



## POTENCIAL USO DE CÂMERA TERMAL ACOPLADA A VANT PARA MONITORAMENTO DE CULTURAS

L. A. Viana<sup>1\*</sup>, L. Zambolim<sup>2</sup>, T. V. Sousa<sup>3</sup>, D. C. Tomaz<sup>4</sup>

<sup>1</sup>UFV - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Eng. Agrícola, Viçosa-MG, Brasil.

<sup>2</sup>UFV - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitopatologia, Viçosa-MG, Brasil.

<sup>3</sup>UFV - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, Viçosa-MG, Brasil.

<sup>4</sup>UFV - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Química, Viçosa-MG, Brasil.

Article history: Received 25 June 2018; Received in revised form 10 September 2018; Accepted 18 September 2018; Available online 30 September 2018.

### RESUMO

A máxima produtividade da lavoura é alcançada em condições ideais de cultivo. Em busca do ambiente ideal, se faz necessário o manejo e monitoramento constante da área cultivada, haja vista a possibilidade de ataque de pragas e doenças, além de estresse por falta de água e nutrientes. O monitoramento constante, se feito de forma manual é extremamente oneroso e demorado, além de obtendo informação muitas vezes tardias a respeito de algum problema existente. Estudos mostram que o uso de VANTs acoplado a sensores é uma forma de obter informações e resultados em tempo mais ágeas que os tradicionais sistemas de manejo e monitoramento agrícola. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi fazer uma revisão de literatura acerca do uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de cultura agrícola. Os estudos demonstram grande aplicabilidade do uso de câmeras termais acoplada a VANT na agricultura, por possibilitar avaliar desde o estresse hídrico a danos em frutas, além do fato que o uso de VANT possibilita obter informações de grandes áreas em um espaço de tempo menor que o monitoramento tradicional.

**Palavras-chave:** câmera termográfica; drones; RPA; estresse hídrico; detecção de patógeno.

### POTENTIAL USE OF THERMAL CAMERA COUPLED IN UAV FOR CULTURE MONITORING

#### ABSTRACT

The highest productivity of the crop is achieved under ideal growing conditions. In the search of the ideal environment, it is necessary to constantly manage and check the cultivated area, considering the possibility of pest and disease attack, as well as stress due to lack of water and nutrients. Constant monitoring, if done manually, is extremely costly and time-consuming, as well as obtaining information that is often related to an existing problem. Studies have shown that using sensor-coupled UAVs is a way to get information and results faster than traditional agricultural management and monitoring systems. Therefore, the main purpose of this review is the use of a thermal camera coupled to UAV for monitoring agricultural culture. The studies have demonstrated the great applicability of the use of thermal cameras coupled to UAV in agriculture, since it makes it possible to evaluate from water stress to fruit damages, besides the fact that the use of UAV allows to obtain information of large areas in a space of time smaller than monitoring.

**Keywords:** thermographic camera; drones; RPA; hydrical stress; pathogen detection.

---

\*[lucas.ar.viana@gmail.com](mailto:lucas.ar.viana@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) foram criados para fins militares, com o objetivo de resistir a ambientes hostis e para trabalhos pesados onde seriam de difícil acesso para o ser humano. Já hoje é aplicado em diferentes setores da sociedade, principalmente na agricultura (JORGE & INAMASU, 2018).

No setor agrícola, sua aplicação surgiu como importante ferramenta da agricultura de precisão na missão de reconhecimento da exploração agropecuária por meio de tomadas de imagens. A adoção dessa tecnologia está crescendo graças ao baixo custo de operação em ambiente de monitoramento, alta resolução espacial e temporal, e sua alta flexibilidade na aquisição de imagem (PURI et al., 2017; REGER et al., 2018).

Outro fato que contribui com a expansão do uso de VANTs são os custos e a disponibilidade de imagens de satélite de alta resolução, que geralmente limitam a aplicação desta nas aplicações na agricultura (CANDIAGO et al., 2015).

Segundo POLO et al. (2015) os VANTs podem ser classificados quanto ao tipo de voo como: asas fixas (aviões); asas rotativas de com único rotor (helicóptero) ou multirotores; e em balões. Quanto à aplicabilidade, cada tipo tem característica que os destacam para determinados fins. Atualmente uns dos mais usado para monitorar as culturas agrícolas são os

aviões e os multirotores, graças ao custo e a facilidade de operar em diferentes condições de trabalho.

O uso de VANTs na agricultura tem sido intensificado no Brasil, principalmente com o objetivo de monitoramento da produção agropecuária. Para tal objetivo, os VANTs necessitam carregar consigo sensores para coletar as informações acerca da cultura monitorada. Os sensores mais utilizados no Brasil em propriedades rurais são o de infravermelho e de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Outro sensor que está sendo usado em muitos estudos agrícolas é o sensor termal, presente em câmeras termais ou termográficas. Suas aplicações são variadas na agricultura, podendo obter diferentes informações sobre a cultura, tal como o estresse hídrico (GONZALEZ-DUGO et al., 2013).

