



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CMPF

TIAGO EMANUEL MAIA FREIRE

INTEGRAÇÃO DE PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO À COBERTURA VERDE: UMA
VISÃO GERAL

PAU DOS FERROS - RN
2021

TIAGO EMANUEL MAIA FREIRE

INTEGRAÇÃO DE PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO À COBERTURA VERDE: UMA
VISÃO GERAL

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Cecilio Martins de
Sousa Neto

Coorientador: Prof. Dr. Wesley de Oliveira
Santos

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do autor, sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu respectivo autor sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo autor.

F866i Freire, Tiago Emanuel Maia.
Integração de painel solar fotovoltaico à
cobertura verde: uma visão geral / Tiago Emanuel
Maia Freire. - 2021.
58 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Cecilio Martins de
Sousa Neto.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Energia Fotovoltaica. 2. Telhado Verde. 3.
Integração de Sistemas. 4. Célula Solar
Fotovoltaica. 5. Agrovoltaiico . I. Sousa Neto,
Prof. Dr. Cecilio Martins de , orient. II. Título.

TIAGO EMANUEL MAIA FREIRE

**INTEGRAÇÃO DE PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO À COBERTURA VERDE:
UMA VISÃO GERAL**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, *Campus* de Pau dos Ferros, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 28/05/2021

BANCA EXAMINADORA

CECILIO MARTINS DE SOUSA
NETO:06286737448

Assinado de forma digital por CECILIO
MARTINS DE SOUSA NETO:06286737448
Dados: 2021.05.30 20:45:44 -03'00'

Prof. Dr. Cecilio Martins de Sousa Neto – UFERSA
Presidente

FRANCISCO CARLOS GURGEL DA
SILVA SEGUNDO:06062106444

Assinado de forma digital por FRANCISCO CARLOS
GURGEL DA SILVA SEGUNDO:06062106444
Dados: 2021.05.30 20:59:24 -03'00'

Prof. Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo – UFERSA
Primeiro Membro

ALEX PINHEIRO
FEITOSA:01139802488

Assinado de forma digital por ALEX
PINHEIRO FEITOSA:01139802488
Dados: 2021.05.31 08:45:43 -03'00'

Prof. Dr. Alex Pinheiro Feitosa – UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço Àquele que é o criador de todas as coisas, conhecidas e desconhecidas. O Alfa e o Ômega, o Primeiro e o Último, o Princípio e o Fim.

Agradeço ao professor e orientador Dr. Cecilio Martins.

Agradeço aos membros da banca pela contribuição concedida para o enriquecimento do trabalho.

Bem-aventurado aquele que, tendo aprendido a triunfar sobre todas as paixões, põe sua energia no cumprimento das tarefas que a vida impõe, sem pensar em sucesso. Deixe o motivo estar na ação, não no resultado. Não seja um daqueles cuja fonte de ação é a esperança de recompensa. [...] tal equanimidade é atenção às coisas intelectuais. Busque refúgio apenas na sabedoria, pois prender-se tão-somente aos resultados é fonte de infelicidade e de miséria. (Ludwig Van Beethoven)

RESUMO

Na crescente necessidade de investimento em fontes de energia sustentáveis e descentralizadas para o mundo, a energia solar fotovoltaica, de forma ascendente vem ganhado contornos importantes na matriz energética mundial. Em geral, o rendimento de sistemas fotovoltaicos é influenciado pela irradiância solar e pela temperatura em geral, nesse sentido a cobertura verde insere-se como uma formidável coadjuvante na concretização de uma unificação sistêmica, sendo capaz de resfriar o ambiente próximo, gerando um microclima, caracterizado por uma atenuação da temperatura devido à singulares atributos. De forma resultante, foi possível conferir o beneficiamento do telhado verde no resfriamento de painéis solares fotovoltaicos, culminando numa maior produtividade energética, além de uma série de benefícios adicionais de caráter socioambiental.

Palavras-Chave: Energia Fotovoltaica, Telhado Verde, Integração de Sistemas.

ABSTRACT

In the growing need for investment in sustainable and decentralized energy sources for the world, photovoltaic solar energy has increasingly gained importance in the global energy matrix. In general, the performance of photovoltaic systems is influenced by solar irradiance and temperature in general, in this sense, the green roof is a formidable coadjutant in the realization of a systemic unification, being able to cool the surrounding environment, generating a microclimate, characterized by an attenuation of temperature due to peculiar attributes. As a result, it was possible to see the improvement of the green roof in the cooling of photovoltaic solar panels, culminating in greater energy productivity, in addition to a series of additional benefits of a socio-environmental nature.

Keywords: Photovoltaic Energy, Green Roof, Systems Integration.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APINE	Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Energia Elétrica
a-Si	Silício Amorfo
CdTe	Telureto de Cadmo
CIS	Disseleneto de Cobre Índio
COP 21	21ª Conferência das Partes / Conference of the Parties
c-Si	Silício Cristalino
FV	Fotovoltaico
GaAs	Arsenieto de Gálio
IAF	Índice de Área Foliar
IBI	Instituto Brasileiro de Impermeabilização
Icc	Corrente de Curto-Circuito
ICU	Ilha de Calor Urbana
IGRA	International Green Roof Association
ONU	Organização das Nações Unidas
PCE	Power Conversion Efficiency (Eficiências de Conversão de Energia)
PVC	Policloreto de Vinila
PQs	Pontos Quânticos
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PV	Photovoltaic (Fotovoltaico)
PVT	Photo Voltaic Thermal
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado
Vca	Tensão de Circuito Aberto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS GERAIS	10
3 REVISÃO TEÓRICA	11
3.1 CONVERSÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	13
3.1.1 SEMICONDUTORES	13
3.1.2 CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	16
3.2 CONFIGURAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	20
3.2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS.....	20
3.2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE	21
3.2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HÍBRIDOS.....	22
3.3 A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO DESEMPENHO DOS PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS	23
4 TELHADO VERDE.....	28
4.1 CAMADAS CONSTITUTIVAS	35
4.2 TIPOS DE TELHADOS VERDES	38
5 SISTEMA DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADO À COBERTURA VERDE	40
5.1 SISTEMA AGROVOLTAICO E INTEGRAÇÃO EM SOLO	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de diversificar a matriz energética mundial, além de uma tendência de cunho ambiental, também demonstra um certo apelo econômico envolvido. Portanto, nesse panorama, mostram-se ascendentes as fontes de energia renováveis e sustentáveis, adquirindo destaque nas políticas públicas do setor energético, visando sobretudo a diminuição da dependência de fontes não renováveis. Diante disso, a energia solar fotovoltaica vem se popularizando, tornando-se mais acessível, sendo assiduamente implementada em residências e em diferentes setores, tais como o setor industrial e comercial.

Os painéis solares nas condições típicas de seu ambiente trabalho e no decorrer do seu funcionamento natural, têm sua temperatura elevada, dessa forma, a alta temperatura diminui a produtividade, podendo atingir até 25% de atenuação. Pode-se taxar o valor de redução de quase meio por cento (-0,45%) por cada grau Celsius aumentado nas células fotovoltaicas de silício cristalino, conforme observado em Sam; Hui; Chan (2011); Meral; Dinçer, (2011); Deltau (2015).

Comumente instaladas em telhados, os painéis solares podem ser integrados a outro sistema idôneo, o telhado verde, que além de seu agregado aporte socioambiental, contribui para maior produtividade energética das placas fotovoltaicas. Ressalta-se que, para usinas fotovoltaicas instaladas em solo, a supramencionada concepção pode ser aplicada, onde uma combinação análoga, pode ser observada no denominado sistema agrovoltáico, como bem explanado por Melo Filho; Matos, (2018); Higgins (2019).

Contudo, na presença do telhado verde em integração, a vegetação envolvida nesse aporte reduz a temperatura interna das edificações recebedoras, bem como, a temperatura externa, conforme Perussi (2016); Peck *et al.* (1999), o que resultará em um menor aquecimento dos painéis, consequentemente numa melhor produtividade energética em todo sistema fotovoltaico. Outrossim, essa combinação maximiza o impacto socioambiental envolvido, contribuindo para uma maior amplitude no combate ao aquecimento global, favorecimento do reequilíbrio ecológico, na rentabilidade dos sistemas fotovoltaicos, entre outros aditamentos.

2 OBJETIVOS GERAIS

Evidenciar no presente trabalho os aditamentos da integração de painéis solares fotovoltaicos ao telhado verde, legitimar toda uma gama de vantagens dessa ajuda mútua, bem como indefectíveis benefícios adicionais dessa tecnologia verde, além de exemplificar formas práticas e pertinentes de implementação da cobertura verde mediante distintas conformações.

3 REVISÃO TEÓRICA

A energia é algo fundamental na história da humanidade, antes do surgimento, em meados do século XVIII, da primeira máquina a vapor em meio à revolução têxtil, que impetrava energia na forma de calor por meio da queima do carvão, outrora, apenas por meio de mecanismos rudimentares o homem obtinha energia para suprir suas necessidades, como exemplo, através de moinhos de vento ou d'água, tração animal, entre outros, como observado em Assis (2010).

A demanda mundial por eletricidade cresce rapidamente, mesmo considerando os impactos negativos que acompanham algumas formas de geração convencional, tais como a nuclear e a combustível fóssil. Este fato levou à necessidade de eletricidade alternativa, com os produtores considerando os recursos renováveis para suprir a demanda sem agregar danos ao ambiente. Outro fator estimulante para novas fontes de energia renovável é a desregulamentação das atividades do mercado de energia elétrica, que incrementa o desenvolvimento de pequenos produtores e também a competitividade entre as grandes concessionárias (LOPEZ, 2012, p. 21).

A eletricidade está em toda parte, em nossos corpos, como perscrutado em parte pela eletrofisiologia; na natureza, em muitos de seus fenômenos e seres vivos, como plantas e animais; está em cada átomo que compõem toda a matéria conhecida, enfim, é parte integrante não somente do homem e seu conhecido mundo, mas de todo universo.

Lopez (2012), enfatiza que em igualdade de essencialidade com serviços de saneamento, telecomunicação, água e transporte, a energia elétrica compõe a infraestrutura elementar para desenvolvimento da sociedade como um todo, alçando pilares como tecnologia, economia, social, político e ambiental.

Nas últimas décadas vem se discutindo a importância das energias alternativas e renováveis, portanto, considerar a geração de energia no âmbito do desenvolvimento sustentável se tornou algo imperativo, haja vista que a diversificação da matriz elétrica no mundo é encarada como algo não apenas

ecologicamente promissora, mas economicamente também. Além disso, é ressoante o fato que a energia solar representa a mais abundante fonte de energia em nosso planeta e a menos poluente. O avanço dessa tecnologia no setor energético em geral, favorece sua democratização, tornando-a acessível não apenas no âmbito industrial ou governamental, mas no pessoal, por conseguinte, pequenos produtores domésticos surgem exponencialmente em todo mundo.

Como toda luz do sol está universalmente disponível, os dispositivos fotovoltaicos podem fornecer eletricidade sempre que necessário. Com essa fonte de energia durará centenas de milhares de anos e é muito difícil interferir no seu fornecimento. Muitos acreditam que as células fotovoltaicas (ou sistemas fotovoltaicos – FV) se tornarão a maior fonte de energia no mundo no longo prazo (ROAF; FUENTES; REES, 2014, p. 23).

Imperativa a qualquer tecnologia, as pesquisas são vitais para seu contínuo aperfeiçoamento, isto posto, a literatura científica é enfática ao afirmar que as altas temperaturas influenciam negativamente no funcionamento das células solares, nesse contexto, o sistema de telhado verde mostra-se uma ferramenta eficaz de otimização e aperfeiçoamento, reduzindo a temperatura e seus efeitos nocivos, entre outros benefícios quando integrado aos sistemas fotovoltaicos, conforme análise à Osman; Li; Zhen (2018); Melo Filho; Matos (2018); Higgins *et al.* (2019).

Em conformidade com essa união sistêmica, contempla-se o desenvolvimento do sincretismo entre energia solar fotovoltaica e a agricultura convencional ao dividirem o mesmo espaço físico em busca de uma mutualidade de benefícios, fato de suma importância, principalmente diante da necessidade global de expansão em novas fontes de energia renovável, dessa maneira, estabelecem-se os sistemas agrovoltaicos, conforme observação à Higgins (2019); Dupraz *et al.* (2011).

3.1 CONVERSÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A conversão fotovoltaica consiste na transformação de energia contida na luz, em eletricidade, sendo os materiais fotocondutores fundamentais nesse processo, visto que suas propriedades de condutividade elétricas alteram-se na presença de radiação eletromagnética, conforme explanado por Lopez (2012); Zilles *et al.* (2012); Lima *et al.* (2020).

Inerente a essa tecnologia e seu peculiar fenômeno físico, destacam-se os semicondutores, matérias compostos de elementos capazes de desencadear o processo de conversão supramencionado, que por sua vez, constituem as células solares.

De forma destacável, a energia fotovoltaica é uma das fontes sustentáveis que menos impactam prejudicialmente o meio ambiente, todavia, no âmbito dos painéis fotovoltaicos, esses impactos podem ser observados em duas circunstâncias, na produção das células solares que compõem os painéis, e na necessidade de descarte ao final de sua vida útil, esta que, para os primeiros modelos comercializados, é de aproximadamente 30 anos, Oliveira (2017).

