais componentes constituintes do sistema fotovoltaico. Eles são formados por um conjunto de células fotovoltaicas interconectadas e geralmente compostos por 72 células divididas em fileiras chamadas de *strings*.

Existem diversos tipos de módulos fotovoltaicos, cada qual com seu processo de fabricação diferente e materiais semicondutores distintos. Por exemplo, ao invés de se utilizar silício para esta função, os módulos de filme fino utilizam gases semicondutores para substituir o papel do silício no efeito fotovoltaico.

Quanto maior for sua porcentagem de eficiência energética, maior é a geração de energia elétrica para uma mesma irradiação solar. De acordo com pesquisas feitas pela empresa Portal Solar (Portal Solar, 2019), dependendo da tecnologia adotada, a eficiência energética das células fotovoltaicas podem variar de 5% até 30%.

1.3.2 Inversores

Os módulos fotovoltaicos geram energia em corrente contínua (CC), portanto, se faz necessário o uso dos inversores para a conversão da corrente para alternada (CA), uma vez que os aparelhos eletrônicos são alimentados pela corrente alternada de energia elétrica.

1.3.3 Estruturas

As estruturas metálicas são responsáveis por sustentar os painéis fotovoltaicos. Elas podem ser divididas em dois grandes grupos: fixas e móveis.

A estrutura metálica móvel, mais conhecida como *tracker*, além de sustentar os módulos, ainda possui o papel de rastrear o sol, garantindo que o ângulo de incidência da irradiação solar na placa seja sempre perpendicular, dando uma maior eficiência energética. Entretanto no caso de edificações, as estruturas utilizadas são em sua grande maioria do tipo fixa.

1.3.4 Baterias

As baterias são utilizadas em sistemas isolados para garantir o fornecimento de energia elétrica nos momentos em que não houver sol. Dessa forma, no período noturno, a demanda por eletricidade será atendida.

1.4 PROJETOS ARQUITETÔNICOS E PLACAS FOTOVOLTAICAS

A arquitetura tem um papel fundamental no que diz respeito à eficiência energética, o aproveitamento da iluminação e ventilação natural de uma edificação, impactam consideravelmente na redução do consumo de energia, garantindo assim uma maior eficiência.

Dentre as formas de integrar as placas fotovoltaicas à arquitetura, podemos citar dois importantes modelos. Um deles é o *Building Applied Photovoltaic System* (BAPV), que consiste na instalação das placas seguindo a melhor orientação e inclinação, para que as mesmas recebam a maior quantidade possível de radiação. A outra forma é o *Building Integrated Photovoltaic System* (BIPV), no qual integra-se o sistema fotovoltaico à edificação, substituindo elementos da edificação como coberturas, fachadas, brises e pérgolas, que passam a contribuir para a geração de energia do empreendimento.

1.5 NOVAS TECNOLOGIAS

A energia solar vem sendo cada vez mais estudada e utilizada no Brasil por ser uma fonte renovável e limpa, trazendo também um retorno financeiro no longo prazo.

A eficiência de uma célula solar, parte integrante da placa fotovoltaica, é mensurada através da capacidade de transformação da luz solar em energia elétrica.

Dentre as principais tecnologias que vem sendo estudadas, podemos citar: telhas solares, novas baterias, painel solar híbrido, vidros fotovoltaicos, células de filmes fino, células de perovskita, células solares de terceira geração, células orgânicas solares, entre outras.

1.5.1 Organic Photovoltaic (OPV)

O OPV consiste em células fotovoltaicas orgânicas, produzidas à base de substrato de resina PET, recebendo uma camada de tinta composta por células fotovoltaicas, que têm como função converter a energia provinda do sol em eletricidade.

Além de ser uma fonte sustentável desde a sua concepção, essa tecnologia é composta por materiais não tóxicos e orgânicos, presentes de forma abundante na natureza, e seu processo de produção requer uma demanda energética menor do que qualquer alternativa (apenas 1,4MJ/Wp contra 24,9MJ/Wp para painéis de silício), além de baixos custos. (SUNEW,2019).

Suas principais características são a leveza, a transparência e a flexibilidade do produto, podendo adequar a sua utilização às diferentes demandas em que as placas solares convencionais não atuam. Possuem, também, a possibilidade de customização, tendo como opção diversas formas e cores. Essa tecnologia ainda conta com uma baixa dependência do ângulo de incidência solar, possibilitando assim a implantação desses painéis em diferentes posições, sem comprometer a sua eficiência, a qual atualmente gira em torno de 10%, além de absorver os raios ultravioleta e infravermelho, resultando em uma diminuição da carga térmica da edificação.

De acordo com dados fornecidos pela Sunew, a tecnologia OPV, quando comparada às tradicionais, trata-se da opção mais sustentável e com a menor pegada de carbono, emite cerca de 10 a 20 vezes menos comparado às tecnologias tradicionais, além de ser um material reciclável.

1.5.2 Meia célula (*half-cell*)

Esse tipo de célula consegue operar em baixas temperaturas, devido ao fato de apresentarem tiras bem finas de alumínio ou cobre também conhecidas por *busbar*. Estas tiras são responsáveis por conduzirem energia entre as células, fazendo com que ocorram menos perdas de resistência interna, melhorando a eficiência dos painéis.

Seu arranjo interno é capaz de reduzir a corrente que circula o painel, diminuindo as perdas por indução que juntamente com a menor temperatura de operação fazem com que a célula tenha menos pontos de *microcracks*, que são pequenas rachaduras formadas ao longo do tempo e que reduzem a eficiência do painel solar, aumentando assim, a sua vida útil que em média chega a 25 anos com até 80% da sua capacidade inicial.

