

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GESTÃO ESTRATÉGICA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS

DENILSON TEIXEIRA DA SILVA

UTILIZAÇÃO DE VANTS E CÂMERAS TERMOGRÁFICAS NA INSPEÇÃO VISUAL
DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: REVISÃO DE LITERATURA

CURITIBA

2019

DENILSON TEIXEIRA DA SILVA

UTILIZAÇÃO DE VANTS E CÂMERAS TERMOGRÁFICAS NA INSPEÇÃO VISUAL
DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: REVISÃO DE LITERATURA

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do cursoo MBA em Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora Professora: Prof.^a M.Sc. Michela Rossane Cavilha Scupino

CURITIBA

2019

Utilização de Vants e Câmeras Termográficas na Inspeção Visual de Sistemas Fotovoltaicos: Revisão de Literatura

Denilson Teixeira da Silva

RESUMO

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva de sensoriamento remoto que possibilita a medição da temperatura em pontos ou superfícies aquecidas, a partir da radiação infravermelha. Neste contexto, o presente artigo tem por objetivo apresentar uma revisão de literatura sobre as vantagens da utilização de VANTs associados a câmeras termográficas na inspeção visual de sistemas fotovoltaicos. Para tanto, a metodologia aplicada baseou-se na pesquisa bibliográfica, cuja coleta de dados foi realizada por meio de consulta *online* nas bases de dados LILACS, SCIELO e Google Acadêmico. Os resultados da pesquisa mostraram que nos módulos fotovoltaicos, a análise termográfica é capaz de identificar diferentes falhas, o que possibilita verificar indícios de problemas de interconexão, problemas em diodos de derivação quando pontos quentes estão em uma área concentrada nas células do painel, problemas de curtos-circuitos internos ou incompatibilidades de células. No entanto, para o correto diagnóstico termográfico e identificação da falha é necessário considerar os fatores meteorológicos e físicos de ensaio, fundamentada em aspectos metrológicos, além da inspeção visual dos módulos com auxílio de VANTs e de testes de medição, a fim de aumentar a confiabilidade da inspeção realizada.

Palavras-chave: Termografia. Módulos fotovoltaicos. Energias renováveis. Energia solar fotovoltaica. Análise de falhas. Vants. Sensoriamento remoto

ABSTRACT

Thermography is a nondestructive and noninvasive inspection technique of remote sensing that allows the measurement of temperature in heated points or surfaces from infrared radiation. In this context, the this article aims to present a literature review on the advantages of the use of UAVs associated with thermographic cameras in the visual inspection of photovoltaic systems. Therefore, the applied methodology was based on bibliographic research, whose data collection was performed through online consultation in the LILACS, SCIELO and Google Scholar databases. The results of the research show that in photovoltaic modules, thermographic analysis is able to identify different failures, which allows to verify evidence of interconnection problems, problems in derivation diodes when hot spots are in a concentrated area in panel cells, internal short circuit problems, or cell mismatches. However, for the correct thermographic diagnosis and correct identification of failure it is necessary to consider the meteorological and physical factors of the test, based on metrological aspects, in addition to the visual inspection of modules with the aid of UAVs and tests increase the reliability of the inspection performed.

Keywords: Thermography. Photovoltaic modules. Renewable energy. Photovoltaic solar energy. Failure Analysis.UAVs. Remote sensing

Sumário

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 AQUECIMENTO EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	8
2.2 INSPEÇÃO VISUAL E MANUTENÇÃO PREDITIVA	10
2.3 ANÁLISE TERMOGRÁFICA NOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	12
2.4 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS - VANTS.....	15
3 METODOLOGIA	17
4 RESULTADOS.....	18
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERÊNCIAS.....	21

1 INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica (FV) é um modo de se obter a energia limpa, utilizando diretamente a irradiação solar, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica, que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007). O efeito fotovoltaico consiste no surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando este é exposto à luz visível.

A tecnologia fotovoltaica, de acordo Rütther (2004), apresenta grandes vantagens frente às demais fontes de energia, destacando a capacidade de modularidade e de geração distribuída. Dessa forma, a geração de eletricidade pode ser realizada no local onde esta energia será consumida, evitando assim custos e perdas gerados pelos sistemas de transmissão e distribuição utilizados por sistemas elétricos de fontes convencionais, como por exemplo, usinas hidro ou termoelétricas (RÜTHER, 2004).

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável na escala terrestre do tempo, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano (CEPEL, 2014,p.47).

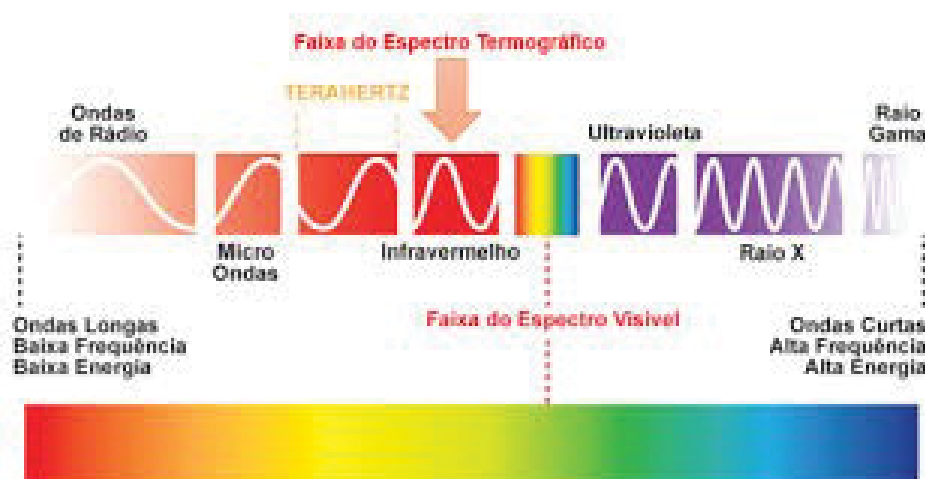
No Brasil, a participação das fontes renováveis vem aumentando gradativamente a cada ano, em função da grande incidência de radiação solar atuante no território brasileiro. Segundo projeções da Agência Nacional de Energia Elétrica, até o ano de 2024 haverá um crescimento esperado de mais de 900% ao ano para o setor fotovoltaico no Brasil (ANEEL, 2015). No entanto, esse elevado crescimento tem gerado a necessidade e preocupação em aumentar ao máximo a eficiência dos módulos fotovoltaicos com o objetivo de reduzir os custos da produção de energia solar (TSANAKAS *et al.*, 2017).