Os sistemas fotovoltaicos interligados à rede emitem muito menos gás carbônico (60-150g CO₂/kWh gerado) do que as melhores centrais fósseis da atualidade, supridas com gás natural. Se a redução do consumo de energia, no processo de fabricação de células, se concretizasse com o uso de silício grau solar, os sistemas fotovoltaicos interligados à rede poderiam operar com níveis tão baixos de emissão com 30g/kWh, números próximos das hidrelétricas com densidades de potência relativamente altas (OLIVEIRA, Ana, 2017, p. 53).

3.1.1 SEMICONDUTORES

De acordo com Fadigas (2012); Lima *et al.* (2020), existentes na natureza, os materiais semicondutores, são assim classificados por possuírem uma banda de

valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução totalmente vazia quando ambas estão em temperaturas muito baixas. Um comportamento peculiar desse material é o aumento de sua condutividade concomitantemente à elevação da temperatura; e o surgimento de um fluxo de elétrons de uma banda à outra, quando exposto à incidência de luz.

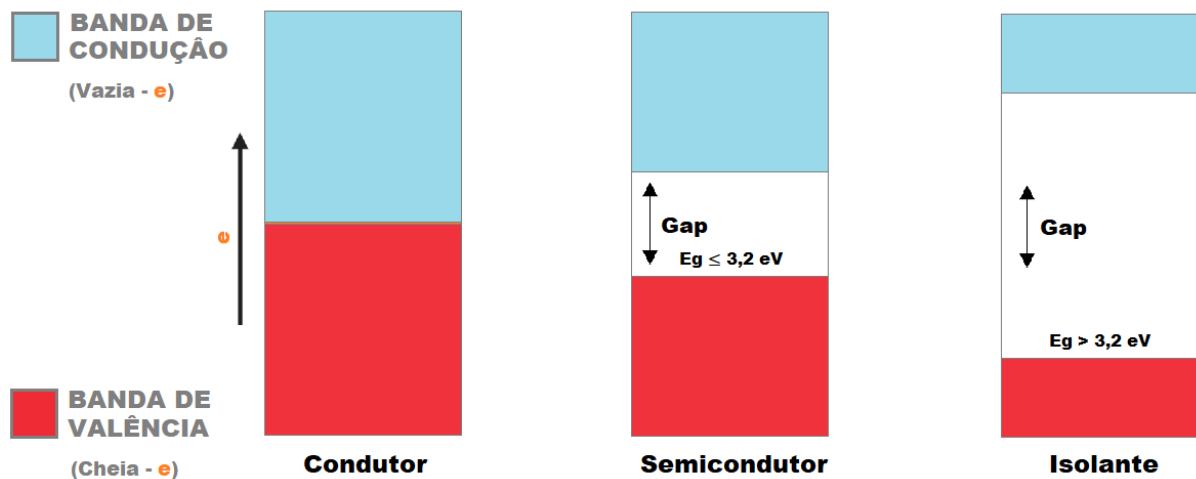
O semicondutor possui um nível de condutividade intermediário entre um material isolante e um material condutor. Convém-se dividir o semicondutor em três partes, banda de valência, que está cheia (elétrons); banda de condução, totalmente vazia (elétrons); e a banda proibida, da ordem de um elétron volts (1 eV) à 0 Kelvin (-273,15 °C), também chamada de *gap*, que corresponde à diferença de energia entre as duas primeiras partes. Contudo, quando esse material tem sua temperatura aumentada, o *gap* passa a se comportar como um condutor. A banda de valência ao receber a radiação eletromagnética da luz visível por exemplo, os fótons nela contidos fazem com que os elétrons nessa camada saltem para a banda de condução, desde que a energia envolvida supere o valor elétrico do *gap*, fazendo surgir assim, uma corrente elétrica, como bem explanado por Ghosh (2018); Oliveira T. (2013); Fadigas (2012).

Conforme Peruzzo (2012), no material condutor, a exemplo dos metais, a diferença entre as bandas, denominada banda proibida, é mínima, pois possuem uma banda semipreenchida, de modo que o nível preenchido está bem próximo do nível vazio, facilitando o elétron mover-se; no material isolante, por exemplo, essa diferença é bem grande, o que impede que um campo elétrico estabeleça uma corrente nesse material, enquanto que, no semicondutor é media, porém, é necessário apenas uma pequena quantidade de energia para facilitar a típica transição de elétrons.

Uma banda proibida entre duas camadas eletrônicas é chamada de Gap de energia. O gap determina a quantidade de energia potencial necessária para que um elétron de uma determinada camada possa “pular” para uma outra camada. Normalmente a energia associada a um elétron é medida em eV (elétron.volt), onde: $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ (OLIVEIRA, T., 2020, p. 8).

Em análise à Ghosh (2018); Oliveira T. (2013); Godoy (2002); Dias (1991), cada material apresenta um perfil peculiar de *gap* influenciando diretamente na sua condutividade. A energia do *gap* é representada na forma abreviada por E_g , que por sua vez, define o valor divisório entre isolantes e semicondutores, sendo convencionalmente usualmente por parte da literatura científica especializada em 3,2 eV. Para os semicondutores há pequenas variações de acordo com o material, por exemplo, o Antimoneto de índio (InSb) com $E_g = 0,17\text{eV}$, o Germânio (Ge) possui $E_g = 0,67\text{eV}$, o Silício (Si) possui $E_g = 1,1\text{eV}$, Arsenieto de gálio (GaAs) tem $E_g = 1,41\text{eV}$. Observa-se na figura 1 a seguir, que um semicondutor possui valores mínimos de *gap* em elétron-volts até máximos 3,2.

Figura 1 – Características do *gap* no material condutor, semicondutor e isolante



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Por essa importante característica, semicondutores são empregados na confecção de células solares fotovoltaicas, quando unidas constituem os módulos solares fotovoltaicos, um dos mais promissores artifícios do mundo moderno para geração de energia de forma limpa e sustentável. Para Fadigas (2012), os fótons excitam os elétrons que se transferem da banda de valência para a banda de condução, todavia, para efetiva produção de energia é necessária uma apropriada estrutura para que os elétrons excitados sejam coletados, o que geraria uma corrente útil.

É importante enfatizar que pode-se classificar os semicondutores em intrínseco e extrínseco. O semicondutor intrínseco, é caracterizado por apresentar

alto grau de pureza, seus típicos átomos tendem à estabilidade e ao equilíbrio através do compartilhamento de elétrons, formando um cristal semiconductor, devido a isso, apresenta pouca eficiência para fins de conversão fotovoltaica. O extrínseco, é o semiconductor que passou por uma dopagem ou inserção de impurezas, atrelando-lhe diferentes materiais com átomos de 3 ou 5 elétrons na camada de valência, em outras palavras, trivalentes ou pentavalentes, conforme observância à Boylestad; Nashelsky (2013); Fadigas (2012); Peruzzo (2012); Lima *et al.* (2020).

Na dopagem tipo n (negativa), materiais pentavalentes são acrescentados, saturando quimicamente a estrutura, desta forma, surgem elétrons livres; na dopagem tipo p (positiva), materiais trivalentes são acrescentados, gerando lacunas numa segunda estrutura devido à carência de elétrons, doravante, ao juntar ambas as estruturas, teremos a junção p-n, que devido ao desequilíbrio estrategicamente concebido entre as partes, favorece o surgimento de um fluxo de elétrons mais promissor, especialmente com a incidência da luz solar, excitando os elétrons.

A conversão solar em potência elétrica requer a geração de ambas cargas negativas e positivas bem como uma diferença de potencial que possa direcionar estas cargas a um circuito elétrico externo. Uma comparação interessante feita por K. Petritsch relaciona o funcionamento de uma célula solar a uma “bomba de elétrons movida à luz solar”: a altura máxima de elétrons que é “bombeada” é igual ao maior valor de tensão que a célula pode fornecer (ou seja, a tensão de circuito aberto) e a corrente máxima que atravessa a célula (corrente de curto circuito) é determinada pela “taxa de bombeamento” (CANESTRARO, 2010, p. 54).

3.1.2 CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA

As primeiras células solares foram desenvolvidas a partir do selênio em 1883 pelo inventor e engenheiro estadunidense Charles Fritts, porém, sua eficiência era muito baixa. No século seguinte, em 1954, os Laboratórios Bell apresentavam a primeira célula solar de alta potência, então devido ao sucesso que a tecnologia causara, em pouco tempo passaram a ser comercializadas (MELO, 2016 *apud* SHOCKLEY e QUEISSER, 1961).

A tecnologia de coleta de energia solar vem juntando esforços do design de materiais, engenharia de dispositivos, engenharia de banda de energia, da otimização de morfologia e estudo de mecanismos, com intuito de gerar células solares com maior Eficiências de Conversão de Energia (PCE, sigla em inglês). Alguns métodos são bastantes utilizados, tais como a heteroestrutura, que combina semicondutores com diferentes propriedades em um único material, oferecendo um controle exclusivo dos níveis de energia de elétrons e buracos em todo o dispositivo; a halogenação, que consiste na adição de halogênios (grupo 17 da tabela periódica) nas unidades receptoras de elétrons para aumentar os efeitos da transferência de carga intramolecular, entre outros, conforme análise à ZHAO *et al.* (2019); Bueno *et al.* (2019); Cui *et al.* (2019).

A heteroestrutura é um sistema no qual materiais de diferentes composições ou estruturas compartilham a mesma interface, denominada heterojunção. Esse sistema permite o controle de diversos parâmetros fundamentais em tecnologias envolvendo semicondutores, tais como band gap, mobilidade efetiva de portadores de massa e carga, índice de refração e outros (BUENO *et al.*, 2019, p. 661).

Figura 2 – Célula solar fotovoltaica padrão.



Fonte: PORTAL SOLAR (2019b).

Segundo Lopez (2012), os principais materiais empregados na fabricação de determinados tipos de células fotovoltaicas é o silício cristalino (c-Si), sendo o mais empregado, chegando a 95% do mercado e com eficiência entre 14% e 22%; Silício

amorfo (a-Si), sendo uma forma não cristalina do silício, é usado quando é necessário uma pequena produção de energia, como em alguns dispositivos eletrônicos, possui eficiência máxima de 9%; disseleneto de cobre Índio (CIGS), possui rendimento de 13%; arsenieto de gálio (GaAs), considerada um dos materiais mais eficientes, chegando a 28% de rendimento; telureto de cádmio (CdTe), composto semiconductor formado de cádmio e telúrio, não muito eficiente, mas trabalham bem em altas temperaturas. Na figura 3, observa-se além das células solares, os demais componentes de um painel solar padrão.

O semiconductor mais utilizado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons de ligação que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará sobrando, fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n (FADIGAS, 2012, p. 29).

Figura 3 – Camadas constituintes de um painel solar padrão



Fonte: PORTAL SOLAR (2019c), adaptado pelo autor.

Para Ely e Swart (2014); Marques (2014); Sonai *et al.* (2015); Melo (2016), diferentes tipos de células solares permitem uma usual classificação que as dividem por “geração”. As denominadas células da primeira geração são produzidas em

silício na forma mono ou policristalina, também chamadas de células de *waffers*, passam pelo típico processo de junção p-n de silício ou homojunção, o qual unicamente dopantes são utilizados entre um mesmo material semiconductor. Essa geração apresenta um ponto negativo, um coeficiente de absorção baixo, o que exige de forma compensatória uma espessura relativamente maior do material, podendo chegar à 500 micra ou 0,5 milímetros.

A segunda geração é estabelecida por filmes inorgânicos, por exemplo, disseleneto de cobre e índio (CIS), telureto de cádmio (CdTe) e o silício amorfo (a-Si), possuem inúmeras técnicas de confecção, sendo as mais comuns a deposição por vapor e, eletrodeposição, que consiste em depositar o material semiconductor sobre um substrato de vidro, metal ou plástico, na forma de filmes. Essa geração também é caracterizada pelo uso de matérias amorfas que tipicamente possuem um coeficiente de absorção muito maior que seus similares cristalinos, por isso, uma menor espessura é aplicável.

A terceira geração é marcada pelas recentes descobertas e inovações na área. Isso envolve as células sensibilizadas por corantes, do inglês: *Dye Sensitized Solar Cells* – (DSSC), ou simplesmente células de Grätzel, que de forma atípica, os fótons são absorvidos por moléculas do corante, o nome Grätzel é devido à Michael Grätzel que juntamente com Brian O'Regan em 1991 desenvolveram filmes finos de dióxido de titânio (TiO₂) sensibilizados com corantes que recriam o processo de fotossíntese, armazenando e convertendo a energia solar em eletricidade; também envolve células orgânicas que utilizam polímeros ou moléculas orgânicas semicondutoras; pontos quânticos (PQs); células multijunção ou *tandem*; e células de portadores quentes, em inglês: *hot carriers*. De forma geral, essa terceira geração busca o surgimento de uma tecnologia mais eficiente do que as células baseadas em um único gap eletrônico, de baixo custo por cada watt gerado, que utilize materiais abundantes na natureza, e de baixa toxicidade, conforme Ely e Swart (2014); Marques (2014); Sonai *et al.* (2015); Melo (2016).

3.2 CONFIGURAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Em observância à Lopez (2012), um sistema fotovoltaico apresenta de modo geral, como principais componentes: painéis fotovoltaicos, regulador de tensão ou controlador de carga, sistema de armazenamento de energia (baterias) e, inversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). O sistema FV pode ser classificado distintamente em três categorias: sistema isolado ou autônomo, conectado à rede elétrica, e híbrido.

3.2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

Os sistemas fotovoltaicos isolados (SFI's), são normalmente utilizados em áreas remotas, por exemplo, em comunidades rurais isoladas que não tenham acesso a rede pública de energia, ou mesmo, onde os custos para realizar a conexão com a rede padrão de energia não sejam compensatórios. Nessa categoria, o principal diferencial é a presença de um banco de baterias, cuja imprescindível missão é armazenar parte da eletricidade gerada, então torná-la acessível quando requisitada, consoante ao observado em Marini e Rossi (2005); Teleken *et al.*, (2019).