Outro benefício desta nova tecnologia refere-se ao maior potencial nominal que o módulo consegue gerar devido a menor incidência de sombra sobre cada célula fotovoltaica, possibilitando uma redução das estruturas metálicas, assim como nos cabos e quantidade de mão de obra utilizada para sua instalação, tornando o sistema mais acessível.

1.5.3 Telhas Solares

Também conhecidas como telhas fotovoltaicas, são telhas, normalmente cerâmicas, que possuem em seu corpo células fotovoltaicas encapsuladas ou sobrepostas, servindo como parte da cobertura da edificação, além de produzirem energia fotovoltaica.

Uma das grandes vantagens deste sistema é o fato de que ele pode ser utilizado em edificações que não tenham placas fotovoltaicas e que a instalação destas não possa ser feita, visto que as telhas comuns podem ser substituídas pelas telhas solares, desde que estas tenham as mesmas dimensões.

1.5.4 Baterias de Armazenamento de Energia

A fonte de energia solar é considerada intermitente, sendo um recurso energético renovável que, para fins de conversão em energia elétrica pelo sistema de geração, não pode ser armazenado em sua forma original (ANEEL, 2012). No caso específico da fonte de energia solar fotovoltaica, a variação da irradiação ao longo do dia não é constante, e por isto não é considerada estável para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Portanto, as baterias são utilizadas para regular e melhorar a frequência e tensão da rede elétrica, para arbitrar o consumo em horários de ponta e fora de ponta, de forma a proteger o consumidor de surtos e falhas no fornecimento.

As baterias são mais comuns em sistemas *off grid*. Isto deve-se ao fato do consumidor ser responsável pela geração de toda energia a ser consumida. O uso de baterias permite que este consumidor consiga atender sua demanda durante as 24 horas do dia.

Os principais tipos de bateria encontrados no mercado hoje em dia são: chumbo-ácido, íon de lítio, solar de fluxo e sal fundido.

Em contrapartida as baterias possuem elevado preço e não é facilmente encontrado comercialmente no Brasil.

1.5.5 Módulos Fotovoltaicos Transparentes

De modo geral, grande parte das vantagens apresentadas anteriormente decorrem das instalações fotovoltaicas integradas à edificação. Os módulos fotovoltaicos transparentes permitem o aproveitamento da luz natural em ambientes internos ao mesmo tempo que geram energia elétrica.

A tecnologia desenvolvida pela Onyx Solar consiste em módulos fotovoltaicos a base de silício cristalino ou amorfo, com vidros laminados e insulados com ar e argônio dupla ou triplamente, proporcionando assim o isolamento acústico e térmico. Além disso, ainda possui certificação ISO, o que garante sua utilização internacionalmente.

Esta tecnologia é relevante pelo fato de aproveitar uma estrutura existente, como por exemplo a fachada, para geração de receita para a edificação e redução da emissão de gases do efeito estufa.

2 METODOLOGIA

Este artigo foi dividido em duas etapas, sendo a primeira uma pesquisa teórica e a segunda consistindo em visitas de campo em unidades geradoras de energia solar a partir de placas fotovoltaicas.

A pesquisa teórica tem como base a pesquisa bibliográfica sobre a utilização de sistema fotovoltaicos como geradores de energia em edificações, novas tecnologias, estruturas que compõem o sistema fotovoltaico e a irradiação solar incidente na Terra.

As visitas técnicas foram realizadas em algumas empresas no ramo de energia fotovoltaica. A primeira delas foi a Solstício Energia onde tivemos contato direto com o diretor executivo e oportunidade de visitar os empreendimentos da Universidade Estadual de Campinas e a Pontifícia Universidade Católica de Campinas. A segunda visita técnica foi realizada na EDP Renováveis, empresa líder mundial no setor das energias renováveis, onde entrevistamos o gerente de construção. Outra visita foi realizada no Mackgraphe, meio pelo qual tivemos a oportunidade de conhecer o processo de fabricação do graphene e sua utilização em células fotovoltaicas. Além destas visitas e entrevistas também foram realizadas conversas na Feira Intersolar South América, principal evento do setor de energia solar, onde tivemos a oportunidade de contato com representantes da Onyx Solar, principal fabricante mundial de vidro fotovoltaico transparente.

3 RESULTADOS

Para cada uma das tecnologias estudadas, foi utilizada uma metodologia diferente no qual o intuito foi obter a eficiência e energia gerada de cada, a fim de utilizar estes resultados como premissas iniciais para o cálculo da eficiência econômica de cada tecnologia.

3.1 TELHA SOLAR

3.1.1 Métodos

A telha solar analisada é de fabricação da empresa americana TESLA, sendo assim, adotamos como premissas de cálculos os dados referentes a cidade de Florence, South Carolina, US.

Partido destas premissas, foram realizados os cálculos demonstrados em cada seção, até o resultado do sistema.

3.1.2 Recurso solar

O estudo da viabilidade foi realizado com base nos resultados de irradiação obtidos pelo *Global Solar Atlas* (2019), o qual utiliza informações obtidas por satélite para criar um banco de dados que contém os índices de GHI, DNI, PVOUT, DIF e GTI de cada região do globo terrestre.