A eficiência desses módulos tem forte ligação com a temperatura de operação dos mesmos, uma vez que, toda a radiação solar absorvida pelo módulo, e que não é convertida em energia elétrica, necessariamente gera calor, contribuindo para o superaquecimento da célula solar e a queda na potência gerada por um painel, podendo levar à danificação permanente das células fotovoltaicas (KIM, KREIN, 2013; TEUBNER, 2017).

A garantia de eficiência energética do sistema fotovoltaico está diretamente relacionada com a qualidade de elaboração do projeto que em sua concepção deve se atentar ao Lay out do mesmo,e para a mitigação do “Mismatch” através da

utilização de módulos de fabricantes confiáveis , de bons softwares de dimensionamento tais como o PVSyst, Helioscope,etc, e ainda através do uso de otimizadores de potência. O Mismatch pode ser definido como o descompasso existente entre módulos conectados em série ou paralelo,em virtude de fatores extrínsecos ou intrínsecos ao sistema fotovoltaico (SAKÔ et alii,2019). Este descompasso ocorre, quando um módulo fotovoltaico apresenta maior ou menor capacidade de gerar energia em relação ao outro.Outro fator de grande importância que reflete na eficiência energética de módulos fotovoltaicos diz respeito às manutenções realizadas no sistema, que podem ser preventivas, preditivas ou corretivas. A manutenção preditiva garante a previsão de possíveis falhas e diante disso, faz-se necessário o uso de tecnologias que possibilitem o diagnostico dessas falhas. O uso da termografia é uma opção como ferramenta de monitoramento dos módulos fotovoltaicos e avaliação dos efeitos de temperatura (BUERHOP, 2012; TEUBNER, 2017) através de câmara capaz de captar a faixa de comprimento de onda no espectro termográfico(infra vermelho) figura 1, e pode ser associado a tecnologia de Veículo aéreo não tripulado (VANT) para reduzir o tempo e custo de avaliação dos sistemas fotovoltaicos não sendo necessário a interrupção da operação do sistema.

Figura 1:Faixa de espectro Eletromagnético:



Fonte:Diegolin e Gavlaki,2018

Este trabalho objetiva apresentar as vantagens da utilização de VANTs associados a câmeras termográficas na inspeção visual de sistemas fotovoltaicos.

Assim, a proposta deste trabalho é justificada em detrimento da grande relevância do desenvolvimento de estudos relacionados à manutenção e detecção

de falhas nos sistemas fotovoltaicos, uma vez que a implementação de ferramentas de diagnóstico de falhas adequadas é essencial para garantir a confiabilidade e o desempenho apropriado dos módulos fotovoltaicos, identificando e quantificando com precisão os fatores por trás dos vários mecanismos de falha e baixo desempenho (TESTO, 2015).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os sistemas fotovoltaicos são compostos por células e os primeiros relatos sobre a conversão da radiação solar em energia elétrica pela utilização do material semicondutor ocorreram em 1893, por Edmond Becquerel, quando percebeu que uma solução de um eletrólito com eletrodos de metal quando exposta à radiação luminosa, tinha sua condutividade aumentada (ZILLES *et al.*, 2012).

As células fotovoltaicas são dispositivos desenvolvidos especificamente para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica, e são constituídas por material semicondutor, sendo o silício (Si) o mais empregado (DI SOUZA, 2016; FONSECA ALVES, 2017). Estas células são agrupadas eletricamente e encapsuladas para formar o módulo fotovoltaico, que pode ser constituído por um conjunto de 36 a 216 células fotovoltaicas. As células podem ser agrupadas em série e/ou paralelo (SOUZA, 2018) dependendo dos parâmetros elétricos (tensão, corrente e potência) e da aplicação do módulo. O encapsulante é utilizado para conferir adesão entre as células, a superfície de topo e a camada traseira (CAVENAGHI, 2014).

A associação de um conjunto de módulos constitui um painel fotovoltaico, que pode ser operado com três arranjos possíveis: conexão em série, conexão em paralelo, e um misto entre os dois sistemas ou seja o arranjo série-paralelo; cuja finalidade é elevar o nível de tensão e corrente para aplicações de maior escala (CAVENAGHI, 2014). A associação de vários módulos em série é feita com o objetivo de se obter um sistema fotovoltaico com um maior valor de tensão, mantendo a saída um mesmo valor de corrente, sendo importante que as células sejam equivalentes. Já, a associação de vários módulos em paralelo é efetuada com o objetivo de obter um sistema fotovoltaico com um maior valor de corrente, mantendo a saída o mesmo valor de tensão de um só módulo, sendo importante que as células sejam similares (CARNEIRO, 2010; CAVENAGHI, 2014). Esses arranjos

também estão limitados á capacidade (tensão mínima e máxima) e ao número de MPPT (seguidor de ponto de máxima potência) do inversor.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser implementados em qualquer localidade que tenha incidência de radiação solar e são classificados em duas categorias: o sistema conectado a uma rede elétrica (*ON-Grid*) e o sistema autônomo (*OFF-Grid*). Os sistemas fotovoltaicos *ON-Grid* são utilizados para fornecer energia ao consumidor e possibilita que, caso a demanda seja maior que a produção do sistema, o consumidor utilize energia da rede elétrica pública para complementar sua necessidade (VARELLA, 2009). Os sistemas fotovoltaicos autônomos (*OFF-Grid*) figuram como sendo uma fonte de potência elétrica não conectada a rede elétrica (FONSECA ALVES, 2017).

Apesar de ser considerado um tipo de energia dependente de alto investimento, os sistemas de energia fotovoltaica possuem inúmeras vantagens, como: modularidade, disponibilidade de recurso solar, baixo custo de manutenção, gera baixos ruídos e resíduos, são autossuficientes e renováveis (ELECTSOLAR, 2018). O retorno do investimento, conforme Elecktsolar (2018), varia entre 4 a 8 anos dependendo do valor da tarifa paga por kWh e quantidade de radiação solar do local de instalação. No entanto, existem diversas barreiras que dificultam a sua difusão em larga escala, sendo o risco de apresentação de falhas que pode comprometer a produção de energia antes do final da vida útil dos módulos fotovoltaicos, risco este que pode ser mitigado pela garantia do fabricante, porém o maior risco pode vir de mudanças na legislação que podem interferir nas tarifas e demais regras de mercado, inviabilizando este segmento. Desta maneira, o comprometimento da produção dos módulos fotovoltaicos afeta diretamente o retorno dos investimentos financeiros dos projetos (DINIZ *et al.*, 2012).

