



Dispositivo para Captura e Processamento de Imagens Térmicas para Detecção de Estresse Hídrico

Júlio Anderson de Oliveira Júnior¹, Marcelo Gonçalves Narciso²

¹ Estagiário em eletrônica, Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, Goiás, Brasil,
julio12310@gmail.com

² Departamento de Biotecnologia, Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, Goiás, Brasil,
marcelo.narciso@embrapa.br

RESUMO

Na tentativa de reduzir o tempo da coleta de dados de temperatura foliar, em fenotipagem de plantas em casa de vegetação, um dispositivo foi criado a partir de uma câmera térmica de baixo custo (Flir One Lepton). Foram coletadas imagens térmicas de folhas de arroz (dossel) para detecção de algum nível de estresse hídrico. O dispositivo captura as imagens térmicas juntamente com uma série de informações do ambiente onde a planta está inserida. Posteriormente, um programa do dispositivo processa estes dados fornecendo um resumo das medidas encontradas e compara os valores entre a amostra estudada e a planta de controle. Logo, partindo-se de uma câmera térmica relativamente barata, em comparação as demais no mercado, foi possível obter um dispositivo para detectar estresse hídrico da planta e fornecer outras análises a partir da temperatura do dossel da planta, como a detecção da presença de organismos patogênicos nas folhas.

PALAVRAS-CHAVE: Lepton. Processamento. Temperatura.

ABSTRACT

In an attempt to reduce the time of data collection of leaf temperature, in plant phenotyping in a greenhouse, a device was created from a low-cost thermal camera (Flir One Lepton). Thermal images of rice leaves (canopy) were collected to detect some level of water stress. The device captures the thermal images along with a series of information from the environment where the plant is inserted. Subsequently, a device program processes these data by providing a summary of the measures found and compares the values between the sample

studied and the control plant. Therefore, starting from a relatively inexpensive thermal camera, in comparison to the others in the market, it was possible to obtain a device to detect water stress of the plant and to provide other analyzes from the temperature of the plant canopy, such as the presence of organisms pathogens in the leaves.

KEY WORDS: Lepton. Processing. Temperature.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial e as mudanças climáticas em várias regiões do mundo, a demanda mundial por alimentos tende a crescer nos próximos anos. Além disso, o avanço da tecnologia e a propagação de informações fizeram com que um número maior de indivíduos buscasse uma maior qualidade nos produtos consumidos. Logo, uma produção agrícola sustentável é vital para assegurar que todas essas exigências sejam atendidas. Para isso, várias pesquisas e experimentos foram desenvolvidos para alcançar uma melhor taxa de produção e qualidade das técnicas de cultivo. Dentre os estudos realizados, o melhoramento genético vegetal ganha bastante destaque por apresentar soluções tecnológicas quanto à resistência das plantas aos desafios ambientais que impactam negativamente o crescimento das plantas, como a falta e/ou excesso de água, nutrientes e luminosidade (SOUZA, 2015).

Para que o melhoramento genético supere e avance em seu programa, é necessário um conhecimento maior sobre as características fisiológicas que determinam o fenótipo das plantas. O fenótipo é a expressão do genótipo, em função de um ambiente em complexa transformação. Atualmente, sabe-se que a grande diferença entre genótipo e fenótipo é particularmente relacionada às interações entre plantas e ambiente. Portanto, a fenotipagem de plantas faz parte do estudo integral de um determinado sistema biológico e, atualmente, é considerado um fator limitante exatamente por não ter acompanhado o avanço na área de genotipagem de planta. A fenotipagem utiliza técnicas tradicionais e requer métodos destrutivos, os quais demandam tempo, recursos financeiros e mão-de-obra.