Como dito anteriormente, a cidade escolhida, Florence, South Carolina, possui um índice GHI de 1.691 kWh/m² por ano, valor este próximo ao que encontramos na cidade de São Paulo, que possui cerca de 1.686 kWh/m² por ano, de acordo com o *Global Solar Atlas*.

3.1.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

No dimensionamento do sistema solar fotovoltaico deve-se calcular a geração de energia da instalação, a média de irradiação diária que incide sobre as telhas e a quantidade de energia que precisa ser gerada para suprir as necessidades da edificação.

A potência instalada é representada pela capacidade de pico de geração, com a unidade Wp (watt-pico), podendo ser calculada através da equação (1) abaixo, obtida através de estudos realizados pela CRESESB (2014):

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{MA}} \quad (1)$$

Onde:

P_{FV} – Potencia de pico do SFV [WP]

E – Energia $\left[\frac{Wh}{dia}\right]$

TD – Taxa de desempenho [adimensional]

HSP_{MA} – Média Diária Anual de HSP sobre o plano das telhas FV [h]

A taxa de desempenho (TD) é definida pela relação entre o desempenho real sobre o máximo teórico possível. De acordo com a CRESESB (2014), considerando todas as perdas por temperatura, sujeira, eficiência do inversor de frequência, incompatibilidade entre conectores e perdas por aquecimento do cabeamento, um Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCCR) bem ventilado e sem sombreamento, costuma ter índices de TD entre 70% e 80%.

Já a variável Horas de Sol Pleno (HSP) é uma grandeza que ignora os efeitos de variação da irradiância a cada instante e considera apenas a totalidade da energia elétrica convertida em intervalos horários, ou seja, ela expressa o valor de energia solar acumulada durante o dia, além de demonstrar em quantas horas a energia no local de estudo permanece constante e igual a 1 kW/m² (1.000 kW/m²), de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol, acumulada ao longo de um dado dia.

3.1.4 Configuração das Telhas Fotovoltaicas

Para a definição da eficiência e da geração das telhas foi necessário utilizar um processo de engenharia reversa, baseando-se nos valores obtidos pela calculadora disponibilizada no site da TESLA e pelas características de cada telha fotovoltaica, também fornecidas pela TESLA.

A geração das telhas por unidade de área foi obtida a partir da engenharia reversa utilizando os índices de GHI da cidade do Florence, os quais são de aproximadamente 4,62 kWh/m² por dia.

Na sequência foi utilizada a calculadora disponibilizada no site da TESLA para se obter o valor de energia que será economizada mensalmente para uma edificação que possui cerca de 200 m² e com o SF ocupando cerca de 50% do telhado. Diante destes parâmetros, estima-se que o sistema será capaz de economizar aproximadamente \$14,00 de energia por mês durante 30 anos. Usando a tarifa média para o mês de junho da cidade de Florence, SC, que é cerca de \$0,1281 por quilowatt-hora, de acordo com a *Solar Energy Local* (2019), e utilizando a fórmula (2), obtemos o valor da Energia gerada.

$$PE = T * Eg \quad (2)$$

Onde:

PE – Preço da energia [\$(unidade monetária)]

T – Valor da Tarifa $\left[\frac{\$}{kWh} \right]$

Eg – Energia Gerada [kWh]

Após os cálculos, chegamos a um valor de $Eg = 109,3$ kWh em média, sendo assim, diante do fato de que foi utilizado 50% de um telhado de 200 m², temos que por mês a geração em 100m² atinge 109,3 kWh, ou seja, 1,093 kWh/m² ou 36,43 Wh/m²/dia.

Utilizando novamente a equação (1), com uma taxa de desempenho em cerca de 70%, podemos chegar a um valor de potência de pico do SFV.

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{36,43}{0,7}\right)}{4,62} = 11,28 \text{ Wp/m}^2 \quad (3)$$

De acordo com a CRESESB (2014), podemos calcular o grau de eficiência do equipamento a partir da equação (4).

$$n = \frac{P_{MP}}{A \times G} \times 100\% \quad (4)$$

Onde:

n – Eficiência [%]

P_{MP} – Potência Máxima [Wp]

A – Área [m²]

G – Irradiância Solar Incidente [W/m²]

A partir de estudos realizados pelo *World Meteorological Organization* (WMO, 2014), consideramos o valor de $G = 1.367$ W/m². Aplicando os resultados pela equação (3) e $G = 1.367$ W/m² na equação (4), obtemos o valor referente a eficiência da estrutura.

$$n = \frac{11,28}{1 \times 1.367} \times 100\% = 0,82\% \quad (5)$$

3.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS TRANSPARENTES

3.2.1 Métodos

Os estudos referentes à tecnologia de módulos fotovoltaicos transparentes para edificações basearam-se na empresa espanhola Onyx Solar, líder mundial de mercado, presente também no Brasil.

3.2.2 Definição

Segundo a companhia, seu produto consiste em um módulo fotovoltaico capaz de gerar energia elétrica a partir da incidência de irradiação solar e mesmo assim garantir que as mesmas condições de isolamento térmico e acústico sejam mantidas quando comparadas às de uma fachada de pele de vidro convencional.

3.2.3 Aplicações e viabilidade técnica econômica e ambiental

A partir das informações dispostas neste trabalho referentes a tecnologia de módulos fotovoltaicos transparentes e das consultas realizadas na empresa multinacional espanhola Onyx Solar, é possível imaginar as diversas aplicações que estes equipamentos possuem quando integradas a edificações. Sendo assim, são apresentadas abaixo alguns projetos já implantados pela empresa antes mencionada, destacando sua aplicabilidade e viabilidade quanto ao ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

3.2.3.1 Telhado solar (*skylight*)

Os chamados *skylights* nada mais são do que estruturas de telhado que permitem a entrada de luz natural no ambiente. Pelo fato de a tecnologia em análise ser vazada, ela possibilita a função do telhado solar, ao mesmo tempo que gera energia para o edifício.