2.1 AQUECIMENTO EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A eficiência de um sistema fotovoltaico, que é determinada pela relação entre a energia elétrica gerada na saída e a energia solar recebida pelo módulo ou a célula (CANTOR, 2017), depende de vários fatores como: composição e pureza de cada material; métodos de fabricação; estrutura das células; cabos e conexões elétricas; degradação e condições ambientais e climáticas específicas, como a irradiação solar, velocidade e direção do vento, a poeira, a chuva, o sombreamento

por árvores ou por nuvens, a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar, a precipitação e as características espectrais solares, incluindo as intensidades de UV; dentre outros (SHARMA, CHANDEL, 2016; SAIDAN *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Dentre esses fatores, a temperatura é responsável pela maioria das reações químicas da degradação dos módulos fotovoltaicos, alterando drasticamente as propriedades mecânicas, elétricas e ópticas dos materiais, induzindo defeitos e influenciando na vida útil dos módulos (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Desse modo, a temperatura de operação de uma célula fotovoltaica é uma variável importante a ser observada durante sua operação (SILVA, 2017).

A temperatura de operação dos sistemas fotovoltaicos pode ser influenciada por vários fatores, como: os materiais que integram os módulos (semicondutores, células, camadas, encapsulante, dentre outros); as propriedades de absorção das células; a dissipação térmica para o ambiente; a temperatura normal de operação das células; as condições de instalação se inserindo aqui o tipo de solo, se instalado sobre a água, e em caso de uso em edificações residenciais, comerciais ou industriais o tipo e material do telhado; e as condições ambientais (irradiância, temperatura ambiente e velocidade do vento) (SIMIONI, 2017).

Com o aumento da temperatura ocorre os Hot-spots ou pontos quentes, definido como fenômeno de falha que consiste no aquecimento generalizado da célula fotovoltaica ou apenas de uma porção da célula que fica sujeita a uma temperatura superior à das regiões vizinhas. Os pontos quentes ocorrem em módulos fotovoltaicos quando uma ou mais células associadas em série se encontram danificadas ou, na maior parte das vezes, sombreadas (KIM; KREIN, 2013). Esse fenômeno acontece principalmente em locais com alta temperatura ambiente e em condições operacionais com irradiância e vento (SINGH & RAVINDRA, 2012; SHARMA & CHANDEL, 2013).

A ocorrência do aquecimento devido a hot-spots nos módulos fotovoltaicos se dá quando a capacidade de corrente de uma célula em particular ou conjunto de células é menor que a corrente de operação das restantes células da série (MONTEIRO, 2018). Logo, Monteiro (2018) explica que esta condição origina uma polarização inversa da célula, ou conjunto de células, em relação à tensão das células restantes, sendo a dissipação de energia igual ao produto entre a tensão da

polarização inversa com a corrente de operação das restantes células da série. Com o passar do tempo, os hot-spots contribuem para uma degradação permanente dos módulos fotovoltaicos e decréscimo da produtividade de todo o sistema fotovoltaico. Além disso, ainda pode ocorrer delaminações de contatos, derretimentos de camadas encapsulantes, e estragos em células solares no interior do módulo (MONTEIRO, 2018).

Do ponto de vista elétrico, o aumento da temperatura resulta em uma redução significativa da tensão e um pequeno aumento da corrente, portanto, um menor fornecimento de potência de pico, uma vez que a queda da tensão é consideravelmente maior que o aumento da corrente (FERREIRA, 2018). A interpretação térmica do problema é de que toda a radiação solar absorvida pelo módulo, e que não é convertida em energia elétrica, necessariamente gera calor, contribuindo para o aumento da energia térmica do conjunto ou sendo rejeitada ao ambiente (TEUBNER, 2017; FERREIRA, 2018).

Ao longo do tempo de uso, a diferença de temperatura entre os diversos pontos do módulo fotovoltaico chega a ultrapassar 10°C. Por esta razão é muito importante o monitoramento da temperatura em vários pontos nos módulos, a fim de prever possíveis falhas e garantir o máximo rendimento possível (GARCIA *et al.*, 2012). Dentre os métodos para medição de temperatura de painéis fotovoltaicos se encontram os sensores de contato e sensores sem contato, com destaque para a técnica termográfica (EKE, 2012).

2.2 INSPEÇÃO VISUAL E MANUTENÇÃO PREDITIVA

Assim como todos os sistemas mecânicos e elétricos, os sistemas fotovoltaicos necessitam passar por manutenções periódicas para verificar as falhas ou desgastes. A manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento dos equipamentos com base em dados que informam o a ocorrência destes desgastes ou o início dos processos de degradação (FERRAZ, 2011). Existem diferentes técnicas para realizar a manutenção preditiva, entre elas podemos citar duas que atendem os sistemas fotovoltaicos que são a inspeção visual e as técnicas de análise não destrutivas (ALBUQUERQUE, 2020).

Guimarães (2020) explica que a manutenção preditiva do sistema de energia solar consiste em realizar uma inspeção visual periódica no painel a fim de identificar arranhões, manchas, rachaduras ou indícios de quebra. Sendo ainda de grande importância, o acompanhamento frequentemente dos índices de desempenho da usina, como a variação da potência pico e o total de energia produzido em diferentes condições pluviométricas, para verificar se o sistema está funcionando corretamente.

A respeito dos cuidados com a manutenção preventiva e preditiva dos módulos solares, Guimarães (2020) enfatiza a garantia de um funcionamento eficaz sistema de energia fotovoltaica, ocasionando assim a redução dos custos com eventuais reparos ou reposição de peças, aumentando o aproveitamento da energia solar e ampliando a vida útil do sistema. Deve-se também, dar atenção especial a limpeza dos painéis livrando-os de toda sorte de sujeiras tais como poeiras, detritos e fezes de aves e outros animais, e ainda de areias, sobretudo em regiões litorâneas. Essas ações tornam os custos com a manutenção de sistema solar fotovoltaico praticamente nulos.

RAMOS (2017), em seu estudo a respeito da cadeia de valor dos sistemas energético fotovoltaico, enfatiza que com a maturidade do segmento fotovoltaico no mundo, cresce a necessidade de fazer uma gestão eficiente das instalações fotovoltaicas, novas tecnologias de sistemas para operação e manutenção dos parques fotovoltaicos são tendência no mundo. E a respeito dessas tecnologias RAMOS (2017) afirma que envolvem monitoramento remoto, coleta e análise de dados e transferência de mensuração de dados do site do projeto para centros de monitoramento e incluem as câmeras de imagem térmica para identificar módulos ou células fotovoltaicas ineficientes; e ainda os sistemas de análise de energia fotovoltaica (do inglês, *solar power analyzers*) para garantir que o sistema esteja desempenhando adequadamente; e os medidores *I – V curve tracers* para medir a performance da voltagem e corrente do módulo, comissionamento do sistema.

A utilização de otimizadores de potência vem também ganhando força nos últimos tempos.

