

DETECÇÃO DE FALHAS USANDO ELETROLUMINESCENCIA AÉREA DE BAIXO CUSTO

Aline Kirsten Vidal de Oliveira – alinekvo@gmail.com
Amanda Mendes Ferreira Gomes - amandamendesfg@gmail.com
Caroline Bedin – carolinebed@gmail.com
Gustavo Xavier de Andrade Pinto - gustavoxap@gmail.com
Guilherme Hosoda Souza Reis - guilhermehosoda@gmail.com
Ricardo Rütther – rruther@gmail.com
Universidade Federal da Santa Catarina, Laboratório Fotovoltaica-UFSC

Resumo. *Métodos sofisticados e precisos têm sido desenvolvidos para detecção de falhas em Usinas Solares Fotovoltaicas (FV), para que inspeções sejam eficientes, com qualidade e da forma mais rápida possível. O método de eletroluminescência (EL), utilizando câmeras de alta complexidade e custo, já é amplamente utilizado pelos fabricantes de módulos FV para avaliar a qualidade do produto final de sua linha de produção. O presente trabalho apresenta uma solução de câmera de baixo custo sensível a EL adaptada a um Veículo Aéreo não Tripulado (VAnT), visando tornar o experimento de EL mais rápido e eficiente, cobrindo grandes áreas em um curto espaço de tempo. Um voo foi realizado sobre um seguidor solar FV instalado e em operação no Laboratório Fotovoltaica-UFSC, em Florianópolis. O VAnT adaptado com a câmera de EL de baixo custo foi capaz de captar as mesmas falhas que uma câmera de alta qualidade acoplada a um tripé em solo. Este resultado foi positivo e é capaz otimizar as inspeções em grandes usinas devido a sua redução no tempo do procedimento. Neste caso, o fator limitador foi a fonte de tensão de corrente contínua utilizada, já que a mesma deve ser robusta o suficiente para energizar diversos módulos ao mesmo tempo, ou ainda, é necessário empregar um sistema de chaveamento, permitindo a energização de forma sequencial nas séries. O experimento mostrou que é possível realizar diagnóstico de falhas de módulos FV utilizando a técnica de EL aérea (aEL) de baixo custo.*

Palavras-chave: *Eletroluminescência (EL), Inspeção de Usinas FV, Detecção de Falhas.*

1. INTRODUÇÃO

Recentemente houve no Brasil um acréscimo no número de instalações fotovoltaicas (FV), apresentando, segundo dados da IRENA de 2018 (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2018), entre os anos de 2016 e 2017, um aumento de 1000% na capacidade FV instalada no país. Com o aumento do número de sistemas FV instalados, a avaliação da confiabilidade e durabilidade desta tecnologia se tornou essencial, especialmente para altas tensões.

A avaliação do estado de integridade dos módulos FV limitou-se, durante muito tempo, ao uso de medidas dos parâmetros elétricos, caracterizando módulos e arranjos como um todo. Com o passar dos anos e o avanço da tecnologia, permitiu-se a utilização de métodos mais refinados, como os que englobam o uso da luminescência, dentre eles: Infravermelho (IR), Fotoluminescência (FL) e Eletroluminescência (EL) (Ulrike Jahn et al., 2018).

O método de EL, utilizando câmeras de alta complexidade e custo, já é amplamente utilizado pelos fabricantes de módulos FV para avaliar a qualidade do produto final de sua linha de produção. Porém, câmeras digitais convencionais têm sido adaptadas para que possam realizar os testes em laboratório e em campo, com custos reduzidos (Ulrike Jahn et al., 2018).

Além do número de usinas FV no Brasil ter aumentado, o tamanho delas também vem crescendo drasticamente. Com isso, um método eficiente e rápido para detecção das falhas é requerido, para que assim, as perdas energéticas sejam minimizadas. A EL já se prova como um método para detecção de falhas, mas para que uma grande área seja analisada em um curto espaço de tempo, soluções como adaptação de câmeras específicas para EL e Veículos Aéreos não Tripulados (VAnTs) estão começando a ser utilizadas (Ulrike Jahn et al., 2018). Devido ao alto custo desses equipamentos e a baixa disponibilidade no Brasil, este trabalho propõe uma solução de baixo custo para eletroluminescência aérea (aEL). Para a análise do método, experimentos serão realizados em módulos instalados e em operação em um seguidor solar FV no Laboratório Fotovoltaica-UFSC (www.fotovoltaica.ufsc.br), em Florianópolis-SC. Este artigo irá descrever o método e sua validação, além de fazer uma revisão dos métodos tradicionais de EL e aEL.

2. ELETROLUMINESCÊNCIA

EL é um método não invasivo para a detecção de defeitos em células e módulos FV. A EL é obtida de fótons emitidos na recombinação radioativa de portadores de cargas excitados sob polarização direta (Frazão et al., 2017).

Uma fonte de tensão externa é usada para estimular eletricamente o módulo para emitir radiação eletroluminescente. A Fig.1 esquematiza o procedimento em que uma fonte de tensão é utilizada para polarizar reversamente o módulo e uma câmera adaptada é utilizada para captar a radiação EL emitida pelo módulo FV.