Analisando a revitalização do *Bell Labs* através da implementação de um *skylight*, localizado no estado de New Jersey, nos Estados Unidos da América. O empreendimento em sua totalidade possui cerca de 185 mil metros quadrados a partir do qual foram instalados mais de 5 mil metros quadrados de módulos fotovoltaicos transparentes de silício amorfo:

A partir dos dados levantados pela empresa desde o ano de sua inauguração (1982), destacam-se os seguintes números:

- Área Total do Empreendimento: 5.575 m²
- Energia Gerada Anualmente: 89.552 kWh
- Redução na Demanda de Energia de HVAC: 19%
- Taxa Interna de Retorno: 55%
- *Payback*: Menos de 2 anos

- Emissão de Carbono Evitada Anualmente: 60 toneladas
- Óleo Evitado Anualmente: 53 Barris (8.427 L)

A sigla HVAC mencionada anteriormente é derivada do termo *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* e trata-se de um processo composto formado para manter o ambiente interno de uma edificação confortável para seus usuários através de equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AIRLINK FILTROS, 2017).

3.2.3.2 Marquise de jardim

Neste caso, a Onyx Solar implantou seus módulos fotovoltaicos transparentes em uma marquise do parque Rodrigo Caro Gardens, localizado na cidade de Barcelona, na Espanha.

Este tipo de aplicação pode ser feito tanto em um espaço público, como também em uma área comum de uma edificação, possibilitando, tanto a população de modo geral quanto aos moradores de um edifício, redução nos gastos com energia elétrica, além de propiciar um ambiente mais agradável para seus usuários e propício para plantações abaixo das marquises.

Analogamente ao caso anterior, apresentam-se os seguintes dados deste empreendimento:

- Área Total do Empreendimento: 70 m²
- Energia Gerada Anualmente: 10.710 kWh
- Redução na Demanda de Energia de HVAC: 56%
- Taxa Interna de Retorno: 76%
- *Payback*: Menos de 2 anos
- Emissão de Carbono Evitada Anualmente: 7,2 toneladas
- Óleo Evitado Anualmente: 6 Barris (954 L)

3.2.3.4 Cobertura de telhado

Este caso assemelha-se muito ao primeiro item desta lista. Entretanto, é importante demonstrar que esta tecnologia também está sendo implantada no Brasil. Portanto, este item apresenta a implantação da Onyx Solar de módulos fotovoltaicos transparentes de silício amorfo no Aeroporto de Viracopos, localizado no estado de São Paulo, Brasil. Outro ponto importante de ressaltar é a combinação de uma estrutura metálica com vidros geradores de energia para a cobertura do edifício.

A partir das informações disponibilizadas pela Onyx, apresentam-se os seguintes dados sobre este empreendimento:

- Área Total do Empreendimento: 3.340 m²
- Energia Gerada Anualmente: 10.900 kWh
- Redução na Demanda de Energia de HVAC: 49%

- Taxa Interna de Retorno: 58%
- *Payback*: Menos de 2 anos
- Emissão de Carbono Evitada Anualmente: 120 toneladas

3.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COLORIDOS

Os painéis coloridos são módulos fotovoltaicos cristalinos compostos por uma camada de vidro colorido que dá um aspecto visual mais atraente aos tradicionais módulos.

Segundo a Swissinso, fabricante deste tipo de painel, a durabilidade dos sistemas e sua eficiência não são reduzidos, fazendo com que este tipo de tecnologia seja uma boa alternativa para as edificações, visto que a fachada de um prédio possui uma grande área que pode ser aproveitada para gerar energia.

3.3.1 Métodos

A viabilidade dos painéis coloridos foi feita utilizando como base resultados obtidos em diferentes edificações que utilizavam as placas coloridas da Swissinso. A base de dados utilizada foi fornecida pela empresa em questão.

Para a obtenção de quanto seria o custo de energia economizado nestas edificações, foi utilizado a engenharia reversa, partindo da potência instalada em cada edificação até chegar-se no valor economizado na conta de luz.

3.3.2 Recurso solar

Diante o fato de que a Swissinso possui obras espalhadas globalmente, escolhemos sete destas e utilizamos o *Global Solar Atlas* (2019) para obter o valor do GHI referente a cada uma.

As cidades utilizadas e seus índices GHI são, respectivamente:

- Préverenges, Switzerland, com 1.328 kWh/m² por ano, ou 3,64 kWh/m² por dia
- Dübendorf, Switzerland, com 1.207 kWh/m² por ano, ou 3,31 kWh/m² por dia
- Borås, Sweden, com 937 kWh/m² por ano, ou 2,57 kWh/m² por dia
- Bornholm, Denmark com 1.095 kWh/m² por ano, ou 3,00 kWh/m² por dia
- Copenhagen, Denmark com 1.010 kWh/m² por ano, ou 2,77 kWh/m² por dia
- Dubai, UAE com 2.117 kWh/m² por ano, ou 5,80 kWh/m² por dia
- Collombey, Switzerland com 1.300 kWh/m² por ano, ou 3,56 kWh/m² por dia

3.3.3 Configuração das telhas fotovoltaicas

Como os valores de potência gerada por cada edificação, assim como a área da instalação, foram fornecidos pela Swissinso, os cálculos partiram destes dados para no final obter-se a eficiência de cada obra.