Otimizadores de potência para módulos fotovoltaicos são pequenos conversores eletrônicos que podem ser instalados diretamente nos terminais dos módulos fotovoltaicos (VILLALVA, 2020). Sendo assim cada módulo conta individualmente com seu otimizador próprio que faz o monitoramento de forma dedicada, buscando o máximo de potência de cada módulo, tendo como principais

vantagens a imunidade às sombras, possibilidade de instalação e arranjo de módulos em condições e características diferentes; e redução de perdas por incompatibilidade de potências (mismatch)

Seguindo o conceito de utilização de novas tecnologias na gestão de sistemas fotovoltaicos, temos a utilização de inteligência artificial como sendo de enorme potencial de aplicações no setor.

Conforme Oliveira (2019) em se tratando de energia fotovoltaica, a inteligência artificial (AI) consiste em uma série de técnicas com foco em modelar, controlar ou prever o desempenho dos sistemas de energia, estes envolvem uma grande demanda de processamento computacional, rotinas matemáticas e regras complexas.

A empresa Huawei com o software AI Boost Fusionsolar 6.0 Smart PV solution, lançado na SNEC na China este ano, pode reduzir o custo nivelado da eletricidade (LCOE) nos projetos em 8%, afirma a empresa (ELEKTSOLAR, 2019).

Em outra linha, uma aplicação de inteligência artificial chamada DeepSolar, rastreou o mapa norte-americano, e através da utilização de imagens de satélite pode classificar em quais telhados haviam usinas solares (OLIVEIRA, 2019).

No Brasil a empresa H3zoomAI possui um software de AI focado em análises de fachadas de edifício que está sendo adaptado para inspeções e análises IA de dados coletados em sistemas fotovoltaicos.

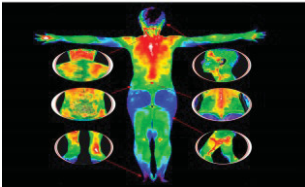
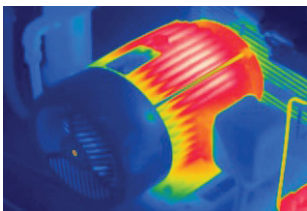
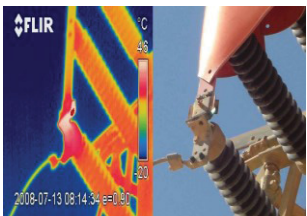
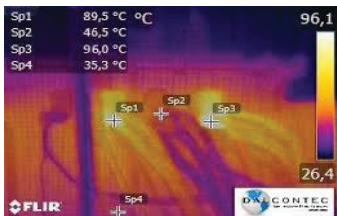
2.3 ANÁLISE TERMOGRÁFICA NOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva (sem contato) de sensoriamento remoto que possibilita a medição da temperatura em pontos ou superfícies aquecidas, a partir da radiação infravermelha (NASCIMENTO et al., 2019). A ferramenta empregada para o registro das imagens térmicas é o termovisor. Os termovisores utilizam detectores, que através de um sistema óptico converte a radiação infravermelha em sinal elétrico, e um complexo processamento de sinal, para construção da imagem térmica, permitem a leitura da temperatura dos objetos (LAND, 2004).

Essa técnica é capaz de medir à distância a temperatura de cada ponto de um componente, e permite, simultaneamente, mostrar uma representação visual desta

temperatura, exibindo as variadas temperaturas locais no componente, na forma de gradientes de coloração ou de tonalidades (TARPANI et al., 2009; NASCIMENTO et al., 2019). Assim, a utilização da termografia tem como principal objetivo prevenir falhas e prolongar a eficiência dos sistemas (CEZAR, 2012).

Já vem sendo utilizada em diversas aplicações nas mais diversas áreas tais como saúde humana e animal; em equipamentos mecânicos, e principalmente na área de energia elétrica na inspeção de painéis elétricos, redes de transmissão, para detecção de falhas, superaquecimento de sistemas e fuga de correntes, dentre outros, figuras 2;3;4;e 5.

Figura 2-Utilização de Termografia na área de Saúde  FONTE:Brioschi M,2018	Figura 3-Utilização de Termografia na área de Mecânica industrial  FONTE:ES Engenharia,2019	Figura 4-Utilização de Termografia na área de Linhas de Transmissão Elétrica  FONTE:Cyrino,2015	Figura 5-Utilização de Termografia na área Inspeções em painéis elétricos  FONTE:Dalindo,2018
--	---	--	---

Conforme a literatura, dentre os vários métodos que podem ser utilizados na detecção de falhas nos sistemas fotovoltaicos, a termografia é a técnica mais eficiente no que diz respeito ao controle e detecção de pontos quentes em células ou módulos fotovoltaicos. Através da utilização de câmaras termográficas é possível identificar e localizar de forma rápida e com alta precisão, quais as células ou módulos que estão em condição de ponto quente e qual o nível de temperatura de cada ponto quente (TARPANI et al., 2009; EKE, 2012; NASCIMENTO et al., 2019).

Nos módulos fotovoltaicos, a análise termográfica consiste em verificar as regiões com maior temperatura (*hot-spots*), por meio da aquisição de imagens da irradiação infravermelha quando expostos à radiação solar, principalmente para detectar defeitos (GARCIA et al., 2012). Esta detecção baseia-se no fato de determinadas falhas e defeitos dissiparem calor de forma fora do normal, causando alterações na distribuição de temperatura do módulo (MONTEIRO, 2018).

As variações de temperatura, depois de medidas e analisadas, contribuem para a detecção de falhas no funcionamento de um sistema fotovoltaico (MONTEIRO, 2018). De acordo com a forma e o local de um determinado ponto “mais quente”, é possível identificar várias falhas diferentes, o que possibilita verificar indícios de problemas de interconexão, problemas em diodos de derivação quando pontos quentes estão em uma área concentrada nas células do painel, problemas de curtos-circuitos internos ou incompatibilidades de células (FONSECA ALVES, 2017).

Os pontos quentes causam essencialmente dois problemas nos painéis fotovoltaicos: a redução da eficiência energética como consequência da diminuição da energia elétrica gerada, e a degradação física das células fotovoltaicas devido ao aumento da temperatura que se gera como consequência da dissipação de energia que ocorre no módulo sombreado (GARCIA *et al.*, 2012; KIM, KREIN, 2013; DOS ANJOS, 2016; FERREIRA, 2018; MONTEIRO, 2018).

Com o intuito de obter-se uma boa classificação e avaliação das anomalias detectadas, requer uma sólida compreensão da tecnologia solar, o conhecimento do sistema inspecionado e medições elétricas adicionais (FONSECA ALVES, 2017). Isso se deve ao fato de que, o diagnóstico termográfico em painéis fotovoltaicos sofre influência de diversos aspectos, e, considerações equivocadas podem comprometer a análise da temperatura de operação dos dispositivos. Dessa forma, o inspetor deve se basear em uma metodologia, que considere os fatores meteorológicos (como temperatura ambiente e velocidade do vento) e físicos de ensaio (posicionamento da câmera, distância entre câmera e painéis, etc.), fundamentada em aspectos metrológicos, a fim de aumentar a confiabilidade da inspeção realizada (SILVA, 2017). Além disso, uma correta identificação da falha deve ser acompanhada por uma inspeção visual dos módulos e de testes de medição (FONSECA ALVES, 2017).