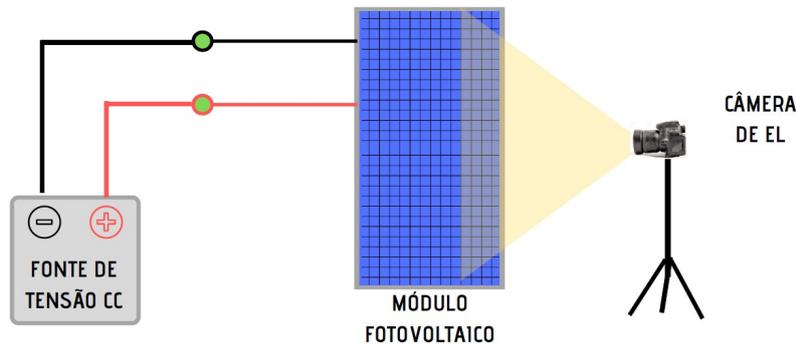


Figura 1 - Esquema para obtenção de imagens de EL.

Defeitos em células provocarão localmente a redução ou a perda total de emissão de radiação EL, conseqüentemente serão visualizadas como áreas pretas por câmeras que são sensíveis a estes comprimentos de onda (Djordjevic et al., 2014). Logo, este método pode ser utilizado para detecção de falhas, células quebradas ou degradadas. O procedimento também é útil para certificações, comprovando que as células estão em perfeitas condições de operação.

Atualmente, o mercado disponibiliza avançadas soluções comerciais para obtenção de tais imagens, dentre elas existem aplicações com detectores a base de Arseneto de Índio Gálio (InGaAs) e Silício (Si). Porém, aplicações de baixo custo podem ser empregadas adaptando-se câmeras digitais convencionais, com a extração do filtro infravermelho, permitindo a visualização da faixa eletroluminescente do silício cristalino (Eissa et al., 2018; Figueiredo and Pinho Almeida, 2018).

A Fig. 2 apresenta a faixa de emissão espectral de módulos de c-Si e a eficiência quântica do sensor da câmera utilizada para obter as imagens de EL (Ulrike Jahn et al., 2018). Observa-se que a emissão do c-Si não se encontra na faixa da luz visível, mas na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético (entre 900nm e 1300nm), conhecida como NIR (Próxima ao Infravermelho, do inglês *Near Infrared*), sendo que seu pico dá-se no comprimento de onda de 1.150nm, o sensor CMOS (Semicondutor de Metal-Óxido Complementar, do inglês *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) adotado tem uma baixa eficiência quântica na porção de comprimento de onda ao longo do espectro de c-Si.

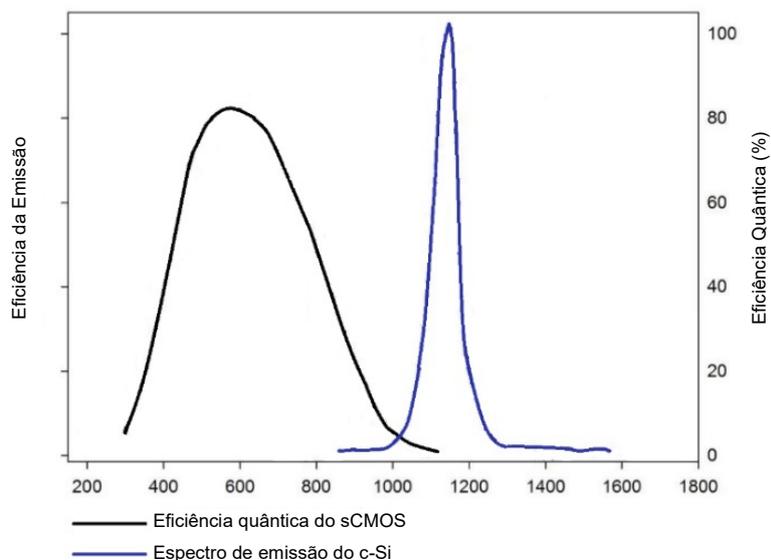


Figura 2 - Espectro com a faixa de emissão de células de Silício Cristalino e a eficiência quântica de câmeras com sensor do tipo sCMOS (Adaptado de Ulrike Jahn et al., 2018).

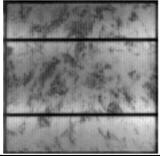
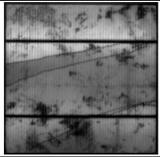
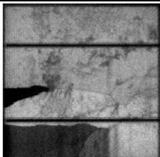
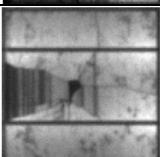
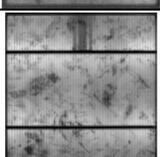
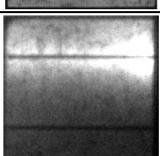
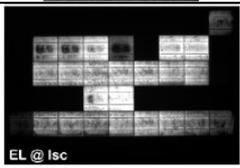
Apesar de parecer impossível captar imagens de EL com esse tipo de sensor, algumas medidas podem ser empregadas para possibilitar o teste de EL, como remover o filtro infravermelho da câmera. As câmeras tradicionais

vêm equipadas com este filtro para que a imagem fique o mais próximo possível daquela que enxergamos a olho nu, ou seja, o filtro retira da imagem a parte correspondente ao comprimento de onda infravermelha. Logo, para que possa se enxergar tal faixa, o filtro é removido.