Sabe-se que a busca por conhecimentos mais refinados exige a formação de equipe multidisciplinar para que experimentos sejam conduzidos com o objetivo de detectar respostas das plantas mediante as diferentes condições de cultivo. Nesse sentido, o avanço na área de fenotipagem de plantas prevê a utilização de novos métodos (não invasivos/não destrutivos) e estes estão sendo considerados cruciais para o avanço dos programas de melhoramento,

fisiologia e a integração com a bioquímica, biologia molecular, dentre outras áreas. Esses novos métodos requerem uma abordagem inter, multi e transdisciplinar, envolvendo fisiologistas, melhoristas, engenheiros, físicos, químicos, bioinformatas, e ecofisiologistas para atuar no desenvolvimento e aplicação de sensores, biosensores, métodos espectroscópicos, dentre outros para quantificar as propriedades da planta e do ambiente no tempo e no espaço.

O uso de imagens digitais auxilia na obtenção de dados fenotípicos e podem fornecer informações distintas, conforme a banda do espectro eletromagnético utilizado. Para detectar informações como a temperatura foliar/dossel, que é uma das características que varia de forma expressiva e é altamente dependente do nível de estresse da planta, são utilizadas imagens térmicas que captam a radiação infravermelha distante (8 a 15 μm). Ao captar as temperaturas da superfície das folhas da planta, é possível perceber mudanças no estado hídrico da mesma em função da restrição de água imposta. Logo, a informação obtida está ligada, diretamente, a abertura ou fechamento dos estômatos, os quais são responsáveis pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente. Outros exemplos de aplicações de imagens térmicas são a sua utilidade na detecção de regiões das folhas infectadas por organismos patogênicos, detecção de danos mecânicos e no acompanhamento do comportamento dos estômatos (COSTA; GARCÍA-TEJERO; CHAVES, 2009).

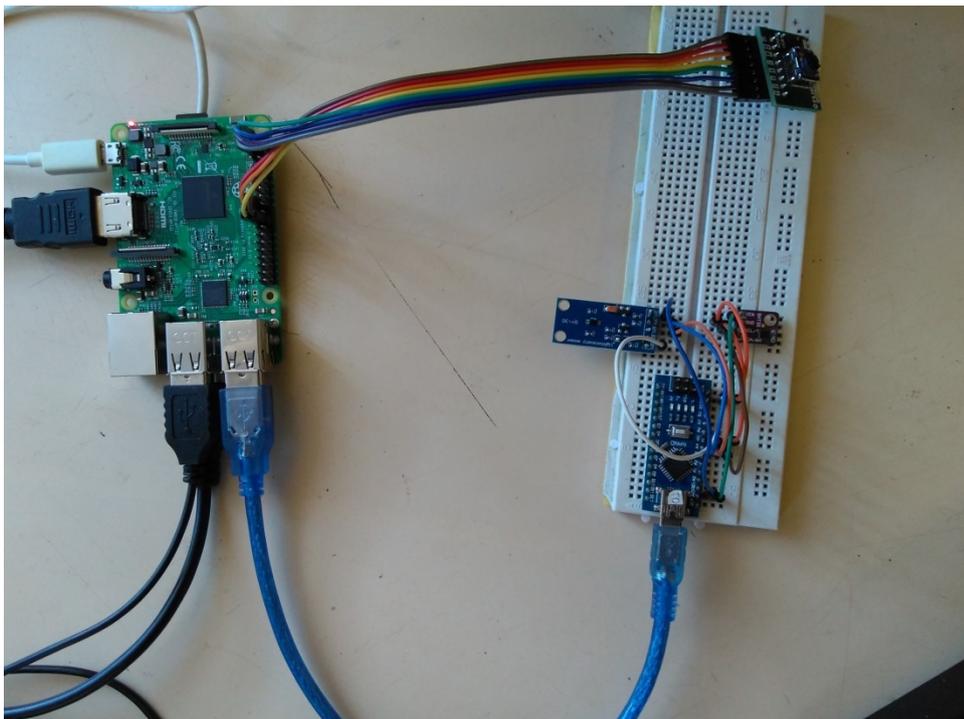
Por ser portátil, a captura de imagens térmicas torna-se mais dinâmica e prática, economizando tempo na coleta de dados. Além disso, como recurso adicional, o dispositivo foi projetado de modo que, após a fase de coleta de dados, um processamento das imagens fosse realizado. Como saída, o dispositivo fornece as informações da planta de forma sucinta e de fácil análise. Com estas informações, o objetivo deste trabalho foi a criação de um dispositivo portátil, de baixo custo, que pudesse auxiliar nos experimentos de fenotipagem baseados em imagens térmicas para obtenção de dados de temperatura foliar para monitoramento do *status* hídrico da planta, e assim discriminar genótipos mais tolerantes à deficiência hídrica nos programas de melhoramento vegetal.