De acordo com Silva (2017), a identificação de falhas por faixas de temperatura nos painéis fotovoltaicos é possível tanto pelo emprego da técnica qualitativa quanto na quantitativa. Ou seja, o operador pode usar a técnica de termografia de forma a somente identificar anomalias térmicas, regiões quentes e frias, porém uma vez que não é realizado o estudo quantitativo, ele estará impossibilitado de associar a falha a uma faixa de temperatura anômalo

característico daquele tipo de defeito. Ainda segundo Silva (2017), através dessa técnica também é possível identificar falhas por sombreamento.

O sombreamento faz com que os módulos fiquem inversamente polarizados e consequentemente comecem a dissipar energia sob a forma de calor, resultando assim num ponto quente. Um módulo fotovoltaico sombreado fica inversamente polarizado quando a corrente gerada pelos módulos que a ele estão associados em série é superior à sua corrente de curto-circuito (DOS ANJOS, 2016).

Com o intuito de garantir uma maior eficiência dos módulos fotovoltaicos e minimizar as possíveis falhas detectadas através da análise termográfica, é necessária a elaboração e correta execução de um plano de manutenção detalhado, que irá auxiliar na redução da probabilidade de falhas, mão de obra, tempo, a degradação do funcionamento dos itens compostos no módulo, entre outros (ARAÚJO, 2018).

Figura 6:Inspeção termográfica manual



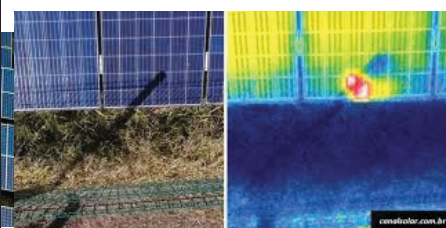
FONTE: Trotec,2020

Figura 7:Inspeção termográfica com VANTS



FONTE:Blog Obra 3D

Figura 8:Produtos de fotografias ,a esquerda uma fotografia normal e á direita um termográfico



FONTE:Villalva,2020

2.4 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS - VANTS

Os Veículos Aéreos Não Tripulados são regulamentados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), órgão do governo brasileiro, que define estes veículos como “aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos” (AVELLAR, 2014). É importante ressaltar, de acordo Avellar (2014) que estão inclusos todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos.

2.4.1- TIPOS DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS – VANTS

Existem basicamente três tipos de VANTS quais sejam; os de asa fixa que muito se parecem com os aviões aos quais conhecemos, que via de regra possuem mais autonomia de voo e com isso podem cobrir maior área, e são também mais caros, os de asas rotativas ou multirotores, semelhantes aos helicópteros e geralmente com menor autonomia, e os modelos VTOL, que são basicamente um híbrido dos dois modelos anteriores, sendo sua decolagem e pouso realizada na vertical, figuras 9; 10; e 11.

Figura 9: VANTS de Asa Fixa  FONTE: Neto, 2017	Figura 10: VANTS de Asas rotativas ou multirotores  FONTE: Souza, 2015	Figura 11: VANTS VTOL  FONTE: Blain, 2017
--	---	---

O interesse no uso de VANT no Brasil tem se intensificado em diversas aplicações nos últimos anos por permitirem uma aquisição mais rápida de dados locais. Estando inseridos em diferentes serviços dos segmentos: Mineração, Agricultura, Obras de Engenharia, Meio Ambiente, Topografia, Levantamento Florestal, Linhas de Transmissão de Energia, Hidrelétricas (ERG, 2020) e de Infraestrutura, Transporte, Seguros, Mídia e entretenimento, Telecomunicações, Agricultura, Segurança, Atividades humanitárias (PECHARROMÁN e VEIGA, 2020). Especificamente na área de energia fotovoltaica, pode-se utilizar o VANT, para se fazer a modelagem em três dimensões (3D) de telhados residenciais, comerciais e industriais, visando a implantação dos módulos nestes locais, sem a necessidade do elemento humano realizar trabalho em altura, diminuindo-se o risco de acidentes e adquirindo-se um produto de maior qualidade e precisão.

Mendonça (2017) em seu trabalho a respeito de placas danificadas verificou que uma placa com áreas superficiais quebradas, pode ter uma redução de 2 a 4 watts por células. Ainda ao considerar todo um sistema de grande porte instalado, durante muitos meses e sabendo que geração solar tem um rendimento

relativamente baixo de conversão de energia, esses valores de potência perdidas acaba se tornando importante, necessitando ser avaliado pelo investidor do sistema (MENDONÇA, 2017).

As manutenções preditivas como já elucidados por Guimarães (2020), colaboram com o aumento da vida útil das células e reduz o custo com trocas daquelas estragadas. Porém, ao associar o VANT a câmeras termográficas ocorre uma sinergia no processo que amplificará a redução de custos com a diminuição de tempo para identificação das falhas já mencionadas.

Diante de tais afirmações, e considerando a dimensão de uma matriz fotovoltaica, reforça-se a necessidade da redução do tempo de diagnóstico de falhas ou danos nos sistemas com a implementação de tecnologias como VANTs associadas a Câmeras Termográficas.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como pesquisa bibliográfica em formato de revisão de literatura, cuja coleta de dados foi realizada por meio de consulta aos indexadores de pesquisa nas bases de dados eletrônicos: Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), Scientific Electronic Library Online (SCIELO) e Google Acadêmico, no espaço temporal de 2000 a 2020 abrangendo as línguas portuguesa e inglesa. O levantamento foi realizado com as seguintes palavras-chaves: Termografia, módulos fotovoltaicos, energias renováveis, energia solar fotovoltaica, análise de falhas, veículos aéreos não tripulados, thermography, UAVs.

Os critérios estabelecidos para a seleção da amostra foram: artigos completos disponíveis gratuitamente; publicados em língua portuguesa e estrangeira. Monografias, dissertações, teses e livros especializados também foram revisados. E, como critérios de exclusão: artigos incompletos; estudos publicados em formato de carta ao editor; editorial e opinião de especialistas.

Após a busca inicial foi realizada uma classificação dos estudos de maior relevância para o trabalho, identificando através da leitura exploratória os conteúdos mais significativos sobre o tema em estudo.

A análise referente a esta pesquisa tem caráter descritivo, de modo a proporcionar informações dos dados contidos no total de artigos estudados.