Outra medida que auxilia na obtenção das imagens é obter as fotos em ambientes com baixa incidência de luz. Em laboratório essa condição ambiente torna-se relativamente simples de ser atingida, bastando desligar as luzes e impedir o máximo possível que a iluminação externa entre na sala. Porém, em campo, o experimento tem um grau de dificuldade elevado. O experimento deve então ser realizado exclusivamente durante a noite, permitindo a visualização da emissão eletroluminescente.

Diversos tipos de falhas podem ser detectados com este método. A Tabela 1 foi adaptada do relatório IEA-PVPS (2014) e mostra algumas das falhas que podem ser vistas através de imagens de EL, além disso, são expostas células que não apresentam perdas para o sistema, como é o caso da célula A da Tab. 1. Também pode ser visto na coluna G, um módulo FV afetado por PID e sua característica padrão de bordas mais escuras.

Tabela 1 – Padrões para detecção de falhas em módulos FV através de imagens de EL. Adaptado de (Köntges et al., 2014).

	Categoria	Descrição	Imagem
A	Células sem falhas	Deslocamento dos cristais em uma célula de silício multicristalino.	
B	Células com falhas	Célula rachada, porém, a rachadura não interfere que grande parte da corrente continue fluindo pela célula.	
C	Células com falhas	Célula rachada, neste caso a rachadura isola completamente parte da célula.	
D	Células com falhas	Dedos mortos causados por rachaduras nas células.	
E	Células com falhas	Dedos mortos causados pelo processo de soldagem.	
F	Células com falhas	Interconexão de célula desconectada.	
G	Padrão de células em módulos FV	Degradação Induzida por Potencial, pode ser detectada nas fotos de EL antes mesmo de começar a de perdas de potência serem percebidas.	

Algumas falhas de módulos FV podem ter alguns defeitos facilmente visualizados a olho nu, como mostra a Fig. 3 (a). Este módulo sofreu um dano físico e foi severamente danificado. Os danos causados no vidro podem ser claramente identificados na Fig. 3 (a). Somado a estes danos, a Fig. 3 (b) apresenta a imagem de EL do mesmo módulo, expondo falhas invisíveis a olho nu, ou seja, além das células localizadas na parte superior esquerda, outras partes também sofreram com o impacto do objeto. Por isso, a imagem de EL é popularmente conhecida como o raio X do módulo fotovoltaico.

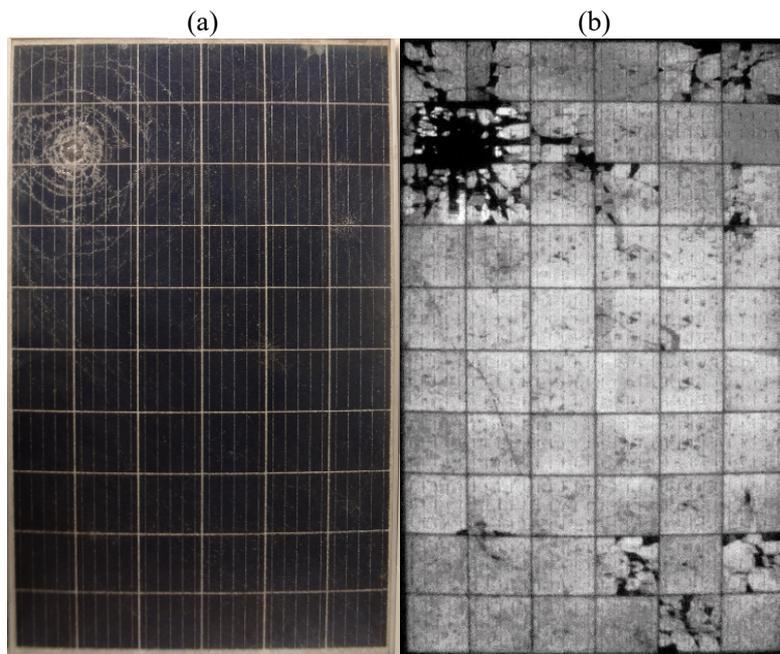


Figura 3 - (a) Módulo FV com dano. (b) EL do módulo FV com dano.

Na Fig. 4 vemos com mais detalhes 9 células do módulo. As células 1, 2, 5, 7 e 9 claramente apresentam mini rachaduras, que só são observados em imagens de EL, pois são pequenas rachaduras no material semiconductor, que não necessariamente estão acompanhadas de fissuras no vidro do módulo FV. Ao longo dos anos estas rachaduras podem evoluir, apresentado um risco para o sistema. As demais células 3, 4, 6 e 8 não parecem ter sido afetadas. As partes escuras nas células não afetadas são reflexos o processo de fabricação das células, onde há a formação de deslocamentos na estrutura dos cristais, mas não representam perdas ou falhas no módulo.