Principalmente pela limitação do custo de aquisição, os sensores termográficos ainda estão presos a fins científicos em instituições de pesquisas agropecuárias (JORGE & INAMASU, 2018).

Diante destas premissas, este trabalho tem por objetivo descrever as principais aplicabilidades do uso de imagens termais na agricultura com finalidade de monitoramento das culturas e produtos agrícolas.

## METODOLOGIA

A metodologia proposta para este estudo foi a revisão de publicações relacionadas com a aplicabilidade de imagens termográficas na exploração da atividade agrícola de maneira global, ou seja, publicações sobre o uso de imagens termais com objetivo de monitorar a qualidade de produtos, como instrumento

de auxílio no manejo e automatização de processo agrícolas.

Os critérios de inclusão de trabalhos utilizados foram: publicações entre 1998 e 2018, que retratavam o assunto em questão de uso global na agricultura; e que abordavam as palavras-chave como câmera termográfica, VANT, estresse hídrico e detecção de patógeno.

## **RESULTADOS**

### **Veículos Aéreos Não Tripulados**

Um dos principais benefícios do VANT é poder monitorar grandes áreas em tempo ágil e sem dificuldades. Tal característica promove a expansão da utilização deste na agricultura (FREEMAN & FREELAND, 2015).

O custo de aquisição de VANTs varia de acordo com as principais características técnica: peso suportado; autonomia de voo; e sensores acoplados. O valor pode variar de R\$ 350,00, drones recreativos, a valores acima de R\$ 60.000,00, drones de pulverização ou com câmeras de alta resolução (VISUAL, 2018).

Os sensores acoplados podem ser diversos, desde a simples câmeras RGB de baixa resolução até câmara hiperspectral de alta resolução. Quanto mais caro o sensor vendido junto ao VANT, maior o custo de aquisição.

A Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC de acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 divide em três classes o VANT: classe 1; classe 2 e classe 3. Cada classe é dividida de acordo com o peso máximo de decolagem, no qual se considerado os pesos da bateria ou combustível e de carga transportada, seja esta última sensores acoplados e/ou volume de calda para a pulverização. O de classe 1 são VANTs com peso de decolagem maior que 150 kg, o de classe 2 com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg, já o de classe 3 com o máximo de decolagem de até 25 kg (RBAC-E nº 94/2017).

Quanto a autonomia de voo, o tempo pode variar de 30 minutos a mais de 2h. O tempo máximo de voo irá depender das características elétricas dos motores das asas rotativas e do sistema de alimentação, que pode ser uma bateria de alta autonomia a um motor gerador. A altitude de voo pode variar de poucos centímetros do solo a acima de 120 metros, mas para altitude de voo acima desta última é necessário

pedir autorização a ANAC (RBAC-E, 2017; SALAMI et al., 2014).

Tais características aqui apresentadas a respeito dos VANTs é um das justificativas do porque estas pequenas aeronaves estão a cada dia sem mais utilizadas em diferentes setores da economia, em especial a agricultura.

O Brasil é destaque mundial em produção agropecuária, sobre tudo em grandes latifúndios, e um dos maiores exportadores de produtos agrícolas. Este tipo de propriedade tem o VANT como ferramentas práticas e rápidas para monitorar grande área a partir de sensores acoplados (JORGE et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2017).

### **Câmeras térmicas**

As câmeras térmicas, também chamadas de termal ou termográficas, são máquinas que medem a temperatura de corpos, sem a necessidade de contato. Para tal, elas usam o princípio que todo corpo acima de 0 grau Kelvin emite radiação na forma de infravermelho.

As câmeras térmicas são usadas especialmente para obter imagem térmica em todos os campos onde as diferenças de temperatura podem ser utilizadas para auxiliar na avaliação, diagnóstico ou análise de um processo ou produto. As imagens térmicas compõe uma técnica para converter o padrão de radiação invisível, banda do infravermelho, em imagens visíveis para extração e análise de informações de um objeto (KHANAL et al, 2017, HUSSAIN et al., 2018).

Ampla é a aplicação de imagens térmicas em muitos campos de trabalhos, desde a construção civil, tal como sua utilização para identificar de infiltrações e rachaduras em concretos, a diferentes setores da agricultura. O potencial da imagem termal na agricultura é grande, desde a previsão do estresse hídrico nas culturas, o planejamento da irrigação, a detecção de doenças e patógenos nas plantas, a identificação dos frutos, a avaliação do amadurecimento das frutas,

até detecção de hematomas em frutas e vegetais (ISHIMWE et al., 2014).

O custo de aquisição de câmeras termais é variável, desde módulos de smartphone de baixa resolução a preço de R\$ 2.000,00 a câmeras profissionais de ótimas configurações de mais de R\$ 160.000,00. O custo é dependente principalmente da resolução da imagem obtida, da faixa de sensibilidade de temperatura e sua precisão, quanto melhor as especificações, maior o preço final da câmera termográfica (IVY, 2018).