4 RESULTADOS

As vantagens descritas na TABELA 1 cancelam que a associação de tecnologias tem um potencial nas inspeções dos sistemas solares fotovoltaicos.

Tabela 1 - Vantagens da aplicação de Câmeras Termográficas e VANTs em diagnóstico de falhas e anomalias.

Descrição das Vantagens		Tecnologia Aplicada	Autores
Garantia	Qualidade das instalações de Painéis Solares;	Termografia	Fonseca Alves, 2017
	Rentabilidade do Sistema Fotovoltaico;	Termografia	Campelo, 2020
	Informações confiáveis e perenes;	Termografia	Campelo, 2020
	Fluxo contínuo de informações.	Termografia	Campelo, 2020
Redução	Ciclo decisório, antecipando e qualificando a tomada de decisão;	Termografia	Campelo, 2020
	Custo das Inspeções de campo solar.	VANTs	Campelo, 2020
Prevenção	Perdas de rendimento de potência;	Termografia	Fonseca Alves, 2017
	Detecta anomalias em módulos fotovoltaicos em estágios iniciais devido a capacidade de observação das condições de limpeza dos módulos.	Termografia	Fonseca Alves, 2017
Eliminação	Necessidade de desligamento da usina	VANTs	Campelo, 2020

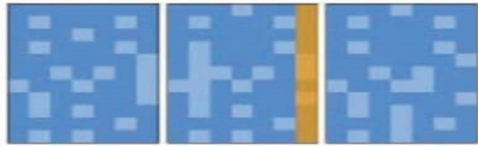
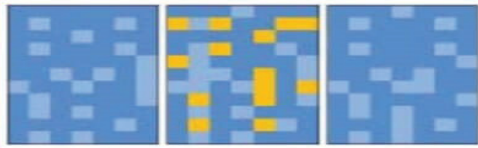
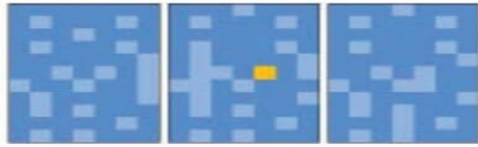
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Neste sentido, a aplicação da inspeção termográfica nos módulos fotovoltaicos é capaz de apresentar vários benefícios, tais como: permite a prevenção de danos que possam causar elevados custos nos reparos; permite a correção de problemas que causam perda e consumo de energia em excesso; avaliação das cargas nos painéis, simplificando o diagnóstico durante o funcionamento dos módulos; permite um prévio planejamento antes da conclusão do

serviço otimizando o tempo; ao se detectar a falha, permite evitar a queima ou perda desnecessária de dispositivos fotovoltaicos (SILVA, 2017; DOS ANJOS, 2016).

Além disso e como forma de apresentar de forma prática e didática apresenta-se abaixo um guia com os termográficos mais comuns gerados em inspeções a módulos fotovoltaicos suas descrições e seus respectivas defeitos(anomalias) detectadas

Tabela 2: Algumas anomalias que podem ser percebidas pela inspeção termográfica dos módulos fotovoltaicos.

Tipo de anomalia térmica	Descrição	Possíveis defeitos
	O painel está sobreaquecido em relação aos vizinhos	O painel não está funcionando
	Fileira de células sobreaquecidas	Curto-circuito na string de células
	Padrão aleatório de células sobreaquecidas	O painel não está funcionando
	Sobreaquecimento parcial de uma célula	A célula está rompida
	Aquecimento em uma região específica com mais de uma célula	Células fissuradas ou outros defeitos
	Sobreaquecimento de uma célula específica	Defeito não determinado

Fonte: Villalba,2020

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final do presente trabalho, conclui-se que a termografia se apresenta como uma técnica eficiente para análise comportamental de pontos quentes, com grande potencial para verificação do desempenho e integridade física de painéis fotovoltaicos, uma vez que a mesma provê meios para inspeção a longas distancias

e de forma não intrusiva, além de detectar falhas iniciais, diminuir os custos de manutenção dos módulos fotovoltaicos e aumentar a sua vida útil, sendo que esta técnica quando associada ao uso de Vants, torna-se altamente vantajosa com alto custo benefício já que reduz em até 90% do tempo de inspeção, e sendo realizada remotamente em qualquer dia de sol preferencialmente, sem a necessidade de desligamento da usina, além disso o custo de uma inspeção termográfica com VANTs é altamente econômico girando em torno de R\$2,00 a R\$2,50 por módulo inspecionado, a depender do tamanho do parque fotovoltaico. Porém, para o correto diagnóstico termográfico e correta identificação da falha é necessário considerar os fatores meteorológicos e físicos de ensaio, fundamentada em aspectos metrológicos, além da inspeção visual dos módulos e de testes de medição, a fim de aumentar a confiabilidade da inspeção realizada.

Como sugestão para próximas pesquisas tem-se ainda a possibilidade de ser desenvolvido um de experimentação *in loco* para mensurar o tempo de diagnóstico com o uso de VANTs associado a câmera termográfica. E ainda o levantamento dos processos de diagnósticos com a inclusão de novas tecnologias como uso de otimizadores de potência, inteligência artificial e associação de realidade aumentada.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa, Nº 687, 24 de Novembro de 2015.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf> Acesso em: 20 set. 2019.

AVELLAR, Gustavo Silva Castilho de. **Navegação de veículos aéreos não tripulados para cobertura de áreas com minimização de tempo** [manuscrito] 2014. Disponível em <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-9NBGXR>>. Acesso em: 09 jan 2020.

ARAÚJO, M. V. M. de. **Aplicação do FMEA como suporte à gestão da manutenção de placas fotovoltaicas.** [Monografia]. Faculdade de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Campina Grande. Sumé, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/BdRT>> Acesso em: 18 out. 2019.

ALBUQUERQUE, Daniela. **O que é manutenção preditiva?** Disponível em: <<https://certificacaoiso.com.br/e-manutencao-preditiva-2/>> Acesso em: 08 jan. 2020.

BLAIN,L.;**Hybrid VTOL fixed-wing drone flies for 2 hours.** 2017;<Disponível em: <https://newatlas.com/carbonix-volanti-vtol-fixed-eing-industrial-uav/48253/>>.Acesso em: 05 ago. 2020.

BRIOSCHI, M.;**Termografia fisiopatológica.** 2018;<Disponível em: <https://www.termocam.com.br/termografia/termografia-fisiopatologica/>>.Acesso em: 05 ago. 2020.

BUERHOP, C.; SCHLGEL, D.; NIESS, M.; VODERMAYER, C.; WEIBMANN, R.; BRABEC, C.J. Reability of IR-imaging of PV-plants under operating conditions. **Solar Energy Materials & Solar Cells.** pp. 154-164. 2012.