Inicialmente começaremos com a cidade de Prévèrenge, Switzerland, a qual possui o índice de GHI igual a 3,64 kWh/m² por dia e, segundo a Swissinso, existe cerca de 141 m² de placas instaladas e com uma potência de aproximadamente 16.000 Wp. Dividindo os 16.000 Wp de potência pela área da obra que equivale a 141 m², chegamos ao valor de 113,48 Wp/m² de potência máxima.

Para o cálculo da eficiência, utilizaremos a fórmula abaixo, fornecida pela CRESESB (2014),

$$n = \frac{P_{MP}}{A \times G} \times 100\% \quad (6)$$

Onde:

n – Eficiência [%]

P_{MP} – Potência Máxima [Wp/m²]

A – Área [m²]

G – Irradiância Solar Incidente [W/m²]

Segundo a *World Meteorological Organization (WMO, 2014)*, o valor da Irradiância Solar Incidente na cidade em questão é de 1.367 W/m². Aplicando a potência instalada nesta obra, fornecido pela Swissinso, e $G = 1.367$ W/m² na equação (7), obtemos o valor referente a eficiência da estrutura.

$$n = \frac{113,48}{1 \times 1.367} \times 100\% = 8,30\% \quad (7)$$

Para o cálculo da energia gerada, iremos utilizar a seguinte fórmula.

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{MA}} \quad (8)$$

Onde:

P_{FV} – Potencia de pico do SFV [WP]

E – Energia $\left[\frac{Wh}{dia}\right]$

TD – Taxa de desempenho [adimensional]

HSP_{MA} – Média Diária Anual de HSP sobre o plano das telhas FV [h]

Isolando o valor de E, adotando uma taxa de desempenho em cerca de 70% e HSP igual a 3,64 kWh/m² por dia, obtemos o valor da energia gerada pelo sistema, conforme a fórmula (9).

$$E = P_{FV} \times HSP_{MA} \times TD = 113,48 \times 3,64 \times 0,7 = 289,00 \frac{Wh}{m^2 \times dia} \quad (9)$$

Sendo assim, para o projeto em questão, a energia gerada pelas placas fotovoltaicas coloridas foi de 289,00 Wh/m²/dia ou 1.222,49 kWh para o total de 141 m² de instalação.

Para as demais edificações, foi utilizado a mesma sequência de cálculos, variando apenas a potência instalada, assim como o GHI da cidade e a área da instalação.

3.3.4 Viabilidade econômica

Para o cálculo da viabilidade econômica desta tecnologia, foi utilizado o método de cálculo por fluxo de caixa, a fim de achar qual é a TIR (Taxa Interna de Retorno) da instalação de acordo com alguns parâmetros pré-definidos.

Visto que este trabalho em questão tem como objetivo encontrar melhorias no aproveitamento da geração de energia solar fotovoltaica em rede distribuída, a TIR calculada foi feita para diferentes cenários de acordo com o tipo de empreendimento, ou seja, se é um edifício comercial ou residencial. Para os modelos de edifício comercial entende-se que é a TIR referente a PJ (Pessoa Jurídica), enquanto o modelo para PF (Pessoa Física) seriam as residências.

3.3.4.1 Parâmetros

Os diferentes cenários calculados partiram da premissa que o investidor irá amortizar o pagamento da instalação ao longo de 30 anos, considerando ou não a utilização de capital de terceiros, assim como será utilizado os dados referentes ao Romande Energy Office, o qual possui uma área instalada de 141 m² e potência instalada em torno de 16.000 Wp.

O GHI utilizado será referente à cidade de São Paulo, na qual possui cerca de 4,70 kWh/m² por dia, além de considerar que o preço da energia na data em questão gira em torno de R\$ 0,40 o kWh e que o ano da instalação do sistema será 2019.

O custo da instalação utilizado foi de R\$ 1.800,00 por m², conforme informado pelo fabricante das telhas, a Swissinso.

3.3.4.2 Pessoa física

Nas alternativas de instalação do sistema em conjuntos residenciais, PF, o cenário com alavancagem financeira foi calculado de acordo com diferentes taxas cobradas pelos bancos brasileiros.

O cenário sem alavancagem financeira é composto por dois principais componentes que são a geração de energia pela instalação e o custo da instalação, amortizado ao longo de 30 anos.

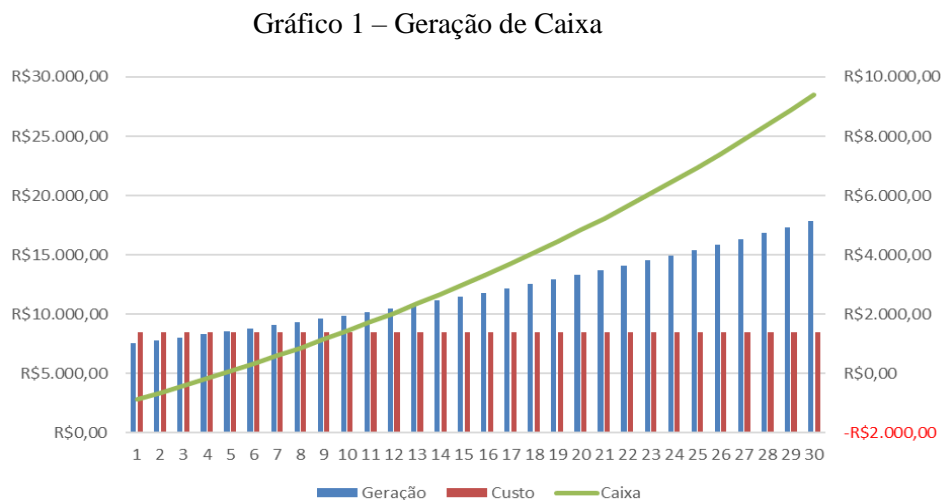
Para o cálculo da geração de energia foi calculada multiplicando-se a energia gerada pelo sistema com o valor da tarifa, R\$ 0,40 o kWh, multiplicado pela quantidade de meses em um ano. Feito isto, foi considerado que nos anos seguintes ao primeiro ano houve um aumento em 3% no valor da tarifa.