MATERIAL E MÉTODOS

Para controlar todos os componentes utilizados, foi usado um minicomputador desenvolvido pela fundação Raspberry Pi, o minicomputador Raspberry Pi 3 (ver www.raspberrypi.org).

Além disso, todos os softwares produzidos foram feitos neste minicomputador. Na captura de imagens térmicas, foi utilizada uma câmera contendo um sensor infravermelho de longo comprimento de onda (LWIR) da empresa FLIR (ver <https://www.flir.com/flirone>), o sensor FLIR Lepton 3. Este sensor é destinado para dispositivos móveis e foi necessário o uso de um módulo (adaptador) para conectá-lo ao minicomputador. Para coletar dados do ambiente em que as plantas estão submetidas, foi conectado ao minicomputador um Arduino Nano (ver <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>), usado para alimentar e controlar um sensor de temperatura e umidade (SHT3x) e um sensor de luminosidade (GY-30). Com este aparato (figura 1), além da imagem térmica da amostra avaliada, foi possível obter informações como a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar e a luminosidade. Para a coleta de dados, o dispositivo foi posicionado acima das amostras de modo a captar uma área maior da superfície das folhas.

Figura 1 – Dispositivo contendo câmera térmica e sensores



Fonte: (Própria, 2019)

Implementação

Como o sensor (câmera Lepton) foi colocado em módulo para poder ser conectado às portas GPIO da Raspberry Pi 3, foi necessário o uso de um programa escrito em linguagem C para que o minicomputador pudesse controlar a captura de imagens. Este programa foi

desenvolvido na própria Embrapa Arroz e Feijão, e foi baseado em repositórios online para o sensor Lepton. Ao ser acionado, o programa cria uma janela onde é emitido um vídeo do que o sensor capta do ambiente. Nesta mesma janela, existem dois botões referentes à captura de uma imagem e a calibragem do sensor. Ao apertar o botão de captura de imagem, o programa emite uma foto e um arquivo texto com as temperaturas ponto a ponto da imagem. Por conta da resolução do sensor, a imagem de saída possui 160x120 pixels e conseqüentemente, o arquivo texto apresenta temperaturas distribuídas em 120 linhas e 160 colunas sendo cada elemento referente aos pixels da imagem.

Para tornar este processo mais dinâmico, foi desenvolvido um programa na linguagem Python para acionar o programa do sensor térmico e pressionar o botão da janela em intervalos de tempo periódico. Desse modo, no teste realizado posteriormente a cada cinco minutos, uma nova foto era obtida juntamente com seu arquivo texto. Quanto aos sensores conectados no Arduino Nano, um pequeno programa foi desenvolvido para que o Arduino captasse as três medidas do ambiente (temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade) continuamente e logo após enviaria via serial para o minicomputador Raspberry Pi 3. Posteriormente, foram adicionadas ao programa em Python algumas linhas de código onde a informação da porta serial era lida e armazenada juntamente com a data e hora da captura da imagem, em um segundo arquivo texto.