Com a presença de unidade de armazenamento, torna-se obrigatório o uso de um equipamento controlador de carga e descarga para as baterias, não obstante, nem todos os sistemas isolados necessitam armazenar a energia produzida, a exemplo de alguns sistemas fotovoltaicos destinados à alimentação exclusiva de sistemas de irrigação, como explanado por Lopez (2012).

3.2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

O sistema fotovoltaico conectados à rede (SFCR), difere-se por um equipamento denominado Medidor bidirecional, cuja função é realizar as medições da energia consumida, e quando necessário, medir a energia injetada na rede. Nessa configuração, a parcela excedente de energia produzida pelo sistema fotovoltaico é transferida para rede de distribuição elétrica da concessionária, podendo esse saldo positivo ser reutilizada posteriormente. Nessa configuração, todo o arranjo é conectado ao inversor de corrente, que transfere a energia à rede pública, que atua como um captador, de acordo com Urbanetz Junior (2010); Macedo e Zilles (2004); Lopez (2012).

Nos SFCRs o inversor não funciona somente como um sistema condicionador da potência de saída do arranjo fotovoltaico, ele atua como o controle do sistema, e de meio através do qual a potência elétrica gerada flui para a rede elétrica da concessionária de distribuição ou transmissão. Esse equipamento geralmente utiliza a tensão e frequência da rede elétrica como parâmetros de controle para assegurar que a saída do SFCR está totalmente sincronizada com a potência elétrica da rede (MACEDO; ZILLES, 2004, p. 02).

Conforme elucidado por Urbanetz Junior (2010), no cenário mundial de SFCR's, países como Alemanha, Espanha, Itália, Japão, Coreia do sul e Estados Unidos se destacam, tendo em comum, programas de incentivos ao uso da tecnologia. Estados Unidos e Japão possuem um sistema de tarifação chamado *net metering*, o consumidor e minigerador ao repassar seu excedente, acumula créditos contabilizados em Quilowatt-hora (KWh) e utilizará quando precisar. Alemanha e Espanha possuem um sistema de tarifação denominado *feed in tariff*, além de comprador, o usuário assume o papel de vendedor, a concessionária compra o excedente energético, na Alemanha por exemplo, para estimular a adesão ao SFCR, a concessionária chega a pagar, em alguns casos, aproximadamente o dobro do valor praticado por ela mesma, no abastecimento ao consumidor final.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Energia Elétrica – APINE (2017), a partir de 2012, através da Resolução Normativa

ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro teve o direito legal de gerar sua própria energia elétrica oriunda de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e fornecer o excedente da produção para rede de distribuição local. Em 2015, o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), que estimula a geração de energia renováveis pelos consumidores, sublinhando a aplicação da tecnologia fotovoltaica. Ainda ratificou oficialmente junto à ONU, o Acordo de Paris, firmado durante a COP 21 em 2016, reforçando o compromisso na redução de emissões de gases do efeito estufa, fato esse, de importante relação com o uso de energias renováveis.

3.2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HÍBRIDOS

De forma híbrida, facilmente encontrado, por exemplo, na região amazônica, onde grande parte da região não está conectada ao sistema energético nacional, o sistema fotovoltaico pode atuar em conjunto com geradores de energia à diesel. Ao dividir essa tarefa, a hibridez torna a geração mais sustentável e amortiza os impactos da queima de combustível fóssil, conforme elucidado por Lopez (2012); Liang *et al.*, (2015).

Sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia como: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos, entre outros. Em virtude da grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema exige um estudo particular para cada caso (Lopez, 2012. p. 108).

A fusão também é observada, por exemplo, unindo duas técnicas de aproveitamento da energia solar, a fotovoltaica e a fototérmica. A duplicidade no aproveitamento da irradiância solar é proporcionada por uma inovadora tecnologia, painéis híbridos PVT (*Photo Voltaic Thermal*). Sua principal característica consiste numa placa fotovoltaica em recipiente lacrado, em sua base, tubos de cobre contendo água circulante. A água absorve parte do calor residual do painel solar, concomitantemente, resfria-o e aumenta o rendimento fotovoltaico enquanto

proporciona água quente para diversos fins. Na figura 4 abaixo, pode-se obter uma visão de seu interior.

Figura 4 – Painel híbrido PVT com subsistema tubular de cobre.



Fonte: SOLAR 2 POWER (2019).

3.3 A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO DESEMPENHO DOS PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Os painéis fotovoltaicos têm seu desempenho significativamente afetado sob condições operacionais que envolvem temperatura ambiente, velocidade do vento e irradiância solar através da correlação com a temperatura da superfície da célula fotovoltaica, conforme alertado por Osman; Li; Zhen, (2018).

A eficiência fotovoltaica modelada em função da **temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa** é consistente com os valores medidos no painel solar. Uma descrição completa das medições de campo e do modelo de ordem reduzida é fornecida na seção de material. A eficiência da energia solar fotovoltaica diminui em função da **temperatura do ar** a uma taxa de aproximadamente **0,5% por 10° C**. Isso é consistente com as observações da literatura de diminuição da eficiência com o aumento da temperatura ambiente (HIGGINS *et al.*, 2019, p. 02, tradução nossa, grifo nosso).

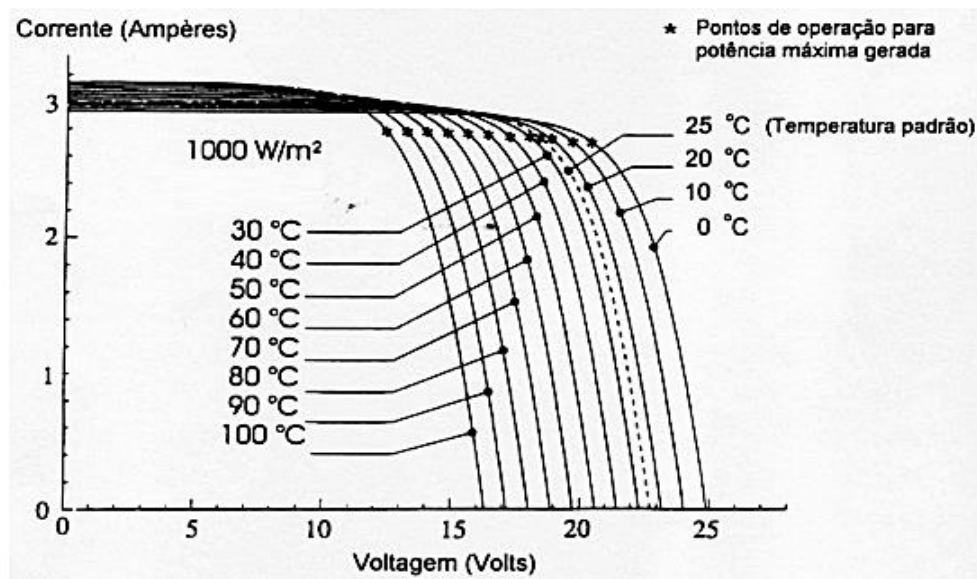
Segundo Deltau (2015), outras perdas surgem com o desenvolvimento do calor dentro da célula fotovoltaica gerado pela eletricidade no decorrer do seu natural funcionamento. Esse aumento à medida que se condiciona, a deterioração

na eficiência de conversão pode fazer com que uma célula solar de silício acarrete uma perda de aproximadamente 10% quando a essa aquece de 25 ° C para 60 ° C.

O calor é um dos principais fatores que afetam a eficiência dos painéis fotovoltaicos montados no telhado. **As altas temperaturas no telhado** aumentam a condutividade do semicondutor cristalino do painel fotovoltaico, **o que inibe a separação de carga e reduz a tensão** (SAM; HUI; CHAN, 2011, p. 02, tradução nossa, grifo nosso).

Em observância à Fadigas (2012), devido à radiação solar incidente e à temperatura ambiente, as células fotovoltaicas sofrem variações de temperatura. Se houver um aumento de temperatura da célula, também teremos um aumento na corrente de curto-circuito (I_{cc}), mas a tensão de circuito aberto (V_{ca}) diminuirá, alterando a potência entregue. Em suma, a voltagem diminui expressivamente com o aumento da temperatura, em contrapartida, a corrente sofre uma leve elevação. Isso é demonstrado graficamente na figura 5.

Figura 5 – Variação de corrente e tensão mediante alteração da temperatura da célula



Fonte: FADIGAS (2012).

Quando uma célula ou conjunto de células (módulo) está posicionado em direção ao sol, pode-se medir a tensão nos seus terminais. Se nenhuma carga está ligada aos mesmos, ou seja, o circuito está em aberto, nenhuma corrente flui e, portanto, a tensão medida é a tensão de circuito aberto (V_{ca}) [...]. Um outro parâmetro importante usado para descrever a eficiência de uma célula é a corrente de curto-circuito (I_{cc}). Esta corrente é medida colocando os terminais da

célula em curto-circuito e medindo através de um amperímetro a corrente quando a célula for submetida à radiação completa (FADIGAS, 2012, p. 31).

A alteração na temperatura de materiais isolantes, por exemplo, pouco resultará na entrada de elétrons na banda de condução, assim sua condutividade é pouco suscetível a tal grandeza física. Os materiais condutores possuem naturalmente uma menor resistividade, que aumenta com a temperatura devida a demasiada agitação dos átomos que é ocasionada, dessa forma, sua condutividade é atenuada, e essa relação é quase linear para uma ampla faixa de temperatura, conforme análise à Ghosh (2018); Oliveira T. (2013); Resnick; Halliday; Krane (2011); Godoy (2002); Dias (1991).

Todavia, nos materiais semicondutores a temperatura é altamente influenciadora na movimentação de elétrons, de forma ambígua, à medida que temos um aumento de temperatura, o semicondutor condiciona elétrons livres similarmente a um material condutor em condições de temperatura ambiente, isso significa um aumento de elétrons que atingem a banda de condução, o que também torna a condutividade maior, relativamente uma condição contrária à ocorrida nos materiais condutores. Em baixas temperaturas esse comportamento inverte-se, tornando o semicondutor similar a um material isolante. Pode-se então convencionar que os materiais semicondutores possuem coeficiente de temperatura negativo, e os condutores, coeficiente de temperatura positivo. Ressaltando que, conforme Sam; Hui; Chan (2011), o aumento excessivo da condutividade no material semicondutor é algo péssimo para aqueles destinados à conversão fotovoltaica.

A resistividade elétrica ou resistência elétrica específica do material, é outra característica que de modo geral pode identificar se o mesmo é condutor, semicondutor ou isolante. Matematicamente, resistividade e condutividade são produtos correlacionados, quanto maior a condutividade, menor será a resistividade. Inerente, o coeficiente de temperatura é uma unidade que relaciona quantitativamente a resistência elétrica de um material com a temperatura, cujo valor relativo é expresso na forma ôhmica mediante referência em grau Celsius ou Kelvin e inversamente à forma expressa da unidade de temperatura, $1/^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{C}^{-1}$, seu valor

determinar a variação de resistência elétrica a partir de 1Ω inicial sofrida pelo material a cada 1°C .

O telureto de cádmio (CdTe), por exemplo, é um composto de baixo custo para fabricação de células solares, não possui a mesma eficiência quando comparado ao silício cristalino, entretanto, por apresentar um menor coeficiente de temperatura, o CdTe apresenta uma maior eficiência em altas temperaturas, conforme Lopez (2012).

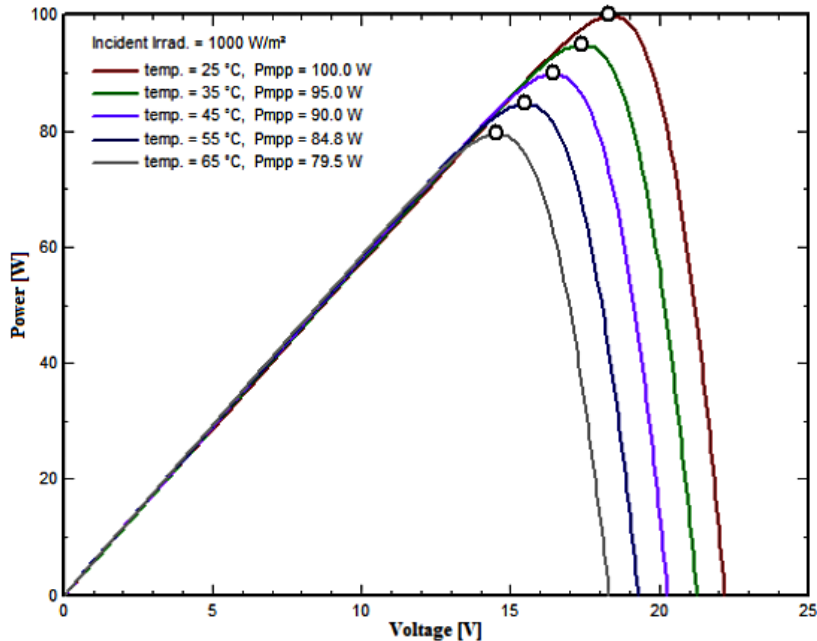
Amelia *et al.* (2016), reforçam a tese com seu estudo investigativo a respeito da influência da temperatura em painéis fotovoltaicos (FV) de silício monocristalinos, ao destacar que toda radiação solar que incide sobre o módulo FV, apenas cerca de 20% é convertido em eletricidade, o restante resulta em energia térmica acumulada. A longo prazo, a alta temperatura originada, degrada de forma irreversível o painel, diminuindo sua eficiência e vida útil. Apesar que condições climáticas específicas de cada local podem render números diferentes em relação aos efeitos do calor residual, estima-se que diante ao coeficiente de temperatura inerente, um painel FV com células de silício monocristalino apresente uma média em sua queda de rendimento de menos 0,446% a cada 1°C aumentado.