Os custos da instalação partiram do conceito de que o sistema será amortizado ao longo de 30 anos, conforme dito anteriormente. Sendo assim, multiplicando-se a área da construção pelo custo do metro quadro obteve-se o custo total da obra. O custo anual para o cenário sem alavancagem financeira foi feito dividindo-se o custo total da obra pela quantidade de anos que ela será amortizada.

O caixa final de cada período é a resultante entre a geração de energia subtraído do custo amortizado da instalação.

Após encontrado o valor do caixa no final de cada período é possível aplicar a fórmula da TIR e encontrar qual será o retorno do empreendimento.

O gráfico 1 abaixo apresenta o estudo do cenário ao longo dos 30 anos de amortização.



Fonte: Elaboração própria

Diante dos resultados obtidos, nota-se que durante os quatro primeiros anos da instalação o caixa resultante é negativo, fazendo com que apenas a partir do quinto ano a instalação dos módulos coloridos gire um caixa positivo ao investidor.

Neste cenário, caixa considerando PF sem recursos de terceiros, a TIR do empreendimento gira em torno de 29% para os 30 anos de amortização.

3.4 CÉLULAS ORGÂNICAS

Este tipo de tecnologia utiliza conhecimentos da eletrônica orgânica para conseguir desenvolver fachadas de vidro que sejam capazes de converter a irradiação solar em energia elétrica, melhorando o aproveitamento energético de grandes edificações e reduzindo a emissão de carbono na atmosfera.

Segundo o Centro Suíço de Eletrônica e Microtecnologia do Brasil (CSEM Brasil), devido a composição dos materiais utilizados nesta tecnologia acredita-se que a sua eficiência pode chegar até em 33,7% tornando-se, assim, uma das fontes mais eficientes em quesitos de conversão de irradiação solar em energia elétrica.

3.4.1 Métodos

A viabilidade das células orgânicas foi feita utilizando como base resultados obtidos em testes realizados pelo centro de pesquisa CSEM Brasil. A base de dados utilizada foi fornecida pela empresa em questão.

Para a obtenção de quanto seria o custo de energia economizado nestas edificações, foi utilizado a engenharia reversa, partindo da eficiência que cada célula possui até chegar-se no valor economizado na conta de luz.

3.4.2 Configuração das células orgânicas

Partindo de estudos realizados pela CSEM Brasil (2019), foi capaz de chegar a uma eficiência em torno de 11,28% com sistemas utilizando células orgânicas fabricadas em atmosfera comum, não inerte e utilizando a técnica de deposição de filmes finos denominada *bladecoating*. Esta técnica utiliza uma tecnologia que faz com que a cinética de secagem, assim como a morfologia dos filmes, sejam comparáveis às técnicas de rolo-a-rolo, método este utilizado na produção comercial de painéis.

Para este estudo, serão utilizados os valores de 11,28% e 10% de eficiência, a fim de analisarmos o potencial que esta tecnologia possui. Substituindo estes valores de eficiência pela fórmula (6), fornecida pela CRESESB (2014), e adotando que a Irradiância Solar Incidente gira em torno de 1.367 W/m², conseguimos achar os valores referentes a Potência Máxima gerada, conforme descrito na fórmula abaixo:

$$10\% = \frac{P_{MP}}{100 \times 1.367} \Rightarrow P_{MP} = 136,70 \text{ Wp} \quad (10)$$

Para o cálculo da energia gerada, iremos utilizar a seguinte fórmula.

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{MA}} \quad (11)$$

Onde:

P_{FV} – Potencia de pico do SFV [WP]

E – Energia $\left[\frac{Wh}{dia}\right]$

TD – Taxa de desempenho [adimensional]

HSP_{MA} – Média Diária Anual de HSP sobre o plano das telhas FV [h]

Isolando o valor de E, adotando uma taxa de desempenho em cerca de 70% e HSP igual a 4,61 kWh/m² por dia, índice este correspondente à cidade de São Paulo, obtemos o valor da energia gerada pelo sistema, conforme a fórmula (9).

$$E = P_{FV} \times HSP_{MA} \times TD = 136,70 \times 4,61 \times 0,7 = 441,22 \frac{Wh}{m^2 \times dia} \quad (12)$$

Sendo assim, as células orgânicas comercializadas atualmente possuem o potencial de gerar energia em cerca de 441,22 Wh/m²/dia ou 1.323,67 kWh para cada 100 m² de instalação.

Repetindo-se as etapas de cálculo, porém para uma eficiência no valor de 11,28% e mantendo as demais variáveis constantes, chegamos à um valor de energia gerada em torno de 497,70 Wh/m²/dia ou 1.493,10 kWh para cada 100 m².