CANTOR, G.A.R. **Influência dos fatores climáticos no desempenho de módulos fotovoltaicos em regiões de clima tropical.** [Dissertação]. Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017. 176f. Disponível em: <https://bit.ly/2SxcSPz>. Acesso em: 09 out. 2019.

CARNEIRO, J. **Módulos Fotovoltaicos – Características e Associações.** [Dissertação]. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Escola de Ciências da Universidade do Minho. Portugal, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/16961>. Acesso em: 10 set. 2019.

CAVENAGHI, G. L. C. **Modelo ontológico e método FMEA aplicados à análise de falhas em painéis fotovoltaicos.** [Monografia]. Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2014. Disponível em: < <https://bit.ly/39nnlOQ> > Acesso em: 12 out. 2019.

CEPEL-Centro de Pesquisas em Energia Elétrica,2014.**Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**.Rio de Janeiro: CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.

CEZAR, C. L. **Sistema de gestão da manutenção industrial utilizando termografia: aplicação na usina termelétrica da CAAL – Alegrete**. [Monografia]. Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal do Pampa da Faculdade. Alegrete. 2012. Disponível em: <http://twixar.me/tdRT>. Acesso em: 11 out. 2019.

CYRINO, L.;**Termografia em linhas de transmissão**. 2015;<Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/termografia-em-linhas-de-transmissao> >. Acesso em: 05 ago. 2020.

DI SOUZA, R. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica: livro digital de introdução aos sistemas solares**. BlueSol Educacional. 2016. Disponível em: <https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>. Acesso em: 07 set. 2019.

DINIZ, A.S.A.C., NETO, L.V.M., PONCE, F. R. A., SCHIRM, R., FARIA, L.P. P. - **Avaliação da Taxa de Degradação do Desempenho de Módulos e de Sistemas Fotovoltaicos**. (Projeto de pesquisa). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Instituto Politécnico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Grupo de Estudos em Energia – GREEN. Belo Horizonte, 2012.

DOS ANJOS, R. S. **Análise e simulação de pontos quentes em painéis fotovoltaicos**. [Dissertação]. Engenharia Eletrotécnica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/6746/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

DALINDO,A.;**Termografia na inspeção de riscos**. 2018;<Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/termografia-na-inspe%C3%A7%C3%A3o-de-riscos-adalberto-dalindo>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

DIEGOLI, B. B.; GAVLAKI, D.; **Termografia-Aplicações além da manutenção elétrica**. 2018;<Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/17360-termografia-aplicacoes-alem-da-manutencao-eletrica>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

EKE, R., KAVASOGLU, A. S., KAVASOGLU, N. **Design and implementation of a low-cost multi-channel temperature measurement system for photovoltaic modules. Measurement**. pp. 1499-1509. 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/21108189/Design_and_implementation_of_a_low-cost_multi-channel_temperature_measurement_system_for_photovoltaic_modules Acesso em: 15 out. 2019.

ELEKTSOLAR. **Energia solar fotovoltaica: Vantagens e Desvantagens**. 2018. Disponível em: <<https://elektsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 14 de setembro de 2019.

ELEKTSOLAR.; **SNEC 2019:Huawei dá impulso á inteligência artificial para evolução dos sistemas fotovoltaicos.** 2019;<Disponível em: <https://elektsolar.com.br/snec-2019-huawei-da-impulso-a-inteligencia-artificial-para-evolucao-de-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

ERG. **Levantamento Aéreo não tripulado (VANT).** Disponível em: <<https://www.ergbh.com.br/levantamento-aereo-nao-tripulado-vant/>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

ES ENGENHARIA,.; **Análise preditiva-Termografia.** 2019;<Disponível em: <https://www.esengenharia.com/inspecao-por-termografia-em-paineis-eletricos-ou-tubulacoes>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

FERRAZ, Fagner. **Manutenção Preditiva.** Notas de Aula. Disponível em : <<https://fagnerferraz.files.wordpress.com/2011/11/aula-5-manutenc3a7c3a3o-preditiva.pdf>> Acesso em: 10 jan. 2020.

FERREIRA, R.A.M. **Metodologia para avaliação do desempenho de painéis fotovoltaicos utilizando um modelo elétrico-térmico e termografia quantitativa.** [Tese]. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-B62JU2/1/tese_n_174___rafael_augusto_magalh_es_ferreira.pdf. Acesso em: 11 out. 2019.

FONSECA ALVES, R.H. **Estudo de geração fotovoltaica distribuída: análise econômica e o uso de redes neurais artificiais.** [Dissertação]. Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2017. 160f. Disponível em: <http://twixar.me/YdRT>. Acesso em: 11 out. 2019.

GARCIA, S.B.; ZANESCO, I.; MOEHLECKE, A.; FEBRAS, F. S. **Análise por termografia de módulos fotovoltaicos com células solares com base n e diferentes malhas de metalização posterior.** IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES – São Paulo, SP. 2012. Disponível em:< <http://twixar.me/RdRT>> Acesso em: 10 out. 2019.

GUIMARÃES, Gabriel. **Aprenda a realizar a manutenção de sistemas solares fotovoltaicos.** Disponível em : <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/aprenda-a-realizar-a-manutencao-de-sistemas-solares-fotovoltaicos/>> Acesso em 08 jan. 2020.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.** [Dissertação]. Escola de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007. 146 f. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8608/JOHNINSONIMHOFF.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 30 ago. 2019.

KIM, K. A.; KREIN, P. T. **Photovoltaic Hot Spot Analysis for Cells with Various Reverse-Bias Characteristics through Electrical and Thermal Simulation.** IEEE

14th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics, pp. 1-8, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2HbRSZd>> Acesso em: 10 set. 2019.

KRENZINGER, A.; ANDRADE, A.C. **Accurate outdoor glass thermographic thermometry applied to solar energy devices**. Solar Energy, vol. 81, 2007; pp. 1025-1034. Disponível em: <https://bit.ly/37gQuzc>. Acesso em: 10 out. 2019.

LAND. Instruments International. A Basic Guide to Thermography. **Training Thermography**, v1/1104. Newtown. EUA. 2004. Disponível em: <https://bit.ly/37hDZ6z>. Acesso em: 15 out. 2019.

MONTEIRO, M.M.M.M.L. **Desenvolvimento de um método de detecção e análise de falhas em centrais fotovoltaicas por termografia**. [Dissertação]. Engenharia da Energia e do Ambiente. Universidade de Lisboa. Lisboa, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2OK2QcR>. Acesso em: 10 out. 2019.

NASCIMENTO, F.M.; QUADROS, C.J.; SILVA JUNIOR, M.F. Planejamento de manutenção preditiva com uso de termografia em redes de distribuição. **Revista Espacios**. 2019; 40(34). ISSN 0798 1015. Disponível em: <https://revistaespacios.com/a19v40n34/a19v40n34p27.pdf> Acesso em 10 out. 2019.