A distância da câmera ao alvo é uma característica importante a considerar. Ela é dependente da distância focal mínima necessária de cada câmera, da quantidade de informações que se quer adquirir por área da imagem, sendo esta última dependente das resoluções da câmera. A distância é definida pelas características de imagem que cada usuário precisa, portanto não há um padrão. Trabalhos na agricultura têm usados distâncias do sensor termográfico entre 30 e 50 metros de altitude, definida pelo de voo do VANT (SALAMÍ et al., 2014; SANKARAN et al., 2015; TORRES-RUA et al., 2018).

### **Imagem termal para avaliar estresse hídrico em culturas**

Muitos pesquisadores, em estudos sobre planejamento da irrigação, têm avaliado o uso de câmeras termográficas para monitorar a temperatura do dossel, identificar estresse hídrico da planta e estimar a conduta estomática.

Sabendo que a temperatura da folha é um traço fisiológico que pode ser usado para monitorar o estado de água da planta, JIMÉNEZ-BELLO et al. (2011) desenvolveram uma metodologia para a análise automática de imagens frontais, obtidas por câmera termal, tomadas em pomares comerciais de caqui (*Diospyros kaki L.f.*), Clementina de Nules (*Citrus clementina, Hort ex Tan*) e Navel Lane Late (*Citrus sinensis (L.) Osbeck*), localizados em Manises, Liria e Chulilla (Valência, Espanha), respectivamente. Concluíram que a metodologia desenvolvida pode facilitar a adoção das

câmeras termográficas para a detecção do estresse hídrico das culturas avaliadas, obtendo informações para o manejo de irrigação.

GHAZOUANI et al. (2017) avaliaram o potencial do uso combinado de imagens termais e modelos de simulação para avaliar os efeitos do estresse hídrico e salino sobre a cultura da batata sob as condições ambientais da Tunísia central. Concluíram que as imagens termográficas infravermelha tratada pode ser considerada uma poderosa ferramenta para programação de irrigação da cultura da batata, servindo de ferramenta para o uso eficiente de água.

ROMANO et al. (2011) realizaram experimentos para investigar o uso de imagens termográficas para a fenotipagem de milho em unidades experimentais na *International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT)* em Tlaltizapán, México. Eles avaliaram um grupo de plantas irrigadas com outro submetido ao estresse. Concluíram que a imagem térmica pode ser aplicada para o rastreio de variedades de milho tolerantes ao estresse hídrico e possibilita a criação de uma nova plataforma de fenotipagem para acelerar o processo de seleção de programas de melhoramento genético.

GONZALEZ-DUGO et al. (2013) avaliaram o uso de imagem termal, obtidas por câmera térmica instaladas em um VANT, como indicador de estresse hídrico em um pomar comercial de 42 ha com as seguintes culturas: amêndoa; damasco; pêsego; limão; e laranja, localizado em Mula Valley, Murcia, Espanha, como potencial para o gerenciamento da irrigação. Com os resultados de seu experimento, eles concluíram que as imagens térmicas adquiridas de um VANT são ferramentas valiosas para o manejo da água na agricultura de precisão e nas estratégias de irrigação deficitária em pomares.

XU et al. (2016) estudaram a aplicabilidade de imagens termográficas para identificação de estresse hídrico na cultura do arroz na cidade de Jiangsu, China. O'SHAUGHNESSY et al. (2011)

avaliaram o uso de imagens termais para avaliar o estresse hídrico nas culturas de soja e algodão no Texas, EUA. BALLESTER et al. (2013) estudaram a utilização da termográfica para a detecção do estresse hídrico em árvores cítricas e de caqui em Valencia, Espanha. Bellvert et al. (2014) avaliaram o uso de VANT com câmera térmica para determinar o estresse hídrico em vinhas na localidade de Lleda, Espanha. Todos os trabalhos concluíram que o potencial de uso de imagens térmicas para identificar o estresse hídrico de culturas é grande, especialmente como ferramenta de obtenção de informação para o manejo da irrigação.

### **Imagem termal para detecção de patógenos**

Estudos na literatura evidenciam que plantas após serem atacadas por patógenos sofrem danos que provocam mudanças na taxa de transpiração e fluxo de água em toda a planta ou em órgãos da planta. Isto leva ao aumento da temperatura em partes localizadas da planta, tal como as folhas. Diante disto, imagens captadas por câmeras térmicas constituem uma forma de detectar presenças de infecção por patógeno ainda não visível a olho nu (MAHLEIN, 2016, BERDUGO et al. 2014).