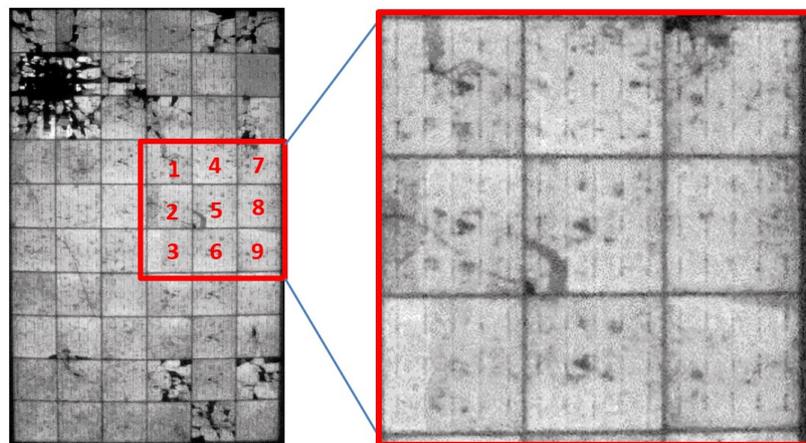


Figura 4 - EL de um módulo FV com dano com detalhe para nove células.

3. ELETROLUMINESCÊNCIA AÉREA

O uso de Veículos Aéreos não-Tribulados (VAnT), popularmente chamados drones, para a inspeção de grandes usinas FV tem aumentado significativamente ao longo dos anos. A aplicação mais comum é a análise termográfica dos sistemas FV. A automação desta técnica atingiu níveis tão elevados que redes para detecção automática de falhas, estão sendo desenvolvidas (Ulrike Jahn et al., 2018).

Utilizando o mesmo princípio da termografia aérea, alguns trabalhos de aEL começaram foram publicados recentemente (Adams et al., n.d.; Benatto et al., 2009; Koch et al., 2016; Ulrike Jahn et al., 2018). Porém, estes sistemas ainda são caros e não estão disponíveis no Brasil.

Em seu relato, Koch (2016), levantou algumas justificativas para a necessidade da realização da inspeção de grandes volumes de módulos FV em campo em um curto espaço de tempo. Dentre elas estão o aumento do número de grandes usinas FV conectadas a rede, a necessidade de detectar fontes de falhas, aumentar a confiança dos investidores em relação a possíveis falhas nos módulos, apoio financeiro e subsídio. Estes dois últimos estão relacionados com

mercados como da Alemanha e Itália que começam a dar apoio financeiro para projetos de acordo com a receita de kWh produzidos, ou seja, a falha nos módulos pode causar perigos para o financiamento de projetos.

A

Figura 5

Figura 5 - Ilustração do procedimento para obtenção de aEL. No procedimento, uma fonte de tensão é utilizada para polarizar reversamente uma série de módulos FV, enquanto um VAnT equipado com uma câmera sensível a faixa de emissão de radiação EL captura imagens dos módulos.

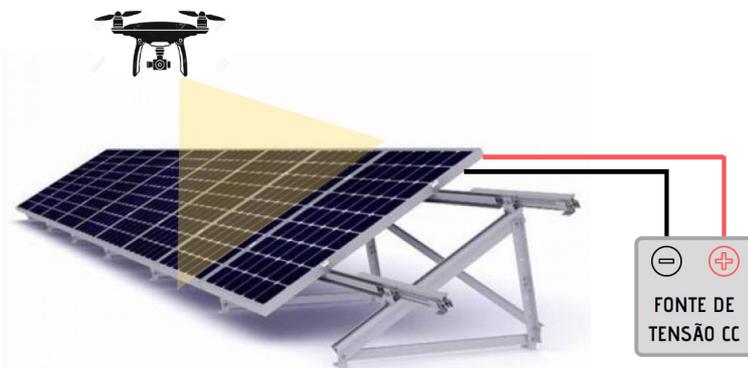


Figura 5 - Ilustração do procedimento para obtenção de aEL.

Nem todas as câmeras que captam a radiação EL são indicadas para a aEL, pois neste caso é requerida uma alta sensibilidade e um tempo de exposição baixo. Além disso, o ângulo da câmera deve ser ajustável, garantindo um ângulo perpendicular ao módulo (Ulrike Jahn et al., 2018).

Como mencionado anteriormente, a inspeção de EL depende da polarização dos módulos através de uma fonte de tensão. Fontes de tensão disponíveis comercialmente podem ser conectadas a módulos individuais ou séries inteiras. A determinação do número de módulos que podem ser conectados em série depende da potência da fonte utilizada, sendo que quanto maior o número de módulos conectados em série, maior deverá ser a potência entregue pela fonte de tensão.

Durante os testes, as séries ou módulos são manualmente conectadas e desconectadas na fonte de tensão CC. Este procedimento manual não se torna viável para testes de aEL, pois o curto tempo de voo requer um chaveamento rápido entre séries ou módulos. É possível utilizar caixas de junção, como as desenvolvidas por Fladung Solartechnik GmbH, capazes de conectar mais de 100 arranjos de módulos e série. Estas farão o chaveamento entre as séries, energizando uma por vez, permitindo que o VAnT capture todas as imagens necessárias. Esta é uma solução avançada e de alto custo, porém, o procedimento pode ser simplificado utilizando outras maneiras de chaveamento, com o uso de fusíveis ou disjuntores (Koch et al., 2016).