Com auxílio do software PVsyst, vários dados foram coletados e importantes parâmetros foram levantados afim de se apurar os efeitos da temperatura no painel fotovoltaico. Sensores instalados na parte traseira do painel FV, mediram a temperatura média, uma câmera de visão térmica foi usada para capturar a distribuição de temperatura na sua superfície frontal, enquanto que, um equipamento denominado PROVA 200 media e registrava dados elétricos. Desta forma, realizaram-se simulações em laboratório; e análises experimentais externas, em um local ao ar livre, de latitude $6,43^\circ$ Norte (N) e longitude $100,19^\circ$ Leste (E), cujos dados medidos e registrados realizaram-se no intervalo das 9:00 às 17:00, conforme observado em Amelia *et al.* (2016).

Por meio de uma simulação computacional proporcionada pelo software PVsyst, na figura 6 a seguir, obteve-se medições da potência de saída em watts (W)

do painel em diferentes temperaturas de trabalho, porém, com constante valor de irradiância solar, 1000 W/m².

Figura 6 – Potência (W) de saída do painel em diferentes temperaturas



Fonte: AMELIA *et al.*, (2016), adaptado pelo autor.

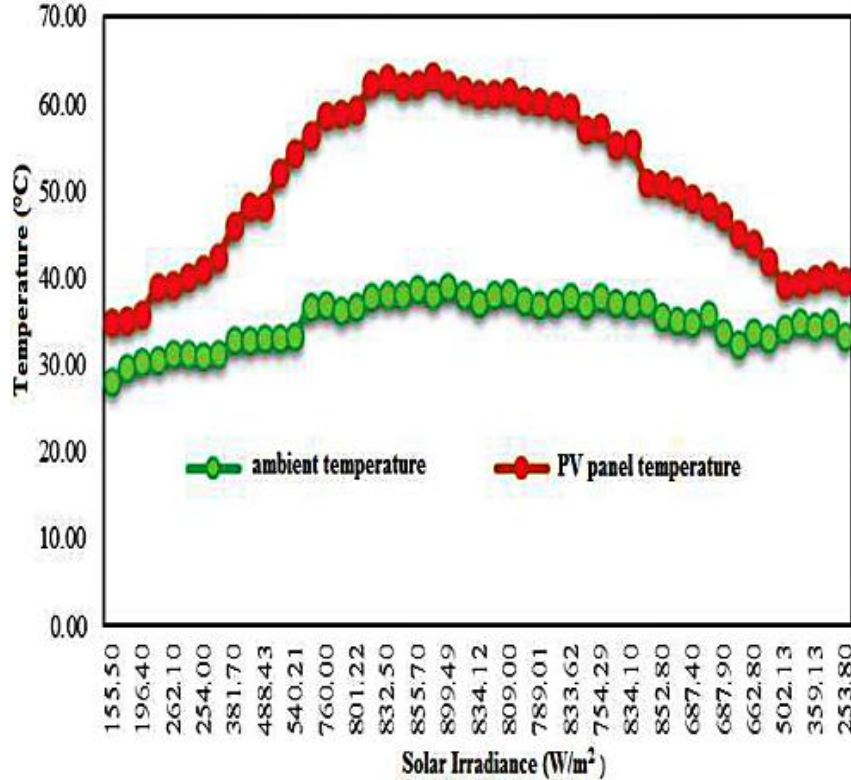
Analisando-se os resultados da simulação, em obviedade, à medida que a radiação solar aumenta, o temperatura do módulo sobe, portanto, notoriamente observa-se que a circunstância de maior eficiência do painel fotovoltaico se faz no momento em que a mais alta irradiância solar recebida e estabelecida em 1000 W/m², coincida com a mais baixa temperatura média constatada, de 25 °C.

Com experimento realizado em campo, o próximo gráfico extraído do mesmo estudo, vide figura 7, nos mostra a influência da radiação solar no aumento da temperatura geral do ambiente. Observa-se que no início do dia, com uma irradiância baixa, em torno de 155,50 W/m², constatou-se a menor temperatura, de 28 °C.

A maior temperatura registrada no ambiente, 38,99 °C, se deu no momento de maior irradiância, 899,49 W/m², com a média de temperatura do intervalo do dia considerado, em 33,21 °C. Nesse ponto, “o aumento da temperatura do painel fotovoltaico foi devido ao maior aquecimento da insolação, baixa velocidade do

vento e o consequente baixo calor transferido do painel para o ambiente” (AMELIA *et al.*, p. 685, 2016).

Figura 7 – Variação da temperatura do ambiente em função da irradiância solar



Fonte: AMELIA *et al.*, (2016).

4 TELHADO VERDE

O sistema de telhado verde se caracteriza pela disposição em tetos ou fachadas de diferentes tipos de vegetações, que variam de tamanho e espécie, mediante objetivo do projeto e clima da região, a sua implementação carece de todo um preparo para que não acarrete problemas colaterais às estruturas recebedoras.

Os telhados verdes correspondem ao desenvolvimento de vegetais nas coberturas das edificações, transformando uma cobertura inerte, em viva. Além dessa composição orgânica (plantas e substrato), sob essa camada há outras que compõem o sistema, na seguinte sequência: camada de retenção de substrato, camada de drenagem

e, por fim, a base de sustentação devidamente impermeabilizada e com barreira anti raiz (MENDONÇA; MELO, 2017, p. 118).

O telhado verde, também conhecido como teto verde, ecotelhado, telhado ecológico, cobertura verde, entre outros, não é considerado algo inovador, visto que se tem registros dessa técnica engenhosa há tempos, o que por sua vez, não a torna menos importante ou obsoleta em nossa contemporaneidade ou mesmo para o futuro, como observado em Araújo (2007).

Os telhados verdes não constituem uma inovação tecnológica, pois há muitos séculos já se fazia o uso desta técnica construtiva, de estimável valor para a manutenção do ciclo hidrológico. Segundo a história, os primeiros jardins suspensos construídos pelo homem foram os figurantes da antiga Mesopotâmia e na Babilônia, região onde hoje se encontra o Iraque, sendo construídos entre 600 a.C. e 450 a.C. (HENN; CAGLIARI, 2016, p. 02).

A exemplo dos países escandinavos, localizados em uma das mais frias regiões da Europa, o telhado verde já era comumente utilizado há séculos, desempenhando o papel principal de isolamento térmico, protegendo os ocupantes e as próprias edificações dos impactos naturais do intenso clima frio.

Figura 8 – Telhado verde em uma antiga igreja nas ilhas Faroé na Dinamarca



Fonte: HAUG (2020).

De acordo com Savi (2012), telhados verdes vêm sendo usualmente aplicados ao longo da história, a partir da década de 70 esse arranjo passou a ser visto como um grande aliado para as construções sustentáveis. Em vários países da Europa, essa técnica vem sendo aliada a tecnologia em ascensão de energia solar fotovoltaica, tornando-se cada vez mais comum nas edificações modernas, atribuindo valores socioambientais e econômicos promissores quando comparada aos sistemas tradicionais de cobertura.

A Alemanha é considerada um dos líderes mundiais em sistemas de telhado verde, outros países europeus como Portugal, França, Suíça e Reino Unido, por exemplo, possuem programas ambientais para incentivo a implementações de telhados verdes em edificações como uma alternativa sustentável no enfrentamento dos desafios ambientais urbanos. Na América do Norte, o Canadá possui políticas similares, nos Estados Unidos, durante os séculos XIX e XX essa tecnologia verde foi aplicada em muitos telhados de coberturas de edifícios afim de substituir os custos crescentes de terrenos para construção de parques no interior das cidades, conforme abordado por Li; Yeung (2014).

O atual modelo urbano não é sustentável em muitas cidades e as políticas verdes são algumas das questões mais controversas. A tendência crescente de urbanização precisa considerar ferramentas úteis para resolver os problemas de falta de sustentabilidade (BRIZ-DE-FELIPE e FELIPE-BOENTE, 2017, p. 316, tradução nossa).

No Brasil, historicamente há pouca menção ao uso de telhados verdes ao longo das décadas, todavia, pode-se destacar que conforme a Prefeitura de Blumenau (2018), a Lei Municipal Complementar nº. 1.174/2018 sancionada em fevereiro de 2018 na cidade de Blumenau (SC), denominada Lei do Telhado Verde, foi elaborada com o intuito de fomentar o uso de coberturas verdes em edificações da cidade. Contudo, para Feitosa; Wilkinson (2018), o Brasil apresenta ainda poucos incentivos, encontrando-se a maioria na forma de lei, como exemplo, a Lei nº 18.112/2015 da cidade do Recife, Pernambuco, onde determina-se que projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos e não habitacionais com mais de 400m² de área de cobertura, deverão prever a implantação de telhados verdes.

Perussi (2016), ressalta que a crescente atenção às questões ambientais gerou uma busca por um desenvolvimento mais sustentável por parte das sociedades, isso tem acentuado as preocupações relacionadas aos impactos associados à transformação do ambiente natural em ambiente construído.

De múltiplos benefícios, essa tecnologia verde engloba características importantes ao atuar, por exemplo, minimizando enchentes devido à capacidade de retenção da água das chuvas; na diminuição interna da temperatura em edificações; reduzindo o consumo de energia devido ao menor uso do ar-condicionado; proporcionando abrigo para algumas espécies de pássaros, resultando na diminuição de pragas urbanas como baratas e cupins; na criação de espaços verdes para bem-estar e lazer; diminuindo a poluição por meio da fotossíntese, amortização do efeito estufa; filtragem das partículas pesadas suspensas no ar; isolamento acústico e muitos outros processos que auxiliam para um melhor desenvolvimento ambiental.

Entretanto, para Feitosa e Wilkinson (2018), é oportuno ressaltar que, embora adicionalmente a vegetação remova gases poluentes e material particulado como dióxido de enxofre, óxidos nitrosos e com grande potencial de captura e armazenamento de monóxido de carbono, a limitação no tamanho das plantas e das áreas de abrangências dos telhados verdes, fazem com que tenham desempenho inferiores dessas funções, quando comparados com o meio urbano florestado de parques.

A utilização de telhados verdes proporciona serviços ecossistêmicos semelhantes à arborização urbana, tais como: o conforto térmico, a retenção das águas das chuvas, o sequestro de carbono e a atração da fauna urbana. A retenção das águas das chuvas também auxilia na retenção de poluentes, como pesticidas e resíduos de petróleo, uma vez que os telhados verdes diminuem o escoamento superficial, armazenando a água durante eventos de chuvas e retornando a precipitação para a atmosfera através da evapotranspiração (SETTA, 2017, p. 15 *apud* METENS et al., 2005).

Em casas, construções geralmente de pequeno ou médio porte, o telhado verde é algo atraente do ponto de vista arquitetônico e ambiental. Devido à

constituição térrea ou de poucos andares das casas, os benefícios dessa tecnologia verde que impactam na temperatura interna da edificação, seriam mais homogeneamente sentidos. Além do que, uma nova área de contemplação é concebida, podendo ser adaptada para lazer e descanso.

Figura 9 – Telhado verde residencial



Fonte: SIMÕES (2018), adaptado pelo autor.

Em uma menor composição, reduzindo custos e implicações envolvidas, porém mantendo as suas vantagens, essa técnica sustentável pode ser empregada parcialmente sobre o sistema de cobertura da casa, sobrepondo cômodos específicos. Onde havendo uma eventual adequação estrutural, tornaria propício a instalação de painéis solares. A figura 10 a seguir, nos mostra uma aplicação pontual do telhado verde.

O emprego de sistemas vegetados em paredes e telhados de habitações novas e existentes constitui uma proposta voltada no sentido de atenuar os problemas decorrentes da urbanização não sustentada. A aplicação desses sistemas possui efeito potencial na mitigação de cheias urbanas, na atenuação de temperaturas no interior de habitações e de ilhas de calor, na melhoria da qualidade ar, na diminuição de ruído, dentre outros benefícios [...] (FEITOSA; WILKINSON, 2018, p. 01).

Figura 10 – Telhado verde parcial



Fonte: KING (2018), adaptado pelo autor.

Em Cascone (2019); Ugai (2015); Gregoire; Clausen, (2011), estudos comprovam os impactos positivos dessa técnica na hidrologia urbana ao contribuir para o gerenciamento de águas pluviais, por meio da sua capacidade de minimizar os riscos de inundação ao reduzir o escoamento da água de chuvas. Como resultado dessa intervenção, observa-se que a carga nas estações de tratamento de água é amortizada. Outro fator importante é a competência em reduzir a exposição sonora da edificação, suavizando as ondas sonoras difusas sobre parte dos telhados ou atenuando a transmissão do som através dos mesmos, no mais, além da vegetação, os substratos comumente usados, mostraram ter boas propriedades de absorção sonora, principalmente quando secos.

A aplicação de um telhado verde pode aumentar o isolamento e ajuda a reduzir a propagação do som através do sistema de telhado para o interior do edifício, como ruído do tráfego aéreo. Além disso, um telhado verde também foi considerado uma estrutura eficaz para reduzir a poluição sonora resultante do tráfego rodoviário e ferroviário, absorvendo as ondas sonoras que difratam sobre telhados (UGAI, 2015, p. 855, tradução nossa).