SANKARAN et al. (2013) estudaram a aplicabilidade do uso da faixa espectral do visível ao infravermelho próximo e imagem térmica para a detecção da doença de *Huanglongbing* em árvores cítricas. O experimento foi realizado no campo experimental de citrus da Universidade da Flórida, EUA. Seus resultados levaram à conclusão de que usando as bandas visíveis, infravermelho e térmica como características de entrada, a precisão de classificação global média de cerca de 87%, com 89% de especificidade e 85% de sensibilidade poderia ser alcançada com a classificação pelo modelo *support vector machine*, para árvores com folhas infectadas pelo *Huanglongbing*.

MAHLEIN (2016) avaliou o uso de imagem termográfica para acompanhar o desenvolvimento de *Peronospora sparsa*

em folha de rosa após a inoculação. Concluiu que as imagens termais possibilita identificar a possibilidade de presença do patógeno graças ao aumento da temperatura áreas infectadas da folha, o que ao olho nu não é possível.

A doença mais limitante em todas as regiões tradicionais de cultivo de azeitonas no mundo é causada pelo fungo *Verticillium dahliae* Kleb e conhecida como *Verticillium wil*. CALDERÓN et al. (2013) estudaram o uso de imagens aéreas obtidas de câmera termal e hiperespectral acopladas a VANT para a detecção precoce da doença em um pomar de cultivo em Andalucia e Utrera, Espanha. Concluíram que o uso de imagens termoagráficas aéreas associado a índices de vegetação, de clorofila e de RGB apresentam resultados promissores para a detecção precoce de *Verticillium wil* em oliveiras.

Trabalho semelhante desenvolvido por BERDUGO et al. (2014) usando imagens termal e hiperespectral avaliaram a detecção da doenças causadas pelos patógenos vírus do mosaico de pepino, o vírus do mosaico verde e o fungo *Sphaerotheca fuliginea* em cultivo de pepino. O estudo mostrou um aumento da temperatura nos locais infectados pelo patógeno e concluiu que a imagem térmica poderia ser usada como um indicador para a detecção precoce do estresse e fornecer informações sobre a interação de culturas com patógenos, porém não possibilita a identificação de qual a doença.

Por meio de imagens aéreas de câmeras acopladas a VANT, CALDERÓN et al. (2014) desenvolveram estudos que explorou o uso de imagens térmicas e multiespectrais de alta resolução como um indicador de infecção por *Peronospora arborescens* em cultivos de papoula do ópio na região de Cordoba, Espanha. Os resultados demonstraram no estudo a viabilidade de detectar de míldio causado pela infecção por *P. arborescens* em plantas de papoula usando imagens térmicas e multiespectrais de alta resolução adquiridas com um VANT.

### **Imagem termal para identificação de frutas**

Muitos estudos de identificações de frutas por imagens RGB foram desenvolvidos, porém apesar das altas resoluções da maioria das imagens coloridas, problemas como a similaridade de cores entre frutas e folhas e várias condições de iluminação impediram que esses estudos atingissem altas precisões (LEE et al., 2018).

Visando atingir melhores precisões de identificações LEE et al. (2018) desenvolveram um método para a detecção de citrinos imaturos usando vídeos de uma câmera térmica. O algoritmo desenvolvido para a classificação alcançou uma precisão média de 87,2% usando quadros de vídeo térmicos para detecção de citros imaturos.

BULANON et al. (2008) estudaram a utilização de imagem térmica para a identificação de frutas de laranjas no pé. Seus resultados mostraram que o uso de imagens térmicas, monitorando a temperatura entre a fruta e o dossel, podem ser aplicadas para melhorar a detecção na colheita mecanizada de laranjas.

Cada um dos estudos apresentados criaram algoritmos específicos de detecção das frutas. Ambos os métodos, a pesar da metodologia não ter usado VANTs para a aquisição de imagens, podem também serem usados com estas aeronaves, uma vez que estas serão somente o veículo utilizado para a aquisição de imagem pelo sensor termográfico, o que não limita em nada a aplicação da metodologia desenvolvida por cada autor.

### **Imagem termal para avaliação do amadurecimento**

A resistência à transpiração de plantas cresce até um valor máximo, à medida que a idade fisiológica aumenta. Em muitos tipos de planta este valor máximo coincide com o estágio de maturidade e a resistência à transpiração diminui à medida que o envelhecimento da planta começa. Diante disto, imagem termográfica obtida por sensores acoplados a VANT pode ser usada para avaliar a

maturidade da cultura (GAGO et al. 2015; MAHLEIN, 2016).

LINKE et al. (2000) realizaram estudo sobre o uso de imagens termais para determinação de danos mecânicos, contusões e amadurecimento de maçãs. Os autores concluíram que a maturidade de frutas e vegetais pode ser estimada por imagens térmicas.

Avaliando o potencial de uso de câmeras térmicas para detectar maçãs e tomates cerejas, OFFERMANN et al. (1998) chegaram a resultados que mostram que os tomates vermelhos aquecem mais que os verdes. Semelhantemente, em maçãs vermelhas o aquecimento é maior que as maçãs verdes. Os resultados evidenciaram a existência de correlação entre a temperatura da superfície das frutas com o grau de amadurecimento das mesmas.