O método proposto por Benatto (2009) utiliza equipamentos ainda mais avançados no procedimento de aEL. No trabalho, as imagens de EL podem ser obtidas durante o dia, com uma câmera de alta tecnologia e filtros com uma banda de passagem que excluem a luz solar e que permitem a visualização da parte do espectro correspondente a emissão EL. Além disso, uma aquisição sequencial de imagens é obtida, viabilizando a realização de um tratamento de imagem que reduza o ruído associado as medições. Este tratamento é feito com a média das imagens obtidas e a remoção do fundo da foto. Uma foto é capturada com a fonte de tensão CC ligada e outra quando a fonte é desligada. Se uma foto for subtraída da outra, teremos como resultado a radiação EL pura, que é emitida quando o módulo é reversamente polarizado (Benatto et al., 2009).

Dentre as vantagens associadas ao uso da aEL também podemos destacar a diminuição de riscos associados a medições realizadas nos telhados de edificações e residências; a possibilidade de ajuste de altura para obtenção das imagens, sendo que o número de módulos por foto pode ser facilmente ajustado; além disso, ao invés de fotos, a câmera adaptada ao VAnT pode capturar vídeos, o que abre novas possibilidades para a análise das instalações FV (Koch et al., 2016).

4. METODOLOGIA

A alternativa de baixo custo de aEL proposta, consiste em uma câmera GoPro HERO 3 Plus Black® adaptada a um VAnT comercial DJI Phantom 4 Pro. A câmera tem um sensor de Silício, do tipo CMOS, que apresenta uma baixa eficiência quântica na faixa de emissão dos módulos de Silício cristalino (c-Si). Desta forma, para permitir que o efeito eletroluminescente do módulo seja capturado pela GoPro®, o filtro infravermelho da câmera foi previamente removido. A análise da qualidade das fotos obtidas por este equipamento, é apresentada nos resultados, juntamente com o

resultado de uma câmera Canon EOS M3 - PV vision EL Lens 1.4/50, específica para EL para fins de comparação. Comparando as imagens obtidas com o VAnT + GoPro® e as obtidas com tripé + câmera de alta tecnologia, podemos avaliar se o método de baixo custo de aEL é efetivo ou não e até onde a solução consegue detectar as falhas em campo, diante das limitações da sensibilidade da lente da GoPro®.

A câmera original do VAnT foi retirada e um suporte para a GoPro® foi instalado em seu lugar. A Fig. 6 mostra o resultado da adaptação da câmera ao VAnT.



Figura 6 – GoPro HERO 3 Plus Black® adaptada a um VAnT DJI Phantom 4 Pro.

As imagens captadas pela GoPro® foram transmitidas em tempo real para um celular através do próprio aplicativo da câmera (GoPro® app), que opera com o uso de rede sem fio (*wireless*).

Além das adaptações já citadas, todas as partes do VAnT que emitem luz foram cobertas por fita isolante preta, assegurando que tal iluminação não interfira nas imagens através da reflexão nos módulos FV.

Para validação da metodologia de aEL, um experimento foi realizado nos módulos de silício cristalino instalados no seguidor solar FV exibido na Fig. 7. Foram realizados testes com o VAnT voando a diferentes alturas, de forma a identificar a melhor altura para a inspeção. A altura definida deve permitir a detecção de todas as falhas com qualidade, porém de maneira ágil.



Figura 7 – Seguidor solar de um eixo, sendo que o sistema da direita é composto por módulos de silício cristalino, que foram utilizados para o experimento.

Durante o período noturno, os seguidores solares das instalações FV permanecem na posição de 0° (*stow*). A obtenção de imagens de EL nesta situação, com o uso de tripés, torna-se arriscada e demorada, devido a necessidade de colocar o tripé sob o módulo, para obtenção da imagem. O uso do VAnT permite que o ângulo da câmera seja ajustado e a imagem obtida em um ângulo reto (90°).

Durante o experimento, a fonte de tensão regulada CC do modelo FCCCAMH 350-60/27-50-i e potência 6 kW foi utilizada para energizar todos os oito módulos FV ao mesmo tempo. A corrente de excitação utilizada corresponde a 80% da corrente de curto-circuito (I_{cc}) do módulo FV, corrente adequada para tais medições.

5. RESULTADOS

Com o voo de aEL realizado, foi possível validar e ajustar o método proposto. Durante os primeiros testes realizados, foi percebido que a captura de imagens estáticas não seria a melhor abordagem, devido à dificuldade de manter o VAnT imóvel, evitando assim fotos borradas. Portanto, as imagens aqui analisadas, foram obtidas através de vídeos. As adaptações feitas no VAnT fizeram com que seu peso aumentasse e, conseqüentemente, a autonomia das baterias fossem modificadas, reduzindo em cerca de 50% de seu tempo de voo. Anteriormente sua autonomia era de 20 minutos de voo, passando operar somente durante 10 minutos após as modificações. A condução do VAnT se deu com certa dificuldade, em razão da necessidade de cobrir os LEDs que ele utiliza para localização. Porém, as iluminações de edifícios dos arredores facilitaram a tarefa.