Segundo Perussi (2016); Peck *et al.* (1999), com a utilização de uma cobertura verde, em estações mais quentes, com temperaturas acima de 25 °C, é

possível alcançar no interior do edifício, valores entre 3 °C ou 4 °C a menos do que a temperatura externa. Este fato pode revelar-se importante por desempenhar um papel no pré-resfriamento do ar de reposição exigido pela maioria sistemas mecânicos de refrigeração artificial, influenciando o consumo energético de edificações de regiões com climas nos quais o ar condicionado é indispensável. Dessa forma, por cada 0,5 °C que se reduza na temperatura interior de um edifício, é possível diminuir em 8% o consumo energético para o resfriamento do espaço.

Em locais de **clima mais frio ou em invernos rigorosos, o isolamento térmico** causado pela forração da vegetação também **diminui a perda de calor interno do recinto** envolvido. Todavia, vários estudos discutiram a possível influência de telhados verdes na sustentabilidade urbana reduzindo o efeito das ilhas de calor (ICU), essas descobertas indicam que o maior impacto do telhado verde ocorre em climas mais secos (BERARDI; GHAFARIANHOSEINI; GHAFARIANHOSEINI. A. 2014, p. 419, tradução nossa, grifo nosso).

De acordo com Barros; Lombardo (2016); Ferreira; Oliveira; Soares (2011), as grandes cidades e suas configurações heterogêneas apresentam distintos padrões de edificações, habitações e espaços públicos. Seu desenvolvimento e expansão junto ao contínuo processo de substituição das superfícies naturais por materiais artificiais, assim como, o lançamento de gases e material particulado na atmosfera, culminam na degradação ambiental e forte alteração dos padrões climáticos locais. Nesse contexto, as cidades criam seus próprios climas provenientes do impacto do desenvolvimento urbano, e no inevitável processo de balanço de calor à superfície, é condicionada a formação do fenômeno da ilha de calor urbana. Peck *et al.* (1999), afirmam que as grandes estruturas reflexivas, como arranha-céus encontrados nas cidades, absorvem a energia solar e a devolve ao ambiente por radiação na forma de calor sensível. Isso aliado ao calor residual gerado pela indústria e veículos, pode subir demasiadamente a temperatura e formar intensas ilhas de calor urbano.

Caracterizada por uma cúpula de ar quente que cobre a cidade, a ilha de calor urbana (ICU) é a manifestação do aumento das temperaturas causadas por características físicas (alta densidade de construções, concentração de materiais construtivos de grande

potencial energético de emissividade e reflectância) e as atividades urbanas (AMORIM *et al.*, 2009, p. 01, grifo nosso).

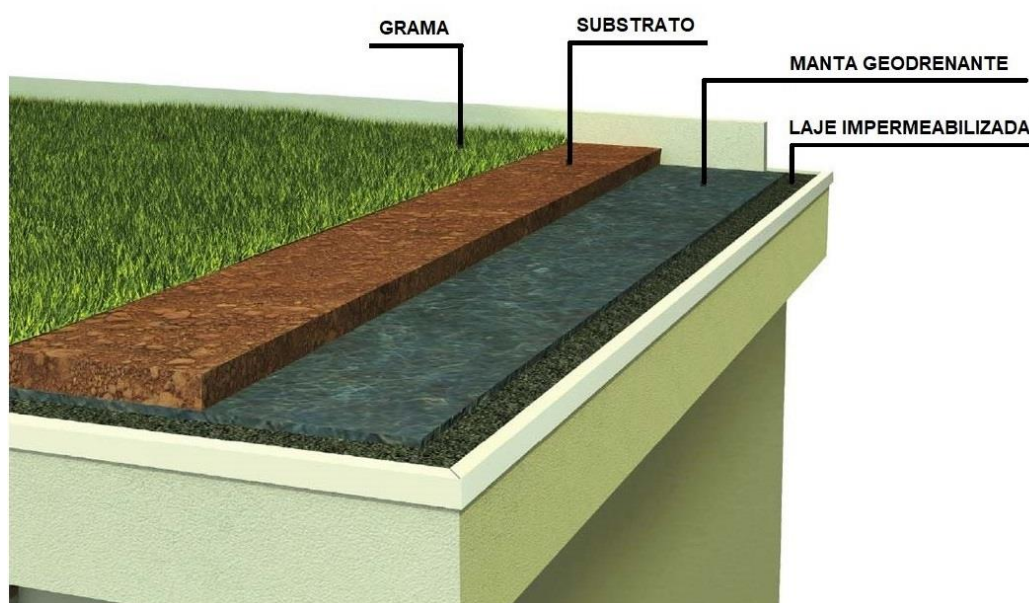
. Portanto, para Peck *et al.* (1999); Ugai (2015), uma vegetação existente, como em jardins suspensos ou verticais e telhados verdes, é capaz de absorver e transformar essa radiação em biomassa e calor latente, amenizando seus efeitos negativos.

4.1 CAMADAS CONSTITUTIVAS

Em minuciosos estudos, Brito *et al.* (2018); Rebollar, *et al.* (2017), definem que o telhado verde é toda cobertura ou telhado que agrega em sua composição uma camada de solo ou substrato com vegetação, sendo o telhado verde composto basicamente pelos seguintes elementos: laje, camada impermeabilizante, camada drenante, camada filtrante, solo e vegetação

A seguir, na figura 11, temos o exemplo de uma das formas mais simples de telhado verde, sendo composta por grama e apresentando níveis de camada essenciais em sua constituição sobre a laje.

Figura 11 – Telhado verde básico, extensivo.



Fonte: LARA (2014).

Cada projeto exigirá uma maior conformidade às características do clima, lugar de aplicação e vegetação. Havendo vários métodos de montagem, muitas camadas podem ser atribuídas nesse processo. Na figura 12, observa-se mais detalhadamente outros níveis admissíveis.

Figura 12 – Partes constituintes de um telhado verde standardizado.



Fonte: AMBIENTE BRASIL (2019).

Em consonância com Araújo, (2007); Perussi (2016); Laar *et al.* (2001), pode-se citar como camadas essenciais desse sistema e suas respectivas predileções, os seguintes itens:

1 - Vegetação: É necessário o conhecimento do clima local para fazer uma escolha adequada, o tipo de substrato a ser utilizado, tipo de manutenção que será adotada no telhado verde, no caso de irrigações, o ideal é a escolha de plantas que não são exigentes quanto a umidade, resistindo bem ao estresse hídrico.

2 - Solo: Preferencialmente não argiloso e que apresente uma boa composição mineral de nutrientes, esse substrato orgânico que deve possuir boa drenagem com espessura variando de acordo com o tamanho das plantas.

3 - Camada filtrante: Manta geotêxtil, produto feito com fibras de polipropileno (polímero termoplástico), evita que a água das chuvas e das regas arraste as partículas de solo do telhado verde, sendo tais partículas orgânicas, essências para o desenvolvimento da vegetação.

4 - Camada drenante: Tem como função dar vazão ao excesso de água no solo, pode ser constituída de argila expandida, brita ou seixos de diâmetros semelhantes, sendo fundamental para o sistema. Sua espessura pode variar de 7cm a 10cm. Em regiões mais frias ou por simples praticidade, produtos industrializados a base de poliestireno são frequentemente utilizados, por apresentarem características de isolantes térmicos.

5 - Camada contra raiz – Com intuito de impedir que raízes alcancem a laje, essa camada normalmente é concebida com a inserção de uma lona plástica de polietileno. De acordo com Beatrice (2011), para proteger a estrutura de suporte do efeito invasivo das raízes de algumas plantas, é recomendada a aplicação de membranas impermeabilizantes mais resistentes, além de uma cobertura extra sobre essas membranas com placas de borracha de alta densidade com no mínimo 1 mm de espessura.

6 - Isolante térmico: Camada de poliestireno extrudado que proporciona um bom isolamento térmico. Em alguns casos é utilizada em conjunto com uma placa de compensado, ficando posta na última camada antes da camada impermeabilizante.

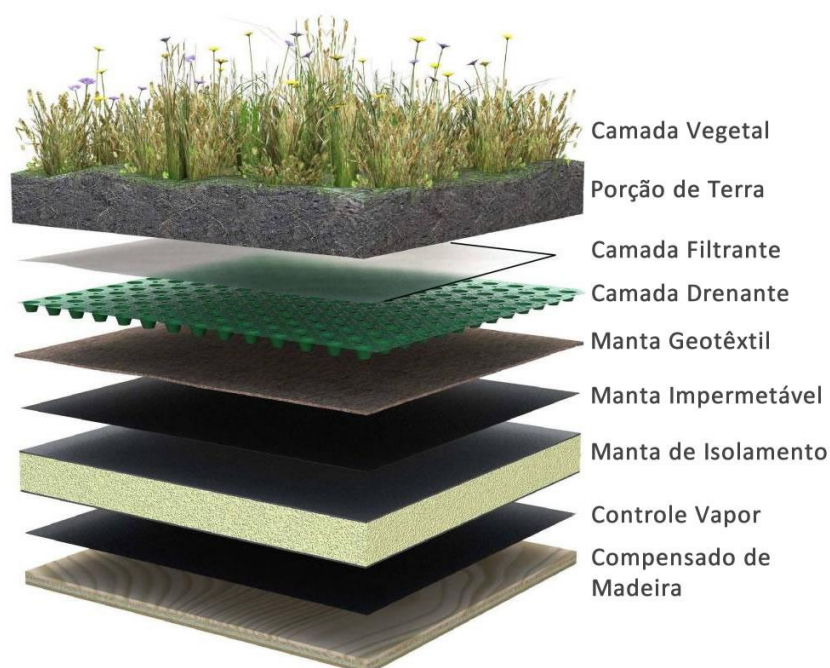
7 - Camada impermeabilizante: Tem a função de proteger a laje de infiltrações e umidade, pode ser utilizado materiais diferentes como manta asfáltica, betuminosos e sintéticos. Desempenhando o papel de impedir que a água e o vapor, provenientes da cobertura verde não entrem em contato com a estrutura que a suporta, desta formar, é a camada mais importante e dispendiosa de uma cobertura verde.

Segundo a publicação do Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI) (2009), a impermeabilização de telhados verdes deve considerar um grande esforço mecânico, problemas emergentes em caso de incêndio, desgaste pela água, microrganismos, além de possíveis substâncias químicas que se infiltrem pela cobertura plana que se encontra por debaixo de uma cobertura verde. Comumente, são utilizadas membranas impermeabilizantes fabricadas de membranas

termoplásticas de policloreto de vinila (PVC), resinas sintéticas e betume modificado, conhecidas sob a forma de manta asfáltica de alumínio ou manta asfáltica de polietileno (PERUSSI, 2016, p. 26).

Outras camadas podem ser adicionadas no momento de construção do telhado verde, aumentando o isolamento termoacústico tanto quanto a proteção contra raízes mais agressivas. Na figura 13, pode-se observar um sistema incrementado:

Figura 13 – Partes constituintes de um telhado verde incrementado.



Fonte: LARA (2017).

4.2 TIPOS DE TELHADOS VERDES

De acordo com o *International Green Roof Association* – IGRA, uma rede global para a promoção e disseminação de informações sobre tópicos do telhado verde e suas tecnologias, os tetos verdes podem ser divididos em três modelos: os extensivos, semi-intensivos e intensivos, como bem observa-se em Rosenthal e Nakandakari (2014).

Os telhados verdes são amplamente classificados em intensivos e extensos, embora alguns autores incluam uma classificação semi-intensiva, com base na profundidade da camada de substrato, manutenção, custo, tipo de vegetação, material de construção e irrigação (CASCONI, 2019, p. 04, tradução nossa).

O telhado verde extensivo é assim determinado por utilizar vegetação rasteira, como gramas e pequenos arbustos. O objetivo básico desse tipo de telhado é conter águas pluviais e também oferecer conforto térmico devido ao isolamento proporcionado. Devido à sua praticidade, requer um menor custo de implementação e baixa manutenção; segundo a literatura corrente é o mais comum em todo o mundo.

A tipologia semi-intensiva apresenta uma vegetação de porte médio, também pode utilizar grama, não obstante, com arbustos medianos, o que resultará numa manutenção maior.

Outro tipo de telhado verde, combina recursos de coberturas verdes extensas e intensivas. Conhecidos como semi-extensivos, semi-intensivos ou híbridos, dependendo do país de origem, esses telhados verdes têm uma camada ligeiramente mais profunda de mídia de cultivo do que os extensos telhados verdes, geralmente de 10 a 20 cm ($\pm 25\%$), e podem suportar variedade mais ampla e diversificada de plantas (FISCHER, 2012, p. 06, tradução nossa).

O telhado verde intensivo apresenta vegetação de grande porte, como árvores e grandes arbustos, habitualmente implementado em grandes edificações, visa primordialmente à ambientação de espaços além dos outros benefícios.

Em Savi e Tavares (2018), constata-se que há consideráveis diferenças entre telhados verdes do tipo intensivo e extensivo no tocante à capacidade de retenção de águas de chuvas. O intensivo pode reduzir o escoamento de água pluvial aproximadamente 85%, enquanto que o extensivo, em 60%. Assim, as condições de precipitação da região e a tipologia do telhado verde são determinantes na retenção de água da chuva.