Os estudos foram desenvolvidos em ambiente de laboratório e há bastantes anos. Diante disto, sugere que novas pesquisas devem aperfeiçoar estes estudos visando atingir resultados semelhantes ou melhores em tempo real de monitoramento em campo com auxílio, em especial, de um VANT, haja vista que esta aeronave é bem versátil e cada vez mais usada na atividade agropecuária de precisão.

### **Imagem termal para detectar injúrias**

Danos mecânicos logo após a colheita de pera são difíceis de serem identificados por análise visual ou inspeção ótica por meio de sensor CCD (*charge-coupled device*). KIM et al. (2014) avaliaram o uso de câmera térmica na detecção de injúrias iniciais em peras. Concluíram que o uso da técnica de bloqueio termográfica pode ser usado para a detecção de danos em amostras de peras.

BARANOWSKI et al. (2012) estudaram o uso de sistema formado por câmera hiperespectral e câmera de imagem térmica para a detecção de danos iniciais em maçãs. Os resultados demonstraram que a detecção precoce de danos em frutos de maçãs é alcançada com sucesso pelo sistema que incorporou a imagem

hiperespectral e a imagem térmica infravermelha.

LINDEN et al. (2003) avaliaram o uso de imagens térmicas para identificar danos, pouco visíveis ao olho nu, em tomates. O método de detecção usou o aquecimento inicial da fruta para identificar posteriormente as injúrias por processamento de imagens. Seus resultados mostraram que as regiões de danos apresentavam temperaturas inferiores às regiões normais e que as imagens térmicas, nesta condição, podem favorecer a detecção automática dos danos.

Utilizando imagens termográficas, KUZUY et al. (2018) construíram uma sistema para identificação entre *blueberries* machucados e saudáveis. Seus resultados alcançaram precisão de classificação de 88%, demonstrando a viabilidade da

termografia pulsada para detectar danos em *blueberries*.

Todos os estudos apresentados visaram detectar as injúrias nas frutas e vegetais após a colheita e ambos desenvolveram algoritmos em que os danos são identificados por meio da diferença de temperatura entre as áreas normais e as com injúrias. Apesar de ser testado pós a colheita, o algoritmo pode ser implementado em VANT com multirotores para a colheita seletiva, imaginando um futuro em que o custo da coleta seletiva de frutas e vegetais possa ser competitivo com a colheita não seletiva. Este futuro não é impossível, haja vista que estudos para desenvolvimento de robôs coletores já estão sendo desenvolvidos em centros de pesquisas no mundo (FENG et al., 2018; LEVINE, et al., 2017).

## DISCUSSÃO

As literaturas científicas, desde o ano 1998 a 2018 apresentadas, mostram um campo de aplicação de sensor termográfico muito amplo para o uso agrícola, sobretudo na automação de processos, destacando estudos recentes como GHAZOUANI et al. (2017) e XU et al. (2016) que mostram uso de imagens térmicas para a identificação eficiente de estresse hídrico em culturas e na detecção de patógenos em plantas, como é o caso do trabalho de MAHLEIN (2016).

Pesquisas que visam identificar o grau de amadurecimento de frutas e vegetais a partir do processamento de imagens térmicas foram pouco publicadas (ISHIMWE et al., 2014; KHANAL et al., 2017). Porém, estes estudos mostram que imagens termográficas são úteis para estimar o estágio de maturidades e podem ser aplicadas como modo de detecção para a colheita mecanizada seletiva, podendo

atingir até 88% de classificação (KUZUY et al., 2018; LINKE et al., 2000). Diante disto, é evidente a necessidade de outras pesquisas sobre o uso de imagens térmicas para a detecção de maturidade de outras culturas.

Outro campo de pesquisa pouco explorado, mas que também mostra possibilidade de crescimento é o uso do processamento de imagem térmica para identificação de frutas na copa da árvore ou diferenciar frutos maduros de verdes. Os resultados, dos poucos trabalhos existentes, são capazes de evidenciar a capacidade de automatização da colheita seletiva de frutas (ISHIMWE et al., 2014; KHANAL et al., 2017).

Na Tabela 1 é apresentado um quadro síntese dos campos de pesquisa mais estudadas com ênfase em uso de imagens térmicas para o monitoramento de culturas agrícolas.