A validação das imagens obtidas com a aEL é apresentada na Tab. 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Para esta validação, foram feitas comparações de imagens com o VAnT e imagens obtidas em solo, com o auxílio de um tripé e uso da câmera Canon EOS M3 - PV vision EL Lens 1.4/50, específica para EL.

O módulo 1 da Tab. 2 não apresenta falhas visíveis nas imagens de EL, para ambos os métodos. Os módulos 2 e 3 possuem uma interconexão de célula desconectada. Esta falha é mais expressiva no módulo 3 e pode causar sérios danos ao sistema. Ambas as falhas foram detectadas pela câmera com tripé e pela aEL, demonstrando que uma câmera de baixa qualidade, em movimento, apresenta um bom compromisso para detecção de falhas em grandes usinas FV.

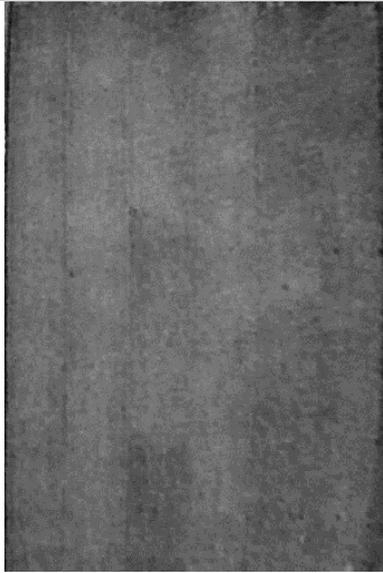
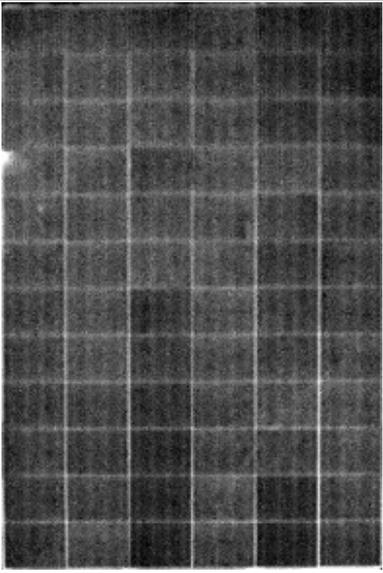
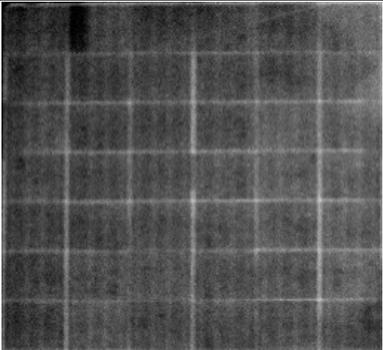
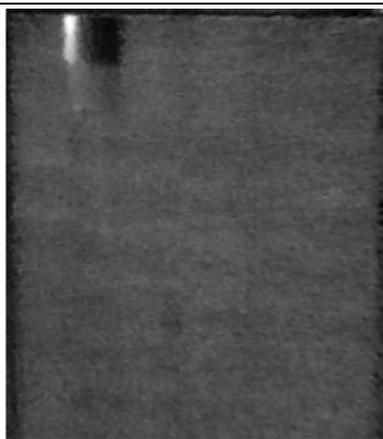
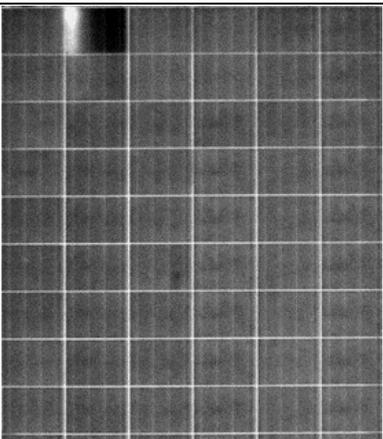
Com o sistema FV reversamente polarizado, é possível realizar voos sob os módulos e captar falhas em menos de um minuto, tempo inferior ao necessário para fotografar cada módulo individualmente, como é necessário fazer com o método tradicional de EL.

Os inúmeros voos foram realizados para testar diferentes alturas e rotas. As imagens obtidas são apresentadas nas Fig. 8 a 10. As imagens seguem uma sequência de diferentes alturas de voo, começando pela mais distante até a mais próxima.

Com estes resultados percebe-se que as falhas podem ser visualizadas com o VAnT próximo ou longe dos módulos, porém, à medida que ele se aproxima do seguidor solar, mais claras ficam as imagens, chegando a captar a interconexão entre células (Fig. 10), mencionadas anteriormente.

O efeito olho de peixe da lente da GoPro®, permite a visualização de grandes áreas, até mesmo a baixas alturas. Isto ajuda na captura de mais detalhes, com mais de um módulo na mesma imagem. Portanto, é importante manter um compromisso com a qualidade da imagem, mas quanto mais alto o voo, mais módulos serão vistos por imagem e menor é o tempo de voo, permitindo o uso do método em grandes escalas.

Tabela 2 - Comparação entre aEL e EL com tripé e câmera de alta tecnologia.