Uma das principais vantagens de um sistema intensivo é a criação de um ambiente natural com biodiversidade aprimorada,

proporcionando um espaço de lazer, pois normalmente são projetados para o uso humano em entretenimento. Os telhados intensivos abrangem um potencial comparativamente melhor do que os telhados verdes extensivos em termos de gerenciamento de águas pluviais, **diminuindo o escoamento em 85%** quando comparado aos telhados tradicionais. Da mesma forma, contidos em seu escoamento, o telhado verde intensivo **tem três vezes menos contaminação por chumbo, 1,5 vezes menos contaminação por zinco, 2,5 vezes menos contaminação por cádmio e três vezes menos contaminação por cobre**. Por outro lado, seu maior peso pode exigir reforço estrutural adicional, e a drenagem e irrigação geralmente devem ser utilizadas, aumentando a complexidade técnica e os custos associados (CASCON, 2019, p. 04, tradução nossa, grifo nosso).

5 SISTEMA DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADO À COBERTURA VERDE

Segundo Sam; Hui; Chan (2011); Melo Filho; Matos (2018), uma pesquisa realizada em Hong Kong, na qual painéis fotovoltaicos foram sobrepostos na cobertura da biblioteca da Universidade de Hong Kong e desenvolvidas quatro situações: laje plana, com e sem, painéis FV; laje plana com cobertura vegetal, com e sem, painéis FV. Por fim, constatou-se um aumento da produção de energia dos painéis solares aplicados sobre o telhado verde, de 8,3%.

O potencial fotovoltaico solar depende fundamentalmente da radiação solar recebida, que é fortemente dependente da localização geográfica, mas também é sabido que a eficiência do sistema depende da temperatura das células solares, e a temperatura das células solares é uma função do microclima local. Cada local em potencial tem um microclima associado; portanto, a influência da climatologia local na eficiência de conversão do sistema FV deve ser abordada. **Os processos térmicos que conectam um painel solar ao ambiente são modulados por quatro variáveis ambientais principais: insolação, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar**. Uma descrição de primeira ordem da influência desses fatores pode ser apresentada em um modelo simples de balanço de energia do painel fotovoltaico, onde a velocidade do vento e a temperatura do ar influenciam o aquecimento ou o resfriamento convectivo do painel, o vapor de água

altera o potencial de radiação de ondas longas, e a radiação solar é a fonte de energia primária (HIGGINS *et al.*, 2019, p. 01, tradução nossa, grifo nosso).

Para Sam; Hui; Chan (2011); Peck *et al.* (1999); Meral; Dinçer, (2011), a alta temperatura pode diminuir a produtividade do painel fotovoltaico em até 25% e pode-se taxar o valor dessa redução em quase meio por cento (-0,45%) por cada grau Celsius aumentado nas células fotovoltaicas de silício cristalino. Portanto, uma maneira eficaz de melhorar a eficiência e reduzir a taxa de degradação térmica de um módulo fotovoltaico, é reduzir a operação de temperatura de sua superfície, nesse contexto, o telhado verde apresenta atributos e benefícios formidáveis.

Sam; Hui; Chan (2011), reforçam o fato no qual os conhecidos fatores externos que afetam negativamente o desempenho dos painéis FV, são atenuados com o uso dessa tecnologia verde, principalmente devido à grande quantidade de energia solar absorvida para o crescimento das plantas através de suas funções biológicas, como fotossíntese, respiração, transpiração e evaporação.

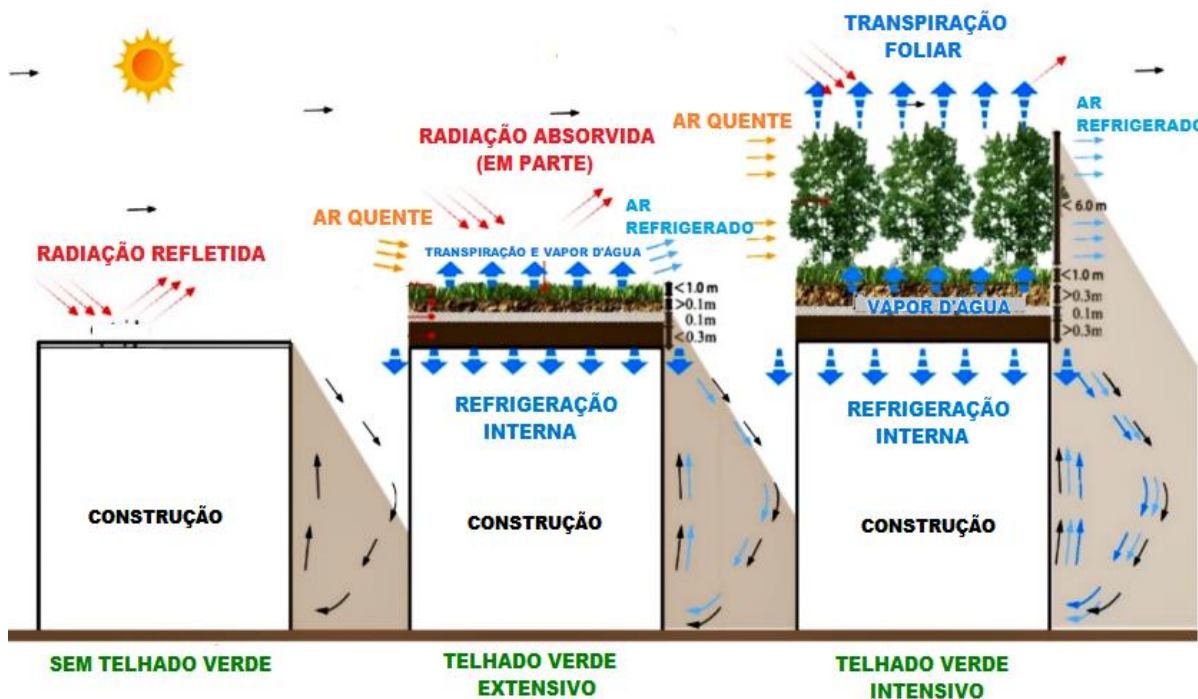
A folhagem se comporta como um dispositivo de sombreamento sob o qual a convecção provoca calor, a folhagem absorve parte da energia térmica em seu processo vital de fotossíntese. O solo e as camadas vegetais induzem vapor e resfriamento por transpiração. Os telhados verdes refletem entre 20% e 30% da radiação solar e absorvem até 60% dela através da fotossíntese. Isso significa que uma porcentagem abaixo de 20% do calor é transmitida ao meio de cultivo (BERARDI; GHAFARIANHOSEINI; GHAFARIANHOSEINI. A., 2014, p. 416, tradução nossa).

O telhado verde de forma hábil assume a tarefa de gerar microclimas mais amenos e favoráveis ao máximo desempenho dos painéis fotovoltaicos. Seus atributos concedem contribuições multiníveis, tanto para usina instalada, quanto para o caráter sustentável e ecossistêmico relacionado.

Ao observarmos na figura 14 abaixo, toda a dinâmica, do resfriamento proveniente da parcial absorção da radiação solar, do vapor de água oriundo do substrato, da transpiração foliar da vegetação e da refrigeração do ar quente ao atravessar a vegetação do sistema, constata-se o poder de resfriamento do telhado

verde de qualquer classificação, para com painéis solares implementados nessa conjuntura.

Figura 14 – Estrutura esquemática e comparativa da dinâmica de resfriamento durante o dia



Fonte: ZHANG (2019), adaptado pelo autor.

Em Zhang (2012); Morakinyo *et al.* (2017), infere-se que o tipo intensivo apresenta uma performance de refrigeração superior ao tipo extensivo. Em um estudo realizado em Hong Kong, concluiu-se que os telhados verdes intensivos poderiam reduzir a temperatura do ar de 0,5 até 1,7 graus Celsius em comparação aos 0,4 a 0,7 graus Celsius reduzidos pelo sistema extensivo. Em outro similar estudo, considerando estruturas urbanas com telhado à 20 metros de altura, observou-se também uma maior eficiência de refrigeração por parte do telhado verde intensivo, com reduções de temperatura do ar circulante na área externa e circundante à edificação, no âmbito dos pedestres, de 0,2 °C até 0,6 °C.

Contudo, o telhado de categoria extensiva é o mais adequado para se unir à painéis solares, visto que os demais tipos de telhados verdes, por apresentarem plantas de maior porte, proporcionariam um prejudicial sombreamento para o sistema fotovoltaico.

No balanço energético de telhados verdes e painéis solares fotovoltaicos, ocorrem outros processos convectivos, radiativos e condutores: a radiação e a convecção do sistema FV para a folhagem e o microclima abaixo e acima do painel; a absorção da radiação solar recebida na produção de energia, bem como a condução na parte acima e abaixo do painel; a absorção da radiação solar recebida na produção e condução de energia nas partes acima e abaixo do painel. **De fato, a combinação de painéis solares fotovoltaicos e teto verde pode levar a uma redução de até 50% do fluxo sensível de calor do que com o teto convencional.** No entanto, o benefício de resfriamento do telhado verde diminui se a posição dos painéis for superior a 20cm devido à maior exposição ao vento que acelera o processo evaporativo, reduzindo assim o efeito de resfriamento convectivo devido à folhagem (CATALANO; BAUMANN, 2016, p. 44, tradução nossa, grifo nosso).

Na figura 15 a seguir, percebe-se o posicionamento dos painéis fotovoltaicos a uma curta distância da camada verde composta de vegetação rasteira, tornando na teoria, a transpiração foliar e vapores d'água do substrato, mais eficientes no processo de resfriamento associado.

Figura 15 – Painéis FV e telhado verde instalados sobre um telhado predial



Fonte: ROCHA (2016).

Portanto, é factual que o solo e as plantas envolvidas retêm água da chuva ou rega, e em dias mais quentes produzem a evaporação da mesma, agindo como um agente resfriador eficiente para os painéis solares. A típica redução da poluição e

poeira na abrangência espacial do telhado verde, também é outro fator preponderante, visto que a diminuição de materiais particulados sujeitos a se depositarem sobre os painéis, implica em maior produtividade energética e menor necessidade de manutenção relativa à limpeza.

5.1 SISTEMA AGROVOLTAICO E INTEGRAÇÃO EM SOLO

É oportuno descartar que, relacionado aos geradores fotovoltaicos implementados em solo, vide figura 16, os benefícios de uma cobertura verde em geral, seriam mantidos, e com o aditamento de prerrogativas tais como, melhor acesso para poda, rega e manutenção.

Figura 16 – Usina solar instalada em solo sobre uma camada verde



Fonte: GDSOLAIRE (2017).

Contudo, em uma concepção análoga, evidencia-se uma emergente tecnologia, que traz consigo grande similaridade com os assuntos já abordados, porém, agora atrelado ao agronegócio, o sistema agrovoltaico.

Para Dupraz *et al.* (2011), na necessidade de expansão de novas fontes de energia renovável, usinas solares fotovoltaicas disputarão com a agricultura o uso de

terras muito em breve, desta maneira, um sistema misto é solução viável para um perfeito compartilhamento de espaço, suscitando benefícios para ambas as tecnologias quando em conjunto.

Higgins (2019), é enfático em sua pesquisa ao afirmar que se menos de 1% da terra agrícola fosse convertida em painéis solares, isso seria suficiente para atender toda a demanda global de energia elétrica. E define como agrovoltaico, o conceito de sincretismo entre energia solar fotovoltaica e a agricultura convencional, quando ambas dividem um mesmo espaço físico.

As usinas agrovoltaicas podem aproveitar a energia solar, além de trazer benefícios valiosos tais como: diminuir o consumo de água nas lavouras, devido ao sombreamento gerado; geração de eletricidade, além disso, evitar insolação para as plantas, melhorando seu desenvolvimento, principalmente em regiões mais ensolaradas. Na figura 17, contempla-se esse sincretismo em uma lavoura.

Figura 17 – Projeto agrovoltaico com painéis solares sobre a lavoura na Alemanha



Fonte: FRAUNHOFER (2019).

Amaducci *et al.* (2018), atestam que a redução da radiação direta ao solo cultivado causada pelo parcial sombreamento dos painéis solares, afetam a temperatura média do solo, a evapotranspiração e o balanço hídrico do solo, proporcionando, em média, condições mais favoráveis para o crescimento das

plantas do que em plena luz. Ao analisar o cultivo de milho em condições de sequeiro, ou seja, inicialmente sem sistema de irrigação e dependente da precipitação da região, e humidade circunstancial da terra, constatou-se um melhor e mais estável rendimento de grãos, denotando um aumento da resiliência das culturas às mudanças climáticas.

Em Mavani; Chauhan; Josh (2019), averigua-se que os painéis solares podem ser instalados a uma altura que pode variar de 5 metros até 11 metros, possibilitando a passagem de maquinários e trabalhadores pela lavoura. Eles também podem ser dispostos distantes entre si, como um tabuleiro de xadrez, o que facilita a ventilação do cultivo. Os painéis geram sombras que reduzem as radiações solares nas lavouras em 25% até 80%, fato que é favorável ao crescimento da colheita.

Figura 18 – Painéis instalados à baixa altura.



Fonte: BRANAM (2019).

Os sistemas agrivoltaicos alavancam a superposição de produção de energia e alimentos para benefício mútuo. As culturas são cultivadas na sombra intermitente projetada pelos painéis fotovoltaicos em sistemas agrivoltaicos. A sombra não diminui necessariamente a produção agrícola. Os pesquisadores cultivaram com sucesso aloe vera, tomate, milho, pasto e alface em experimentos agrivoltaicos. Algumas variedades de alface produzem maiores rendimentos na sombra do que sob a luz do sol; outras variedades produzem essencialmente o mesmo rendimento sob céu aberto e sob painéis fotovoltaicos. Os painéis fotovoltaicos semitransparentes abrem

oportunidades adicionais para a colocação de produção em estufa. (HIGGINS *et al.*, 2019, p. 04, tradução nossa).