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações dispostas neste trabalho apresentam os principais conceitos relacionados à energia solar fotovoltaica e seus sistemas de geração integrados a edificações, com o objetivo de analisar a otimização de sua eficiência energética a partir de soluções de engenharia em projetos e inovações contínuas sobre as tecnologias existentes.

Os levantamentos realizados e os dados apresentados foram referenciados em pesquisas bibliográficas de órgãos públicos, agências reguladoras, empresas do setor, visitas técnicas e eventos relacionados ao tema.

Além de detalhar como o processo de conversão de irradiação solar em energia elétrica ocorre, este trabalho também conceitua o sistema gerador fotovoltaico em si, seus principais componentes e sua integração às edificações.

A partir de uma análise sobre todos os conhecimentos coletados durante a realização deste trabalho, sintetizados na seção de resultados, foi possível identificar e reconhecer os benefícios sociais, ambientais e econômicos decorrentes da utilização de sistemas geradores solares em edificações. Muito disso deve-se ao fato de ser uma fonte de energia limpa, renovável e capaz de aumentar o número de oportunidades de emprego para a população de forma geral, retornar ao investidor o capital aportado em um prazo consideravelmente curto e atenuar o impacto causado por gases do efeito estufa através da redução da pegada de carbono.

Apesar de seus ganhos para a sociedade de forma geral, a energia solar apresenta uma eficiência energética baixa, tornando necessária a otimização do processo de geração de energia elétrica através do desenvolvimento técnico de engenharia e aprimoramentos das tecnologias relacionadas ao setor existentes no mercado. Além disso, ressalta-se a importância também de inovar neste segmento, no sentido de ampliar cada vez mais as diferentes aplicações destes sistemas em edificações.

REFERÊNCIAS

CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=4>. Acesso em: 06 maio 2019.

NASA. **Global Energy Budget**. 2015. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov/education/lesson-plans/global-energy-budget>>. Acesso em: 11 maio 2019.

GUIMARÃES, Gabriel. **Entenda as diferenças entre o sistema isolado e o conectado à rede**. 2018. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-isolado-ou-conectado/>>. Acesso em: 10 maio 2019.

GRIDSOLARIS. **SISTEMAS OFF-GRID**. 2018. Disponível em: <<http://gridsolaris.com.br/portal/servicos-2/sistema-off-grid/>>. Acesso em: 10 maio 2019.

LUZ SOLAR. **Como funciona o sistema fotovoltaico?** Disponível em: <<https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em: 09 maio 2019.

SENSUS ENERGY. **What is the difference between BAPV and BIPV?** Disponível em: <http://sensusenergy.com/Faq_quare/difference-bapv-bipv/>. Acesso em: 12 maio 2019.

ENERGYGLASS. **BIPV vs BAPV**. Disponível em: <<https://energyglass.gruppostg.com/en/building-integrated-photovoltaic/bipv-vs-bapv.html>>. Acesso em: 11 maio 2019.

SEMINÁRIO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 2014, Brasília. **INTEGRAÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM EDIFICAÇÃO**. Brasília: Fotovoltaicausc, 2014. 59 p. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/4094658-Integracao-da-energia-solar-fotovoltaica-em-edificacoes.html>>. Acesso em: 11 maio 2019.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Labsolar, 2004. 114 p.

ASTRA SOLAR. **Energia solar: o que considerar no projeto arquitetônico**. Disponível em: <<https://astrasolar.com.br/energia-solar/energia-solar-no-projeto-arquitetonico/>>. Acesso em: 11 maio 2019.

ASTRA SOLAR. **Energia solar integrada à arquitetura**. Disponível em: <<https://astrasolar.com.br/energia-solar/energia-solar-arquitetura/>>. Acesso em: 12 maio 2019.

SOLARPRIME. **Energia solar no projeto arquitetônico: como funciona?** Disponível em: <<https://solarprime.com.br/blog/energia-solar-no-projeto-arquitetonico-como-funciona/>>. Acesso em: 12 maio 2019.

INCENTIVE SOLAR. **Energia solar em projetos arquitetônicos e suas aplicações**. Disponível em: <<https://incentivesolar.com.br/energia-solar-em-projetos-arquiteticos-e-suas-aplicacoes/>>. Acesso em: 12 maio 2019.

REIS, Pedro. **Telhas solares fotovoltaicas uma aposta no futuro**. 2018. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/telhas-solares-fotovoltaicas-aposta-futuro/>>. Acesso em: 26 maio 2019.

FABRILAR. **Telhas Solares**. 2018. Disponível em: <<https://www.fabrilar.com.br/telha-solar/>>. Acesso em: 26 maio 2019.

REIS, Pedro. **Em que consiste um sistema seguidor solar fotovoltaico**. 2016. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/em-que-consiste-sistema-seguidor-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 20 maio 2019.

REIS, Pedro. **Diferenças entre seguidores solares de eixo único e eixo duplo**. 2017. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/diferencas-seguidores-solares-eixo-unico-eixo-duplo/>>. Acesso em: 20 maio 2019.

PORTAL SOLAR. **SEGUIDOR SOLAR – TRACKER: VANTAGENS E DESVANTAGENS PARTE 1**. 2016. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/seguidor-solar---tracker-vantagens-e-desvantagens-parte-1.html>>. Acesso em: 26 maio 2019.