Modulo FV	aEL	EL com tripé
1		
2		
3		

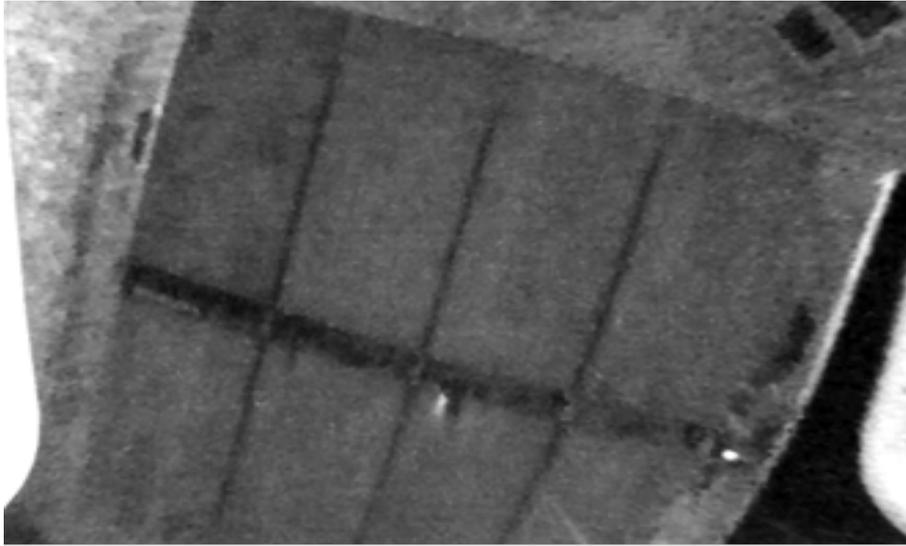


Figura 8 - Imagem de aEL a 2 metros dos módulos.

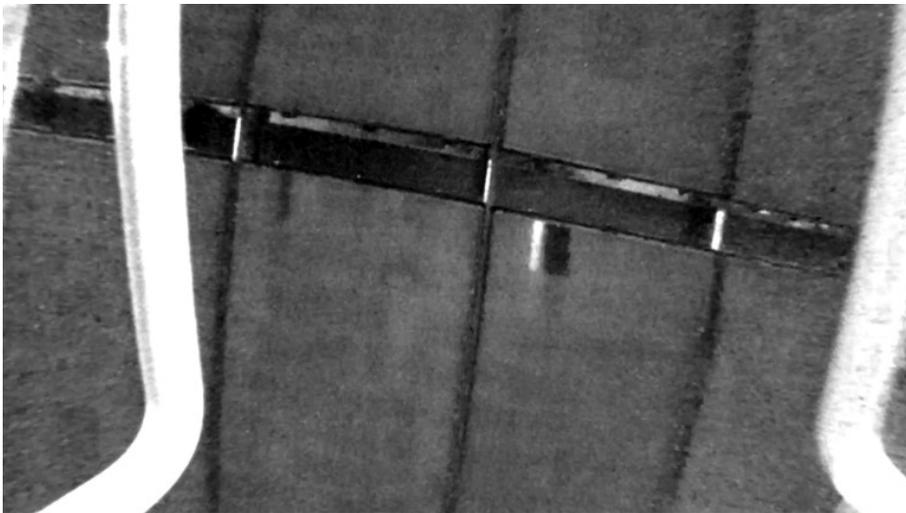


Figura 9 - Imagem de aEL a 1,5 metros dos módulos.

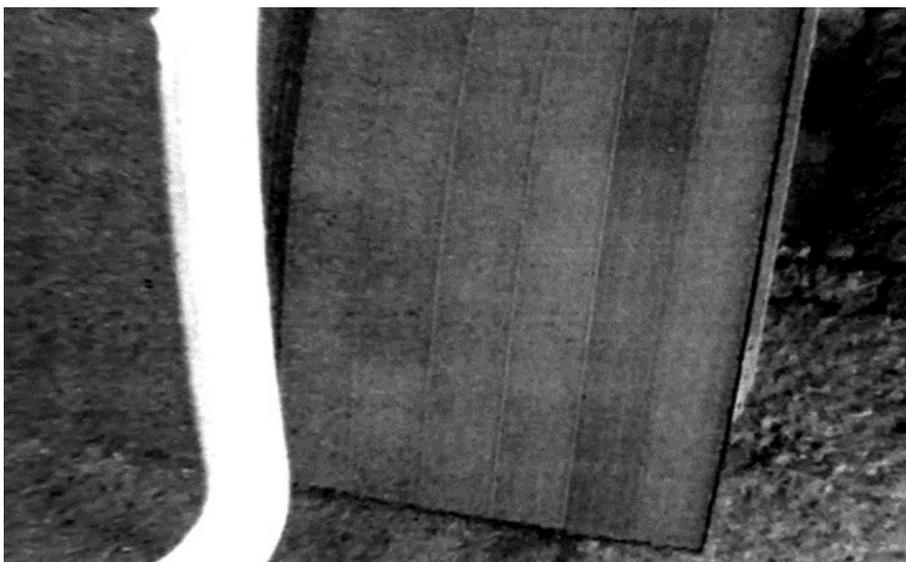


Figura 10 - Imagem de aEL a 0,8 metros dos módulos.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho um método de uso de EL de baixo-custo combinado com VANts foi proposto e comprovado eficiente. Foi demonstrado que as mesmas falhas podem ser detectadas por câmeras de altíssima qualidade em um tripé e por aEL. Além da comprovação do método de aEL foi provado que câmeras de baixa qualidade expõem uma considerável eficiência na detecção de falhas. Apesar de uma câmera de melhor qualidade conseguir captar as falhas com maiores detalhes, a atual solução mostrou um bom custo-benefício para a realização de experimentos que podem detectar falhas em grandes usinas, de forma relativamente rápida.