Entretanto, o sistema agrovoltaico pode apresentar também algumas desvantagens, levando em consideração efeitos como o impacto da sombra nas taxas de evaporação. Por sua vez, o efeito no rendimento das culturas pode, portanto, ser positivo, neutro ou negativo. A agroenergia, assim também nomeado, parece ser mais compatível com o cultivo destinado a jardinagem, floricultura, isto é, plantas mais sensíveis ao sol e menos favoráveis a culturas arvenses, tais como cereais, ervilha entre outras. Há também alguns problemas com a utilização de grandes maquinários agrícolas entre as plataformas dos painéis FV, conforme observa-se novamente em Mavani; Chauhan; Josh (2019).

Não obstante, esse tipo de sistema tem um significativo potencial em países com altos níveis de insolação. Sua contribuição para um favorável desenvolvimento econômico e sustentável em toda cadeia do agronegócio, é algo factual e irrefutável.

.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise realizada, observou-se que a temperatura exerce forte influência no desempenho e vida útil das células solares fotovoltaicas, bem como, o sistema de telhado verde mostrou-se uma técnica viável para redução da temperatura nos painéis fotovoltaicos e consequentemente no aumento do rendimento energético. Com trabalhos futuros pretende-se avaliar os efeitos da temperatura e rendimento dos sistemas FV para diversas conformações de telhado verde integrado, em especial, no âmbito das características climáticas do Brasil, tal-qualmente, no surgente sistema agrovoltaiço.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (Brasil). **Renováveis e não renováveis**. 2017. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/15142444/Renov%C3%A1veis+e+N%C3%A3o+Renov%C3%A1veis/aba3cfc6-a27f-a7af-6cac-1d859a2f0d1d?version=1>. Acesso em: 05 maio 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (Brasil). **Fontes de energia elétrica no Brasil**. 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/document/s/656877/15142444/Fontes+de+Energia+no+Brasil/2eb48f5c-cc7f-4f63-867e-b2a4f3603418?version=1.0>. Acesso em: 05 maio 2020.

AMADUCCI, Stefano; YIN, Xinyou; COLAUZZI, Michele. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. **Applied Energy**. [S. l.], v. 220, n. 15, p. 545-561, jun. 2018. ISSN: 0306-2619. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261918304197>. Acesso em: 27 jun. 2020.

AMBIENTE BRASIL. **Telhados verdes**: do gramado à floresta, saiba como utilizar os telhados verdes nas cidades. 2019. Disponível em: <https://noticias.ambientebrasil.com.br/redacao/2019/06/19/152571-telhados-verdes.html>. Acesso em: 17 abri. 2020.

AMELIA, A.R. *et al.* Investigation of the effect temperature on photovoltaic (PV) panel output performance. **IJASEIT**. [S. l.], v. 6, n. 5, p. 682-688, 2016. ISSN: 2088-5334. DOI: <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.6.5.938>. Disponível em: http://insightsociety.org/ojaseit/index.php/ijaseit/article/download/938/pdf_240. Acesso em: 23 maio. 2020.

AMORIM, M. C. C. T. *et al.* Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Revista Confins**, n. 7, 2009. Disponível em: <http://confins.revues.org/index6070.html>. Acesso em: 31 dez. 2019.

ARAÚJO, S. R. de. **As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. Disponível em: <https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2015/03/Funcoes-dos-Telhados-Verdes-no-Meio-Urbano.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2020.

ASSIS, Andre K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2010. ISBN 978-0-9864926-1-7. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – ABSOLAR (Brasil). **Energia solar em estabelecimentos comerciais dobra no 1º semestre de 2020**. 2020. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-em-estabelecimentos-comerciais-dobra-no-1o-semester-de-2020.html>. Acesso em: 19 jan. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Normas Publicadas**. Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/>. Acesso em: 27 maio 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES INDEPENDENTES DE ENERGIA ELÉTRICA – APINE. **Agenda legislativa**: produtores independentes de energia elétrica. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.apine.com.br/nis/anexos/2017/NI988a02.pdf>. Acesso em: 26 maio 2020.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Revista Geousp Espaço e Tempo**. São Paulo, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/97783>. Acesso em: 31 dez. 2019.

BARRECA, F. Rooftop gardening: a solution for energy saving and landscape enhancement in mediterranean urban áreas. **Procedia - Social and Behavioral Sciences Journal**. [S.l.], v. 223, p. 720-725, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.248>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042816303275/pdf?isDTMRedir=true&download=true>. Acesso em: 21 maio 2020.

BAUMANN, T. *et al.* Performance Analysis of PV Green Roof Systems. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION, 2016. Munich. **Conference Paper** [...]. 2016. Disponível em: <https://www.eupvsec-proceedings.com/proceedings?paper=37404>. Acesso em: 07 jan. 2020.

BRASIL. Nações Unidas. **A ONU e o meio ambiente**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 01 jan. 2020.

BEATRICE, Caio Cury. **Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-22092011-151752/pt-br.php>. Acesso em: 06 jan. 2020.

BERARDI, U; GHAFFARIANHOSEINI, A; GHAFFARIANHOSEINI, A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, v. 115, n.4, p. 411–428, abr. 2014. ISSN: 0306-2619. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>. Acesso em: 30 dez. 2019.

BOYLESTAD, Robert L; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2013. xii, 766 p. ISBN: 8587918222.

BRAGA, Renata P. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. 2008. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/7372>. Acesso em: 11 jan. 2020.

BRANAM, Chris. **Installing solar panels on agricultural lands maximizes their efficiency, new study shows**. Oregon State University, 2019. Disponível em:

<https://today.oregonstate.edu/news/installing-solar-panels-agricultural-lands-maximizes-their-efficiency-new-study-shows>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Ecodesign**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/7654-ecodesign>. Acesso em: 15 ago. 2020.

BRITO, A. F. de; SANTANA, A. C.; SILVA, K. R. G. da. Microeletrônica e semicondutores: um paralelo entre o mercado brasileiro e o ensino em engenharia de computação. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 40., 2012, Belém, **Anais** [...]. Belém: UFPA, 2012; Goiânia: UFG, 2012. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/7/artigos/103836.pdf>. Acesso em: 15 maio 2020.

BRITO, M. de. *et al.* A implantação do telhado verde e sua efetividade no meio urbano. *In*: SIMPÓSIO DE SUSTENTABILIDADE E CONTEMPORANEIDADE NAS CIÊNCIAS SOCIAIS, 6., 2018, Cascavel, **Anais** [...]. Cascavel: FAG, 2018. Disponível em: <https://www.fag.edu.br/upload/contemporaneidade/anais/5b450cab45cf4.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2019.

BRIZ-DE-FELIPE, Teresa; FELIPE-BOENTE, Isabel de. A methodological approach for urban green areas: a case study in Madrid. **Revista Chapingo**, Chapingo, v. 23, n. 2, p. 315-328, ago. 2017. ISSN 2007-4018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rcscfa.2016.03.012>. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v23n2/2007-4018-rcscfa-23-02-315.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2019.

BUENO, Romero T. *et al.* Semicondutores heteroestruturados: uma abordagem sobre os principais desafios para a obtenção e aplicação em processos fotoquímicos ambientais e energéticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 6, p. 661-675, jun. 2019. ISSN: 1678-7064 versão online. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170372>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v42n6/0100-4042-qn-42-06-0661.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2020.

CÁÑERO, R. F. Green roof systems: A study of public attitudes and preferences in southern Spain. **Journal of Environmental Management**, [S.l.], v. 128, p. 106-115, out. 2013. ISSN 0301-4797. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713003022?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2020.

CANESTRARO, C. D. **Dispositivos fotovoltaicos orgânicos: estudo de camadas ativas e eletrodos**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/tese/036.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2020.

CANTOR, G. A. R. **Influência dos fatores climáticos no desempenho de módulos fotovoltaicos em regiões de clima tropical**. 2017. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em: http://www.cear.ufpb.br/arquivos/ppger/documentos/versao_final_Guillermo.pdf. Acesso em: 06 jan. 2020.

CASCONE, Stefano. Green roof design: state of the art on technology and materials. **Sustainability**. [S. l.], v. 11, n. 3020, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/11/3020>. Acesso em: 17 abr. 2020.

CATALANO, C; BAUMANN, N. **Biosolar roofs**: a symbiosis between biodiverse green roofs and renewable energy. Munich, 2016. Disponível em: https://www.nparks.gov.sg/-/media/cuge/ebook/citygreen/cg15/cg15_05.pdf?la=en&hash=742D039957FCA9CB7640F52498428F81CAAF42A9. Acesso em: 07 jan. 2020.

CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO RIO GRANDE DO SUL – CAU/RS (Brasil). **Arquitetura verde**: qualidade de vida e sustentabilidade urbana. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://www.caurs.gov.br/arquitetura-verde-qualidade-de-vida-e-sustentabilidade-urbana/>. Acesso em: 19 maio 2020.

CUI, Yong *et al.* Over 16% efficiency organic photovoltaic cells enabled by a chlorinated acceptor with increased open-circuit voltages. **Nature Communications**, v. 10, n. 2515, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-10351-5>. Acesso em: 17 abr. 2020.

DELTAU, Gerhard. **Photovoltaikstrom im Haushalt**: Erfahrungen mit einer netzgekoppelten Photovoltaik-Anlage. 3. ed. Kassel: Editora Kassel Gesamthochsch, 1995. Disponível em: <https://www.unikassel.de/eecs/fileadmin/datas/fb16/Fachgebiete/FSG/Download/Lehre/ETP1/Photovoltaik.pdf>. Acesso em 13 maio 2020.

DIAS, I. F. L. Novos materiais e estruturas semicondutoras. **Semina**, Londrina, v. 12, n. 4, p. 265-274, dez. 1991. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.1991v12n4p265>. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/download/3172/2665>. Acesso em: 19 jun. 2020.

DUPRAZ, C. *et al.* Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. **Renewable Energy**. [S. l.], v. 36, n. 10, p. 2725-2732, out. 2011. ISSN: 0960-1481. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148111001194?via%3Dihub>. Acesso em: 27 jun. 2020.

ELY, Fernando; SWART, J. W. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. **Revista O Setor Elétrico**, São Paulo, p. 138-139, out. 2014. Disponível em: <http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE (Brasil). **Matriz energética e elétrica**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 05 maio 2020.

FADIGAS, Eliane A. F. A. **Energia solar fotovoltaica**: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica. São Paulo: GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo. 2012. Apostila. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4649643/mod_resource/content/1/Apostila_solar.pdf. Acesso em: 23 abr. 2020.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, Sara. Uso de sistemas vegetados e os impactos na promoção da saúde. **Cadernos de Saúde Pública** [online]. [S. l.], v. 34, n. 7, 2018.

ISSN 1678-4464. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00003618>. Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/csp/2018.v34n7/e00003618/pt>. Acesso em: 20 maio 2020.

FERREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Anthropogenic heat in the city of São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 104, p. 43-56, 2011. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011ThApC.104...43F/abstract>. Acesso em: 5 jun. 2020.

FISCHER, Mary M. **Evaluation of growing media for annual herb production in greenroof modular trays**. 2012. Master Thesis (Masters of Science) – Department of Plant, Soil and Agricultural Systems, Southern Illinois University, Carbondale, 2012. Disponível em: <https://opensiuc.lib.siu.edu/theses/919/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS. **Agrophotovoltaics: High Harvesting Yield in Hot Summer of 2018**. Freiburg. 2019. Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2019/agrophotovoltaics-high-harvesting-yield-in-hot-summer-of-2018.html>. Acesso em: 16 abr. 2020.

GASPARIN, F. Perin. KRENZINGER, Arno. Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel. **Revista Brasileira de Energia Solar**, Porto Alegre, v. 08, n. 01, p. 10-17, jul. 2017. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/169>. Acesso em: 02 maio 2020.

GDSOLAIRE. **Ground mounted photovoltaic power plants**. 2017. Disponível em: <https://www.gdsolaire.com/en/portfolio/ground-mounted-photovoltaic-power-plants/>. Acesso em: 6 jun. 2020.

GHOSH, S. (ed.). Visible **light-active photocatalysis**: nanostructured catalyst design, mechanisms, and applications. Weinheim: Wiley VCH, 2018. ISBN:9783527342938. DOI: [10.1002/9783527808175](https://doi.org/10.1002/9783527808175). Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527808175>. Acesso em: 19 jun. 2020.

GODOY, Marcio. P. F. de. **Célula de pressão biaxial e aplicações em filmes semicondutores**. 2002. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002. Disponível em: <https://sites.google.com/site/marcioperon/ufscar/pesquisa/semicondutores/mestrado.pdf?attredirects=0&d=1>. Acesso em: 19 jun. 2020.

GOMEZ, J.M. Rodríguez et al. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino Física**, São Paulo, v. 40, n. 3, 2018. DOI [10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342](https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342). Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172018000300412. Acesso em: 01 maio 2020.

GREGOIRE, Bruce G.; CLAUSEN, John C. Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality, **Ecological Engineering**, v. 37, p. 963-969, 2011. ISSN 0925-8574. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857411000693>. Acesso em: 2 jun. 2020.

HAUG, Øivind. **The Faroe Islands far-flung cool**: an old church in Saksun. 2020. Disponível em: <https://www.cntraveller.com/gallery/faroe-islands-holidays>. Acesso em: 18 abr. 2020.

HENN, A. B.; CAGLIARI, A. I. A implantação do telhado verde e sua efetividade. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 5., 2016, Passo Fundo, **Anais** [...]. Passo Fundo: IMED, 2016; Itapiranga: FAI, 2016. Disponível em: https://www.imed.edu.br/Uploads/5_SICS_paper_27.pdf. Acesso em: 30 dez. 2019.