**Tabela 1:** Pesquisas mais desenvolvida para estudar o uso sensor termal para o monitoramento de culturas agrícolas

País	Produto	Sensor	Referência
Espanha	Estresse hídrico no caqui	Termal	JIMÉNEZ-BELLO et al. (2011)
Tunísia	Estresse hídrico na batata	Termal	GHAZOUANI et al. (2017)
México	Estresse hídrico no milho	Termal	ROMANO et al. (2011)
Espanha	Estresse hídrico na amêndoa, damasco, pêssego, limão e laranja	Termal	GONZÁLEZ-DUGO et al. (2013)
China	Estresse hídrico no arroz	Termal	XU et al. (2016)
EUA	Estresse hídrico no algodão	Termal	O'SHAUGHNESSY et al. (2011)
Espanha	Estresse hídrico no caqui e árvores cítricas	Termal	BALLESTER et al. (2013)
Espanha	Estresse hídrico na vinha	Termal	BALLESTER et al. (2014)
EUA	<i>Huanglongbing</i> em árvores cítricas	Termal	SANKARAN et al. (2013)
Espanha	<i>Peronospora arborescens</i> em papoula do ópio	Multiespectral e termal	CALDERÓN et al. (2014)
Espanha	<i>Verticillium wil</i> na azeitonas	Termal e RGB	CALDERÓN et al. (2013)
EUA	Detecção de citrus	Termal	GAN et al. (2018)
EUA	Detecção de laranja	Termal	BULANON et al. (2008)
Alemanha	Amadurecimento de maçã	Termal	LINKE et al. (2000)
EUA	Injúrias em <i>blueberries</i>	Termal	KUZY et al. (2018)
Polônia	Injúrias em maçã	Hiperespectral e termal	BARANOWSKI et al. (2012)
Bélgica	Injúrias em tomate	Termal	LINDEN et al. (2003)

Ao analisar a Tabela 1, bem como as várias literaturas citadas neste estudo, é destacável o fato que a Espanha, seguida pelo EUA, é o país que mais apresenta estudo publicado a respeito do uso de imagens termográficas na avaliação de culturas agrícolas, a maioria dos quais usando VANT.

No Brasil poucas pesquisas usando imagens termais estão sendo desenvolvidas, podendo ser citado um grupo de pesquisas na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e outro na Universidade Federal de Viçosa (UFV). Apesar disto, o campo de aplicação destas pesquisas tem grande capacidade de desenvolvimento no Brasil, visto ser o país um polo de produção agrícola mundial e o uso de sensores termográficos ter a capacidade de reduzir o custo de produção agropecuário, haja vista que este pode monitorar grandes áreas com um espaço de

tempo menor ao está acoplado a um VANT (GAGO et al., 2015, JORGE et al., 2014).

O conjunto de literatura selecionada para o desenvolvimento deste trabalho mostra que o uso de imagens termográficas, apesar do amplo campo de aplicações na agricultura, depende de computadores avançados, com processador de alto poder de processamento de dados associado alta quantidade de memórias RAM, para o processamento das imagens termais, além do alto tempo de execução. Este último dependente do número de dados, podendo atingir tempo de execução acima de 30 minutos. Isto inviabiliza sua aplicação na propriedade rural, visto o alto custo de aquisição do sensor, do computador e drone, além do fato que os manejos agrícolas necessitam muitas vezes de obtenção imediata de informação para a tomada de decisão, visando reduzir o custo de produção (KHANAL et al., 2017; JORGE et al., 2014). Diante disto, há

necessidades de pesquisas que promovam a redução do tempo de processamento de dados, além disto, o projeto dos

equipamentos e sensor deve ser desenvolvido de modo a reduzir o custo de aquisição para o consumidor final.

## CONCLUSÕES

Os estudos mostram grande aplicabilidade do uso de câmeras termais na agricultura, desde avaliar o estresse hídrico a danos em frutas. Com o crescente uso de automação nos processos agrícolas, as imagens termográficas têm grande potencial como ferramenta de obtenção de informações muitas vezes invisíveis ao olho humano.

Os VANTs acoplados a câmeras termográficas são importantes ferramentas para avaliar grandes áreas de forma automatizada e com reduzida demanda de tempo para a execução.

O Brasil ainda carece de avanço em pesquisa que use sensores termográficos na agricultura. Já em outros países, com destaque para a Espanha, pesquisas têm sido intensificadas, sobretudo no uso de imagem termal para detectar doenças e detecção de estresse hídrico em plantas.

Pesquisa para a detecção de frutas e avaliação do amadurecimento por meio de imagens termográficas é um campo ainda pouco explorado, mas que mostra capacidade de expansão e desenvolvimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pelo apoio acadêmico e disponibilização de laboratórios e ao

Ministério de Agricultura Pecuária e Armazenamento-MAPA pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

BALLESTER, C.; JIMÉNEZ-BELLO, M.A.; CASTEL, J.R.; INTRIGLIOLO, D.S. Usefulness of thermography for plant water stress detection in citrus and persimmon trees. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.168: 120-129, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.08.005>

BARANOWSKI, P.; MAZUREK, W.; WOZNIAK, J.; MAJEWSKA, U. Detection of early bruises in apples using hyperspectral data and thermal imaging. **Journal of Food Engineering**, v.110(3): 345-355, 2012.