PAIVA, Cida. **Tecnologia BRASIL SAI NA FRENTE COM ENERGIA SOLAR OPV**. 2017. Disponível em: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/tecnologia-brasil-sai-na-frente-com-energia-solar-opv>>. Acesso em: 18 maio 2019.

SANTOS, ÍsisPortolandos. **INTEGRAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E SUA CONTRIBUIÇÃO EM UM ALIMENTADOR DE ENERGIA DE ZONA URBANA MISTA**. 2009. 126 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FERREIRA, André dos Santos; FENATO, Alexandre Junior. **POTENCIAL IMPACTO AMBIENTAL FOTOVOLTAICA**. 2017. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/ambiental-fotovoltaica>>. Acesso em: 14 set. 2017.

FREIRE, Felipe. **Como funciona a célula fotovoltaica**. Disponível em: <<http://shareenergy.com.br/como-funciona-celula-fotovoltaica/>>. Acesso em: 01 out. 2017.

GEODESING. **CONHECIMENTO BÁSICO SOBRE O RECURSO SOLAR**. 2016. Disponível em: <http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html>. Acesso em: 26 maio 2019.

MARQUES FILHO,. **Regime de radiação solar e características da vegetação**. 1997. 15 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Amazonia, 1997. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/18665037/v27n2a05.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1559107097&Signature=ggzBULEyLzMOt2%2FSU%2FblErVdHIM%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DRegime_de_radiacao_solar_e_caracteristic.pdf>. Acesso em: 26 maio 2019.

NEOSOLAR. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>>. Acesso em: 20 maio 2019.

ENERGIA SOLAR. **Módulo fotovoltaico**. 2018. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/definicoes/modulo-ou-painel-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 26 maio 2019.

SOLSTICIO ENERGIA. **COMO FUNCIONA UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA?** 2017. Disponível em: <<https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/>>. Acesso em: 26 maio 2019.

LAU, Lucas. **Estruturas para sistemas fotovoltaicos: Tipos e características importantes**. Disponível em: <<http://shareenergy.com.br/estruturas-para-sistemas-fotovoltaicos-tipos-e-caracteristicas-importantes/>>. Acesso em: 24 maio 2019.

SEEG. **Emissões de GEE no Brasil e suas Implicações para Políticas Públicas e a Contribuição Brasileira para o Acordo de Paris**. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/08/Relatorios-SEEG-2018-Sintese-FINAL-v1.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2019.

ABESCO. **Residências Podem Deixar de Emitir 1 Tonelada de CO2 por Ano com Microgeração Fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/novidade/residencias-podem-deixar-de-emitir-1-tonelada-de-co2-por-ano-com-microgeracao-fotovoltaica/>>. Acesso em: 27 maio 2019.

GREENER. *Strategic Study Utility Scale* 2019. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/strategic-study-utility-scale-brazilian-pv-market-2019/>>. Acesso em: 27 maio 2019.

PORTAL SOLAR. **Brasil Atinge 7 mil Empresas de Energia Solar e Geração Distribuída**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/brasil-atinge-7-mil-empresas-de-energia-solar-e-geracao-distribuida.html>>. Acesso em: 27 maio 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL nº 482 / 2012**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2019.

SOLARPRIME (Ed.). **ENERGIA SOLAR NO PROJETO ARQUITETÔNICO: COMO FUNCIONA?** 2019. Disponível em: <<http://solarprime.com.br/blog/energia-solar-no-projeto-arquitetonico-como-funciona/>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Weather**. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en>>. Acesso em: 10 set. 2019.

Solar Energy Local. **Solar Energy & Solar Power in the U.S.** Disponível em: <<https://www.solarenergylocal.com>>. Acesso em: 10 set. 2019.

RAGNINI, Giovani. **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE TELHAS FOTOVOLTAICAS CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO EM NOVAS RESIDÊNCIAS EFICIENTES**. 2018. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/tcc/2018/1s/GIOVANI%20RAGNINI/TCC%20-%20Giovani%20Ragnini.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.

TESLA. **Energy**. Disponível em: <<https://www.tesla.com/solarroof?redirect=no>>. Acesso em: 15 set. 2019.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer e dedicar esta dissertação às seguintes pessoas e instituições:

A Universidade Presbiteriana Mackenzie pela oportunidade de fazer o curso de Engenharia Civil, ao seu corpo docente, direção e administração que oportunizam a janela que hoje

vislumbramos um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

A todos os professores e funcionários desta instituição por nos proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetivamente da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a nós, não somente por terem nos ensinado, mas por terem feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão nossos eternos agradecimentos.

Ao Professor Doutor Fábio Raia, pela orientação, apoio e confiança à elaboração deste trabalho.

Ao Professor Edson, pelo apoio elaboração deste trabalho e pelo aceite ao nosso convite para ser nosso segundo avaliador de banca.

Aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Às instituições Universidade Estadual de Campinas e Pontífica Universidade Católica de Campinas por nos receberem em suas instalações para a realização de visitas técnicas.

Ao instituto de pesquisa MackGraphe, e ao Professor Dunieskys Larrudé, por nos receber para entrevistas e visita aos laboratório para fins acadêmicos.

Ao Mestre Bruno Wilmer e sua empresa Solstício Energia, por nos receber em suas instalações para entrevistas para fins de elaboração deste trabalho e por aceitar nosso convite como terceiro avaliador de nossa banca.

Ao Engenheiro Antônio Teixeira e a empresa EDP Renováveis por nos receberem em suas instalações para entrevistas com fins de elaboração deste trabalho.