Portanto, o dispositivo, ao acionar o programa de captura, obtém uma imagem térmica da região avaliada com 160x120 pixels e dois arquivos textos, um contendo as temperaturas ponto a ponto da imagem e outro com a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, luminosidade do ambiente e data e hora da imagem. Para manter uma organização durante a análise dos dados obtidos, todos os arquivos foram salvos com nomes referentes às amostras, e esse sistema foi projetado de modo que torne mais prático o acesso posterior a estas informações. Como passo final, foi criado um programa em Python com uma interface para acesso das informações. Neste programa, é possível acessar o banco de fotos e selecionar a imagem desejada. Ao selecionar a foto, os arquivos textos referentes também são carregados, bem como a imagem e arquivos da planta de controle para comparar as informações.

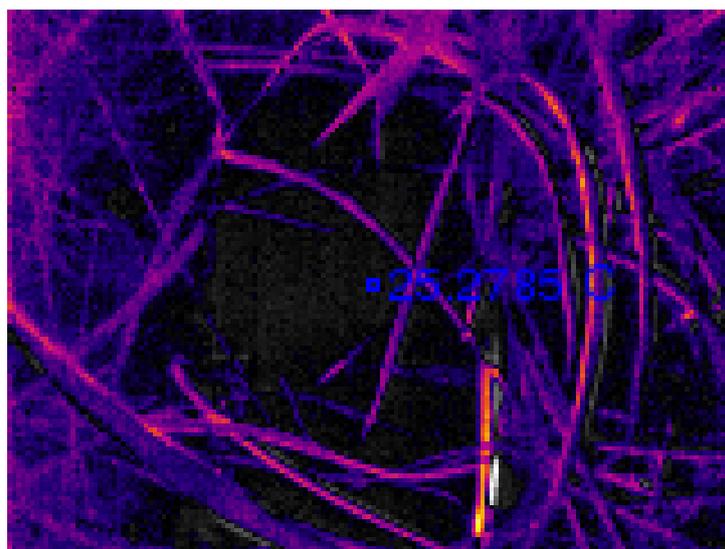
Quando estes dados são carregados, uma janela é criada onde as imagens da planta de controle e a amostra são mostradas, e para facilitar a visualização, as fotos são redimensionadas para um tamanho maior. Posteriormente, a interface fornece a opção de processar as imagens inteiras ou apenas uma região selecionada pelo mouse. Na parte de processamento, as imagens passam por um filtro para diferenciar os valores dos pixels referentes à planta dos pixels do ambiente. Dessa forma os pixels da imagem passam a

apresentar apenas dois valores distintos: zero para pontos não referentes as folhas e um para pontos das folhas. Em seguida, a imagem é transformada em uma matriz, assim como o arquivo texto com as temperaturas. Multiplicando-se a matriz da imagem com a matriz das temperaturas, as temperaturas referentes aos pontos da planta são obtidas. Com estes dados, o programa realiza os cálculos para obter dados como a temperatura média, temperatura máxima e mínima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para testar o programa de captura de imagens, foi desenvolvido um experimento onde a câmera foi posicionada entre algumas colunas de arroz em uma casa de vegetação. Como o programa capturava uma imagem a cada cinco minutos, as mesmas colunas foram observadas durante variados horários do dia. Devido à natureza do teste ser apenas para verificação do funcionamento do dispositivo, foram feitas comparações apenas com relação ao posicionamento da câmera (JONES, 2009). Como resultado deste procedimento, foram obtidas algumas fotos e seus respectivos arquivos textos. Ao capturar imagens das colunas de arroz (Figura 2), é possível perceber visualmente a diferença entre os pixels referentes às folhas das plantas com o resto do ambiente.

Figura 2 – Imagem térmica de colunas de arroz



Fonte: (Própria, 2019)

O sensor, capta a radiação infravermelha refletida e emitida pela planta, e de acordo com uma lei da Física (Stefan-Boltzmann) que afirma que a quantidade de radiação emitida depende diretamente da temperatura do objeto, e produz uma imagem que diferencia a

coloração dos pixels de acordo com a radiação recebida. Logo, o padrão de cores da imagem se deve por conta da radiação infravermelha e consequentemente pela temperatura. Ao detectar a diferença de temperatura entre as folhas das plantas e o resto do ambiente, cria um padrão de cor que depende da quantidade de radiação infravermelha que cada objeto emite. Nesse caso, a temperatura cresce de acordo com a cor passando de cores mais escuras para mais claras. Juntamente com a imagem, um arquivo texto (Figura 3) é criado tomando como base os dados captados pelo sensor. A partir destes dados, a temperatura correspondente é calculada e armazenada para cada ponto da imagem.