A detecção das falhas nas usinas utilizando ambos os métodos de EL (aEL e câmera de baixo custo + tripé) apresentou algumas dificuldades, como por exemplo, a obtenção de fotos de EL exige um ambiente que tenha pouca incidência de luz. Em campo as imagens foram obtidas durante a noite, dificultando a visualização do arranjo das séries para a conexão a uma fonte de corrente contínua (CC). Além disso, existe a dificuldade de pilotar o VANt no escuro, já que seus LEDs de localização foram tapados com uma fita para que não atrapalhassem o experimento.

REFERÊNCIAS

- Adams, J., Doll, B., Buerhop, C., Pickel, T., Teubner, J., Camus, C., Brabec, C.J., n.d. NON-STATIONARY OUTDOOR EL-MEASUREMENTS WITH A FAST AND HIGHLY SENSITIVE INGAAS CAMERA.
- Benatto, G.A.D.R., Riedel, N., Thorsteinsson, S., Poulsen, P.B., Thorseth, A., Dam-Hansen, C., Mantel, C., Forchhammer, S., Frederiksen, K.H.B., Vedde, J., Petersen, M., Voss, H., Messerschmidt, M., Parikh, H., Spataru, S., Sera, D., 2009. Development of outdoor luminescence imaging for drone-based PV array inspection. Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis. 2009-Janua, 2682–2687. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2017.8366602>
- Djordjevic, S., Parlevliet, D., Jennings, P., 2014. Detectable faults on recently installed solar modules in Western Australia. Renew. Energy 67, 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.036>
- Eissa, M.A., Silva, J.A., Serra, J.M., Bassiuny, A.M., Lobato, K., 2018. Low-cost electroluminescence system for infield PV modules. 35th Eur. Photovolt. Sol. Energy Conf. Exhib. (EU PVSEC) 50019.
- Figueiredo, G., Pinho Almeida -, M., 2018. Alternativa de Baixo Custo para Imagens em Eletroluminescência de Módulos Fotovoltaicos, in: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar . Gramado.
- Frazão, M., Silva, J.A., Lobato, K., Serra, J.M., Frazão, M., Silva, J.A., Lobato, K., Serra, J.M., 2017. Electroluminescence of silicon solar cells using a consumer grade digital camera. Meas. J. Int. Meas. Confed. 99, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.12.017>
- International Renewable Energy Agency (IRENA), 2018. Feature Dashboard - Capacity and Generation [WWW Document]. URL International Renewable Energy Agency (IRENA) (accessed 12.6.19).
- Koch, S., Weber, T., Sobottka, C., Fladung, A., Clemens, P., Berghold, J., 2016. OUTDOOR ELECTROLUMINESCENCE IMAGING OF CRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC MODULES: COMPARATIVE STUDY BETWEEN MANUAL GROUND-LEVEL INSPECTIONS AND DRONE-BASED AERIAL SURVEYS. Munich.
- Köntges, M., Kurtz, S., Packard, C.E., Jahn, U., Berger, K., Kato, K., Friesen, T., Liu, H., Van Iseghem, M., 2014. Review of Failures of Photovoltaic Modules, IEA-Photovoltaic Power Systems Programme. <https://doi.org/978-3-906042-16-9>
- Ulrike Jahn, Herz, M., Köntges, M., Parlevliet, D., Paggi, M., Tsanakas, I., Stein, J.S., Berger, K.A., Ranta, S., French, R.H., Richter, M., Tanahashi, T., 2018. Review on Infrared and Electroluminescence Imaging for PV Field Applications. IEA PVPS.

FAULT DETECTION USING LOW-COST ELECTROLUMINESCENCE

Abstract. *Sophisticated and accurate methods have been developed for PV plant failure detection, all to make inspections efficient, with quality and as quickly as possible. The electroluminescence (EL) method uses high complexity and cost-effective cameras and is already widely used by PV module manufacturers to evaluate the quality of the product coming out of their production line. The present work presents a low cost EL sensitive camera solution adapted to an unmanned aerial vehicle (UAV), aiming to make the EL experiment faster, and to cover large areas in a short time. An experiment was performed over a solar follower installed and in operation at the Photovoltaic Laboratory - UFSC. The UAV adapted with the low-cost EL camera was able to catch the same faults that a high-quality camera attached to a ground tripod was able to detect. This result was very positive, and can enable inspections in large plants, in a short time. In this case, the limiting factor was the direct current voltage source used, which must be robust enough to energize several modules at the same time, or a switching system must be employed, allowing sequential energization in the strings. The experiment showed that it is possible to perform fault diagnosis of photovoltaic modules using a low-cost aerial EL (aEL) technique.*

Key words: *Electroluminescence (EL), PV Plant Inspection, Fault Detection.*