BELLVERT, J.; ZARCO-TEJADA, J.; GIRONA J.; FERERES, E. Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. **Precision**

**Agriculture**, v.15(4): 361-376, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9334-5>

BERDUGO, C. A.; ZITO, R.; PAULUS, S.; MAHLEIN, A.-K. Fusion of sensor data for the detection and differentiation of plant diseases in cucumber. **Plant Pathology**, v.63: 1344-1356, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppa.12219>

BULANON, D. M., BURKS, T. F., & ALCHANATIS, V. Study on temporal variation in citrus canopy using thermal imaging for citrus fruit detection. **Biosystems Engineering**, v.101(2): 161-171, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.08.002>

CANDIAGO, S.; REMONDINO, F.; GIGLIO, M.; DUBBINI, M.; GATTELLI,

M. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. **Remote Sensing**, v.7(4): 4026-4047, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs70404026>

CALDERÓN, R.; MONTES-BORREGO, M.; LANDA, B. B.; NAVAS-CORTÉS, J. A. ; ZARCO-TEJADA, P. J. Detection of downy mildew of opium poppy using high-resolution multi-spectral and thermal imagery acquired with an unmanned aerial vehicle. **Precision Agriculture**, v.15(6): 639-661, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9360-y>

CALDERÓN, R.; NAVAS-CORTÉS, J.A.; LUCENA, C.; ZARCO-TEJADA, P.J. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. **Remote Sensing of Environment**, v.139: 231-245, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.031>

FREEMAN, P. K.; FREELAND, R. S. Agricultural UAVs in the U.S.: potential, policy, and hype. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v.2: 35-43, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2015.10.002>

FENG, Q. C.; ZOU, W.; FAN, P. F.; ZHANG, C. F.; WANG, X. Design and test of robotic harvesting system for cherry tomato. **International Journal Agricultural and Biological Engineering**, v.11(1): 96-100, 2018. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.2853>

GAGO, J.; DOUTHE, C.; COOPMAN, R.E.; GALLEGO, P.P.; RIBAS-CARBO, M.; FLEXAS, J.; ESCALONA, J.; MEDRANO, H. UAVs challenge to assess

water stress for sustainable agriculture. **Agricultural Water Management**, v.153: 9-19, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>

GAN, H.; LEE, W. S.; ALCHANATIS, V.; ABD-ELRAHMAN, A. An Active Thermography Method for Immature Citrus Fruit Detection. **14<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture**, 8p. Montreal, Canadá. Jun. 2018.

GHAZOUANI H., CAPODICI F., CIRAOLO G., MALTESE A., RALLO G., PROVENZANO G. Potential of Thermal Images and Simulation Models to Assess Water and Salt Stress: Application to Potato Crop in Central Tunisia. **Chemical Engineering Transactions**, v.58, 709-714, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1758119>

GONZÁLEZ-DUGO, V.; ZARCO-TEJADA, P. J.; NICOLÁS, E.; NORTES, P. A.; ALARCÓN, J. J.; INTRIGLIOLO, D. S.; FERERES, E. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. **Precision Agriculture**, v. 14(6): 660-678, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9322-9>

HUSSAIN, A.; PU, H.; SUN, D-W. Innovative nondestructive imaging techniques for ripening and maturity of fruits - A review of recent applications. **Trends in Food Science & Technology**, v.72: 144-152, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.010>

ISHIMWE, R.; ABUTALEB, K.; AHMED, F. Applications of thermal imaging in agriculture-a review. **Advances in Remote Sensing**, v.3(3): 128-140, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4236/ars.2014.33011>

IVY. **FLIR Infrared Thermal Imaging Cameras**. Disponível em:

<<http://www.ivytools.com/FLIR-Infrared-Thermal-Imaging-Cameras-s/1824.htm>>.

Acesso em: 29 de agosto de 2018.

JIMÉNEZ-BELLO, M.A.; BALLESTER, C.; CASTEL, J.R.; INTRIGLIOLO, D.S. Development and validation of an automatic thermal imaging process for assessing plant water status. **Agricultural Water Management**, v.98(10): 1497-1504, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.05.002>

JORGE, L. A. C.; BRANDÃO, Z. N.; INAMASU, R. Y. Insights and recommendations of use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil. **SPIE Remote Sensing**, v.9239: 18p, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2067450>

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. Embrapa Instrumentação. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1003485/uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-vant-em-agricultura-de-precisao>>. Acesso em: 24 out. 2018.