NETO, R.P.M.; **Exemplos de alguns drones comerciais de asa fixa**. 2017; <Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Exemplos-de-alguns-Drones-comerciais-de-asa-fixa-a-QuestUAV-b-senseFly_fig1_333081408>. Acesso em: 05 ago. 2020.

OBRA 3D,.; **Drones com câmera termográfica monitorizam painéis solares fotovoltaicos**. 2019; <Disponível em: <https://www.obra3d.com.br/2019/03/drones-com-camera-termografica-monitorizam-paineis-solares-fotovoltaicos>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

OLIVEIRA, M.; **Entenda como a inteligência artificial tem mudado o mundo da energia**. 2019; <Disponível em: <https://solarview.com.br/inteligencia-artificial>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

OLIVEIRA, M.C.C.; DINIZ CARDOSO, A.S.A.; VIANA, M.M.; LINS, V.F.C. The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules. **A review**, 2018. 2299-2317. Disponível em: <http://twixar.me/QdRT>. Acesso em: 09 out. 2019.

PECHARROMÁN, José María Peral. VEIGA, Ricardo. Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados – Relatório. PROJETO APOIO AOS DIÁLOGOS SETORIAIS UNIÃO EUROPEIA – BRASIL. **Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil**. Disponível em <<http://twixar.me/MdRT>> Acesso em: 09 jan. 2020.

RAMOS, Camila. *et al.* Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil /– Brasília : Sebrae, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/NdRT>> Acesso em: 10 jan. 2020.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**: o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil: Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis, 2004. Disponível em: <https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.

RÜTHER, R.; KNOB, P. J.; JARDIM, C. D. S.; REBECHI, S. H. Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil. **Energy Conversion and Management**. Issue 5, v.49, p.6, 2008. Disponível em: <http://twixar.me/7dRT> Acesso em: 30 set. 2019.

SAIDAN, M.; ALBAALI, A.G.; ALASIS, E.; KALDELLIS, J.K. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. **Renewable Energy**, 2016. (2): 599-505. Disponível em: <https://www.cheric.org/research/tech/periodicals/view.php?seq=1442064>. Acesso em: 10 out. 2019.

SHARMA, V.; CHANDEL, S.S. A novel study determining early life degradation of multi-crystalline-silicon photovoltaic modules observed in western Himalayan Indian climatic conditions. **Solar Energy**. 2016. 134: 32-44. Disponível em: <https://bit.ly/2urMVch>. Acesso em: 25 set. 2019.

SILVA, B.P.A. **Metodologia para a determinação de temperatura em painéis fotovoltaicos por meio de termografia quantitativa**. [Dissertação]. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017. 60f. Disponível em: <http://twixar.me/PdRT> Acesso em: 03 out. 2019.

SIMIONI, T. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil**. [Dissertação]. Programa de Planejamento Energético. Instituto Luiz Alberto Coimbra. Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://twixar.me/cdRT> Acesso em: 02 out. 2019.

SINGH, P.; RAVINDRA, N.M. Temperature dependence of solar cell performance an analysis. **Solar Energy Materials & Solar Cells**. v. 101, pp. 36 - 45. 2012. Disponível em: <https://web.njit.edu/~sirenko/PapersNJIT/1-s2.0-S0927024812000931-main.pdf> Acesso em: 02 out. 2019.

SAKÔ, E. Y.; SILVA, J. L. S.; MESQUITA, D. B.; CAMPOS R. E.; MOREIRA, H. S.; VILLALVA, M. G. **Concepts and Case Study of Mismatch Losses in Photovoltaic Modules**. In: 15th Brazilian Power Electronics Conference IEEE/COBEP 2019, Santos-SP, 2019.

SOUZA, A.P.; **Drones conceitos e componentes**. 2015; <Disponível em: https://www.fasul.edu.br/projetos/app/webroot/files/controle_eventos/ce_producao/20151027-205154_arquivo.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2020.

SOUSA, G.W.R. **Um estudo de instalação de sistema fotovoltaico em edificações de pequeno porte**. [monografia]. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018. 83f. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024105.pdf>. Acesso em: 11 out. 2019.

TSANAKAS, J. A.; HA, L. D.; AL SHAKARCHI, F. **Advanced inspection of photovoltaic installations by aerial triangulation and terrestrial georeferencing of thermal/visual imagery**. *Renewable Energy*, 2017. 224-233. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.046>. Acesso 14 set. 2019.

TARPANI, J. R.; ALMEIDA, E.G.R.; SIMÊNCIO, E.C.A.; MOTA, L.P.; PAZ, J.H.A.A.; GUALBERTO, A.R.M., *et al.* Inspeção termográfica de danos por impacto em laminados de matriz polimérica reforçados por fibras de carbono. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. 2009; 19(4): 318-328. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/470/47020179012.pdf> Acesso em: 10 out. 2019.

TEUBNER, J.; KRUSE, I.; SCHEUERPFUG, H.; LUTZ, C.B.; HAUCH, J.; CAMUS, C.; BRABEC, C.J. Comparison of Drone-based IR-imaging with Module Resolved Monitoring Power Data . **Energy Procedia**, v.124, p.560-566, 2017.

TESTO INC. **Practical guide: Solar Panel Thermography**. Lenzkirch, Alemanha, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2H9akSq>> Acesso em: 05 out. 2019.

TROTEC,.; **Termografia infravermelha para sistemas fotovoltaicas**. 2020; <Disponível em: <https://pt.trotec.com/aplicacoes/tecnologia-de-medicao-termografia/aplicacoes-fotovoltaicas/qual-camera-infravermelha>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

VARELLA, F. K. de O. **Estimativa do Índice de Nacionalização dos Sistemas Fotovoltaicos no Brasil**. 2009. 148 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <<https://bit.ly/2vm9ZsO>>. Acesso 14 set. 2019.

VILLALVA, M.G.; **MLPE e otimizadores de potência para módulos fotovoltaicos**. 2020; <Disponível em: <https://canalsolar.com.br/artigos/artigos-tecnicos/item/341-mlpe-otimizadores-de-potencia>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

VILLALVA, M.G.; **Termografia aérea de usinas fotovoltaicas**. 2020; <Disponível em: <https://canalsolar.com.br/artigos/artigos-tecnicos/item/611-termografia-aerea-de-usinas-fotovoltaicas>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

ZILLES, R.; MACÊDO, W.N.; GALHARDO, M.A.B.; OLIVEIRA, S.H.F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Ed. 1. São Paulo: Oficina de Textos,

2012. <Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/livro/sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-rede-eletrica/>>. Acesso em: 17 out. 2019.