HIGGINS, C. W. *et al.* Solar PV power potential is greatest over croplands. **Nature**: Scientific Reports, New York, n. 9, 07 august 2019. ISSN 2045-2322. Acesso em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-47803-3>. Acesso em 10 jan. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. **Impermeabilizações em coberturas verdes**. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/01/Informe-Impermeabilizac%C3%A7%C3%A3o-em-coberturas-verdes.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. **Patologias decorrentes da falta de impermeabilização**. São Paulo, 2018. Disponível em: < http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/01/Informe_Patologias-decorrentes-da-falta-de-impermeabilizac%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2020.

JAMES GREENROOFS. **Modular Greenroof System**. 2020. Disponível em: <https://jamesgreenroofs.com/>. Acesso em 19 abr. 2020.

KING, Chris. **Green and sustainable roof systems highlight Durham custom home**. Durham, 2018. Disponível em: <http://www.roofingmagazine.com/green-and-sustainable-roof-systems-highlight-durham-custom-home/>. Acesso em: 19 maio 2020.

KOROL, Elena; SHUSHUNOVA, Natalia. Benefits of a modular green roof technology. **Procedia Engineering**, v. 161, p. 1820-1826, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816329022>. Acesso em: 19. abr. 2020.

LAAR, M. *et al.* Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 6., São Pedro, 2001. **Anais** [...]. São Pedro: ANTAC, 2001. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10145883-Estudo-de-aplicacao-de-plantas-em-telhados-vivos-extensivos-em-cidades-de-clima-tropical.html>. Acesso em: 04 jan. 2020.

LARA, L. Carlos. **Tenha mais verde com um jardim no telhado**. 2014. Disponível em: <http://44arquitetura.com.br/2014/04/tenha-mais-verde-com-um-jardim-no-telhado/>. Acesso em: 19 abr. 2020.

LARA, L. Carlos. **Como construir um telhado verde**. 2017. Disponível em: <http://44arquitetura.com.br/2017/09/telhado-verde-como-construir/>. Acesso em: 18 abr. 2020.

LI, W. C.; YEUNG, K. K. A. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. **International Journal of Sustainable Built Environment**. [S.l.], v. 3, p. 127-234, 2014. ISSN: 2212-6090. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.05.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609014000211/pdf?isDTMRedir=true&download=true>. Acesso em: 22 maio 2020.

LIANG, Ruobing *et al.* Performance evaluation of new type hybrid photovoltaic/thermal solar collector by experimental study. **Applied Thermal Engineering**. [S.l.], v. 75, n. 22, p. 487-492, 2015. ISSN: 1359-4311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.09.075>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135943111400859X>. Acesso em: 26 maio 2020.

LIMA, Ariane A. *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 42, 2020. ISSN: 1806-9126. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0191>. Acesso em 25 jan. 2021.

LOPEZ, R. A. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

MACEDO, Wilson N.; ZILLES, Roberto. Particularidades da geração distribuída com sistemas fotovoltaicos e sua integração com a rede elétrica. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 5., 2004, Campinas, **Anais** [...]. Campinas: UNICAMP, 2004; São Paulo: USP, 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n5v2/094.pdf>. Acesso em: 26 maio 2020.

MAJUMDAR, D; PASQUALETTI, M. J. Dual use of agricultural land: introducing 'agrivoltaics' in Phoenix metropolitan statistical area, USA. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, nov. 2017. ISSN 0169-2046. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321188251_Dual_use_of_agricultural_land_Introducing_'agrivoltaics'_in_Phoenix_Metropolitan_Statistical_Area_USA.. Acesso em: 10 jan. 2020.

MAKINO. **Microaspersores**. 2020. Disponível em: <https://makino.com.br/>. Acesso em: 19 abr. 2020.

MARQUES, F. das C. Minicurso de fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 5., 2014, Recife, **Anais** [...]. Campinas: UNICAMP, 2014; Recife: UFPE, 2014. Disponível em: <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursufrancisco.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2020.

MARINI, José A.; ROSSI, Luiz A. Sistematização do dimensionamento técnico e econômico de sistemas fotovoltaicos isolados por meio de programa computacional. **Revista Engenharia Agrícola. Jaboticabal**. v. 25, n. 1, p. 67-75, 2005. ISSN 1809-4430 versão *online*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n1/24872.pdf>. Acesso em: 25 maio 2020.

MAVANI D.D; CHAUHAN, P. M; JOSH, Viral. Beauty of Agrivoltaic System regarding double utilization of same piece of land for generation of electricity & food production. **International Journal of Scientific & Engineering Research**. Estados Unidos da América. v. 10, 6 June 2019. ISSN 2229-5518. Disponível em: <https://www.citefactor.org/journal/pdf/Beauty-of-Agrivoltaic-System-regarding-double-utilization-of-same-piece-of-land-for-Generation-of-Electricity-Food-Production.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020.

MERAL, Mehmet Emin, DINÇER, Furkan. A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. [S.l], v. 15, n. 5, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032111000256?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2020.

MELO FILHO. J. B. de.; MATOS, G. de Lima. Telhados verdes integrados à tecnologia fotovoltaica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado, **Anais** [...]. Gramado: UFRGS, 2018. Disponível em: <http://anaiscbens.Emnuvens.com.br/cbens/article/download/23/23>. Acesso em: 07 jan. 2020.

MELO, Priscilla K. P. de. **Montagem e caracterização de células solares fotovoltaicas de TiO₂**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/8453>. Acesso em: 23 jun. 2020.

MENDONÇA, T. N. M. de; MELO, A. B. de. Telhado verde modular extensivo: biodiversidade e adaptação das plantas aos blocos TEVA. **Revista PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção da UNICAMP**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 117-126, 30 jun. 2017. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649606/17370>. Acesso em: 30 dez. 2019.

MORAKINYO, T. E. *et al.* Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: a co-simulation parametric study. **Energy and Buildings**, v. 145, p. 226-237, 2017. ISSN 0378-7788, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817310915>. Acesso em: 5 jun. 2020.

MUNDIM. Kleber C. **Resistência e resistividade elétrica**. Brasília, 1997. Disponível em: <http://ensinoadistancia.pro.br/EaD/Eletromagnetismo/Resistividade/Resistividade.html>. Acesso em: 05 mar. 2020.

OLIVEIRA, Ana P. A. et al. Estudo de viabilidade da geração de energia elétrica (energia solar fotovoltaica). **Revista Tecnológica da FATEC-PR**, Curitiba, v.1, n. 8, p. 41-59, jan./dez. 2017. Versão online. Disponível em: <http://fatecpr.com.br/conteudo/rr2017.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2020.

OLIVEIRA, T. R. de. **Eletrônica geral**. Betim, [s.n], 2013. Disponível em: <https://702a1e33-a-5f917c16-s-sites.googlegroups.com/a/ifmg.edu.br/toliveira/arquivos/>. Acesso em: 18 jun. 2020.

OSMAN, Y. I. A.; LI, Jinping; ZHEN, Xiaofei. Experimental study of environmental impact on the efficiency of a house-hold PV panel. **Smart Grid and Renewable Energy**. [S.l.], v. 9, n. 7, p. 113-125, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4236/sgre.2018.97008>. Disponível em: https://www.scirp.org/pdf/SGRE_2018072714405435.pdf. Acesso em: 23 maio 2020.

PECK, S. *et al.* **Greenbacks from Green Roofs: forging a new industry in Canada**. Ottawa: Mortgage and Housing Corporation, 1999. Disponível em: <https://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/Greenbacks.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2020.

PERUSSI, Rafael. **Comportamento térmico de um sistema de cobertura verde: um experimento utilizando plataformas de teste**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-27012017-153824/pt-br.php>. Acesso em: 05 jan. 2020.

PERUZZO, Jucimar. **Forneiras da física**. Irani: [s.n.], 2012. ISBN: 978-85-913848-2-2. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?forneirasdafisica>. Acesso em: 13 jun. 2020.

PORTAL SOLAR. **Célula fotovoltaica**. 2019a. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica>. Acesso em: 18 abr. 2020.

PORTAL SOLAR. **Sunew fará a maior instalação de filmes fotovoltaicos orgânicos do mundo**. 2019b. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/sunew-fara-a-maior-instalacao-de-filmes-fotovoltaicos-organicos-do-mundo.html>. Acesso em: 16 abr. 2020.

PORTAL SOLAR. **Como Funciona o Pannel Solar Fotovoltaico: placas fotovoltaicas**. 2019c. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-pannel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 18 abr. 2020.

PREFEITURA DE BLUMENAU. Secretaria de Planejamento Urbano. **Lei do Telhado Verde fomenta uso de coberturas vegetais nas edificações**. Blumenau, SC: Secretaria de Planejamento Urbano, 2018. Disponível em: <https://www.blumenau.sc.gov.br/secretarias/secretaria-de-desenvolvimento-urbano/seplan/lei-do-telhado-verde-valoriza-aspectos-como-sustentabilidade-e-paisagismo84>. Acesso em: 19 maio 2020

REBOLLAR, N. *et al.* **Telhados Verdes: uma abordagem multidisciplinar**. Florianópolis: Editora Ledix, 2017.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S. **Física 3**. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 377 p. v. 3. ISBN: 9788521613916.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; REES, Stephanie Thomas. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 456p. ISBN: 9788582601761.

ROCHA, Sérgio. **Telhado verde e energia solar fotovoltaica: juntos e 8,3% mais eletricidade**. 2016. Disponível em: <https://institutocidadejardim.wordpress.com/2016/01/11/tehado-verde-e-energia-solar-fotovoltaica-juntos-e-83-mais-eletricidade/>. Acesso em: 18 abr. 2020.

ROSENTHAL, L. N.; NAKANDAKARI, G. H. **Análise quantitativa da aplicação do telhado verde em edificações**. São Paulo: UNICAMP, 2014. Disponível em: http://www.ib.unicamp.br/dep_biologia_animal/sites/www.ib.unicamp.br.dep_biologia_animal/files/TelhadoVerde.pdf. Acesso em: 30 dez. 2019.

SAM, C; HUI, M; CHAN, S. C. Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In: JOINT SYMPOSIUM: INTEGRATED BUILDING DESIGN IN THE NEW ERA OF SUSTAINABILITY, 2011. Hong Kong. **Paper** [...]. 2011. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/cca4/8bc31a8187823028_cbe327cc81f07249096b.pdf. Acesso em: 07 jan. 2020.

SAVI, Adriane C. **Telhados Verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. 2012. 125 Folhas. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/788/1/CT_CECONS_II_2012_01.pdf. Acesso em: 03 jan. 2020.

SAVI, Adriane C.; TAVARES, S. F. Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais na retenção de água de chuva. **Revista de Arquitetura IMED**. Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 50-67, Jan-Jun 2018. ISSN 2318-1109. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/argimed/article/view/2647>. Acesso em: 11 maio 2020.

SETTA, Bruno R. S. Telhados verdes como políticas públicas ambientais para o município de Volta Redonda – RJ. **Revista LABVERDE**, [S.l.], v. 08, n. 01, p. 13-35, mar. 2017. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/121954>. Acesso em: 09 maio 2020.

SIMÕES, J. Conheça os benefícios do telhado verde. **Revista IMOB**, [S.l.], 2018. Disponível em: <http://www.revistaimob.com.br/sustentabilidade/conheca-os-beneficios-do-telhado-verde/>. Acesso em: 19 maio 2020.

SOLAR 2 POWER. **Photovoltaic thermal hybrid solar collector**. Loule, 2019. Disponível em: <https://solar2power.pt/photovoltaic-thermal-hybrid-solar-collector/>. Acesso em: 25 maio 2020.

SONAI, Gabriela G. *et al.* Células solares sensibilizadas por corantes naturais: um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. **Química Nova**, São Paulo, v. 38, n. 10, p. 1357-1365, dez. 2015. ISSN: 1678-7064 versão online. DOI: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150148>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v38n10/0100-4042-qn-38-10-1357.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

TELEKEN, J. G. *et al.* Comparativo de custos da alteração de um sistema fotovoltaico isolado para fotovoltaico interligado à rede da concessionária – estudo de caso. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 384-

414, 2019. ISSN: 2237-9711. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v8i1.55916>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/download/55916/pdf>. Acesso em 25 maio 2020.

UGAI, Takao. Evaluation of sustainable roof from various aspects and benefits of agriculture roofing in urban core. **Procedia - social and behavioral sciences**, v. 216, p. 850-860. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281506262X>. Acesso em: 19 abr. 2020.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Orientador: Prof. Ph.D Ricardo Rüther. 2010. 189p.: il. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94284>. Acesso em: 25 maio 2020.

ZHAO, Qian *et al.* High efficiency perovskite quantum dot solar cells with charge separating heterostructure. **Nature Communications**. [S.l.], v. 10, n. 2842, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10856-z>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-10856-z.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2020.

ZHANG, G. *et al.* Impact of morphological characteristics of green roofs on pedestrian cooling in subtropical climates. **Int. Journal of Environmental Research and Public Health**. v. 16, n. 2. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/2/179>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ZILLES, Roberto *et al.* **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de textos, 2012. ISBN: 978-85-7975-052-6. E-book. Disponível em: <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/de gustacao-ok.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2020.

ZSIBORÁCS, Henrik *et al.* Changes of photovoltaic performance as a function of positioning relative to the focus points of a concentrator PV module: case study. **Applied Sciences Journal**. Basel. v. 09. n. 16, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/16/3392>. Acesso em: 04 maio 2020.