KHANAL, S.; FULTON, J.; SHEARER, S. An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.139: 22-32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.011>

KIM, G.; KIM, G.-H.; PARK, J.; KIM, D.-Y.; CHO, B.-K. Application of Infrared Lock-In Thermography for the Quantitative Evaluation of Bruises on Pears. **Infrared Physics & Technology**, v.63:133-139, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2013.12.015>

KUZY, J.; JIANG, Y.; LI, C. Blueberry bruise detection by pulsed thermographic

imaging. **Postharvest Biology and Technology**, v.136: 166-177, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.011>

LEVINE, S.; PASTOR, P.; KRIZHEVSKY, A.; IBARZ, J.; QUILLEN, D. Learning hand-eye coordination for robotic grasping with deep learning and large-scale data collection. **The International Journal of Robotics Research**, v.37(4): 421-436, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1177/0278364917710318>

LINDEN, V.V.; VEREYCKEN, R.; BRAVO, C.; RAMON, H.; DE BAERDEMAEKER, J. Detection technique for tomato bruise damage by thermal imaging. **Acta Horticulturae**, v.599: 389-394, 2003.

LINKE, M.; GEYER, M.; BEUCHE, H.; HELLEBRAND, H.J. Possibilities and Limits of the Use of Thermography for the Examination of Horticultural Products. **Agrartechnische Forschung**, v.6: 110-114, 2000.

MAHLEIN, A.K. Plant Disease Detection by Imaging Sensors - Parallels and Specific Demands for Precision **Agriculture and Plant Phenotyping**. *APS Journals*, v.100(2): 241-251, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE>

OFFERMANN, S.; BICANIC, D.; KRAPEZ, J. C.; BALAGEAS, D.; GERKEMA, E.; CHIRTOC, M.; EGEE, M.; KEIJZER, K.; JALINK, H. Infrared transient thermography for noncontact, non-destructive inspection of whole and dissected apples and of cherry tomatoes at different maturity stages. **Instrumentation Science and Technology**, v.26: 145-155, 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10739149808002689>

OLIVEIRA, S. N.; JÚNIOR, O. A. C.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; MCMANUS, C. M. Deforestation analysis in protected areas and scenario simulation for structural corridors in the agricultural frontier of Western Bahia, Brazil. **Land Use Policy**, v.61: 40-52, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.046>

O'SHAUGHNESSY, S.A.; EVETT, S.R.; COLAIZZI, P.D.; HOWELL, T.A. Using radiation thermography and thermometry to evaluate crop water stress in soybean and cotton. **Agricultural Water Management**, v.98(10): 1523-1535, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.05.005>

POLO, J.; HORNERO, G; DUIJNEVELD, C.; GARCÍA, A.; CASAS, O. Design of a low-cost Wireless Sensor Network with UAV mobile node for agricultural applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.119: 19-32, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.024>

ROMANO, G.; ZIA, S.; SPREER, W.; SANCHEZ, C.; CAIRNS, J.; ARAUS J. L.; MÜLLER, J. Use of thermography for high throughput phenotyping of tropical maize adaptation in water stress. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.79(1): 67-74, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.08.011>

PURI, V.; NAYYAR, A., RAJA, L. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. **Journal of Statistics and Management Systems**, v.20(4): 507-518, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/09720510.2017.1395171>

RBAC-E nº 94/2017. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017** da Agência Nacional de Aviação Civil. 2017.

REGER, M.; BAUERDICK, J.; BERNHARDT, H. Drohnen in der Landwirtschaft: Aktuelle und zukünftige Rechtslage in Deutschland, der EU, den USA und Japan. **Landtechnik**, v.73(3): 62-80, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15150/lt.2018.3183>

SALAMÍ, E.; BARRADO, C.; PASTOR, E. UAV Flight Experiments Applied to the Remote Sensing of Vegetated Areas. **Remote Sens**, v.6(11), 11051-11081, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6111051>

SANKARAN, S.; KHOT, L. R.; ESPINOZA, C. Z.; JAROLMASJE, S.; SATHUVALLI, V. S.; VANDEMARK, G. J.; MIKLAS, P. N.; CARTER, A. H.; PUMPHREY, M. O.; KNOWLES, N. R.; PAVEK, M. J. Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. **European Journal of Agronomy**, v.70, 112-123, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.07.004>

SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; BUCHANON, S.; EHSANI, R. Detecção de Huanglongbing (Citrus Greening) usando técnicas visíveis, Near Infrared e Thermal Imaging. **Sensors**, v.13(2): 2117-2130, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/s130202117>

TORRES-RUA, A.; NIETO, H.; PARRY, C.; ELARAB, M.; COLLATZ, W.; COOPMANS, C.; MCKEE, L.; MCKEE, M.; KUSTAS, W. Inter-comparison of thermal measurements using ground-based sensors, UAV thermal cameras, and eddy covariance radiometers. **Proceedings of SPIE** v.10664, 12p., 2018. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2305832>

VISUAL - Soluções Drones Visual. Disponível em: <

<http://loja.dronevisual.com/>>. Acesso em:  
27 de agosto de 2018.

XU, J.; LV, Y.; LIU, X. ; DALSON, T.;  
YANG S.; WU, J. Diagnosing Crop Water

Stress of Rice using Infrared Thermal  
Imager under Water Deficit Condition.  
**International Journal of Agriculture &  
Biology.** v.00(0): 000, 2016. DOI:  
<https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0125>