Figura 3 – Corte do arquivo texto com as temperaturas

```

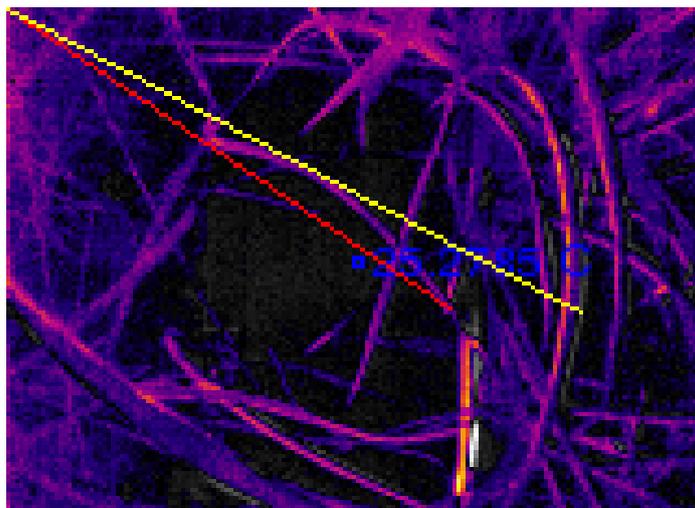
25,907810 25,821003 25,669102 25,821003 25,821003 25,690800 25,625706 25,582310
25,669102 25,625706 25,604008 25,712498 25,582310 25,604008 25,647404 25,690800
25,690800 25,604008 25,560596 25,647404 25,473804 25,560596 25,560596 25,560596
25,625706 25,647404 25,604008 25,517200 25,690800 25,755909 25,799305 25,951206
25,495502 25,582310 25,538898 25,452106 25,473804 25,495502 25,669102 25,604008
25,560596 25,517200 25,495502 25,517200 25,560596 25,538898 25,538898 25,604008
25,517200 25,538898 25,517200 25,495502 25,560596 25,495502 25,517200 25,517200
26,146503 25,712498 25,452106 25,517200 25,517200 25,560596 25,495502 25,517200
25,647404 25,712498 25,842701 25,712498 25,842701 25,842701 25,821003 25,842701
25,864399 25,821003 25,755909 25,842701 25,842701 25,886097 25,907810 25,799305
25,755909 25,734196 25,625706 25,604008 25,473804 25,452106 25,582310 25,690800
25,712498 25,669102 25,669102 25,625706 25,538898 25,538898 25,560596 25,712498
25,647404 25,625706 25,582310 25,582310 25,560596 25,712498 25,712498 25,604008
25,821003 25,777607 25,799305 25,604008 25,799305 25,734196 25,755909 25,647404
25,495502 25,538898 25,669102 25,604008 25,625706 25,712498 25,690800 25,669102
25,560596 25,582310 25,647404 25,886097 25,734196 25,821003 26,059696 25,864399
25,907810 25,777607 25,755909 25,777607 25,712498 25,777607 25,669102 25,582310
25,755909 25,712498 25,647404 25,647404 25,582310 25,582310 25,690800 25,712498
25,582310 25,560596 25,495502 25,517200 25,538898 25,560596 25,560596 25,517200

```

Fonte: (Própria, 2019)

Apesar da quantidade de casas após a vírgula, a precisão do sensor e da natureza dos experimentos, apenas as três primeiras casas foram consideradas. Essa quantidade deve-se por conta dos cálculos efetuados durante o programa de captura de imagens que armazena os valores de cada pixel e depois os transforma em temperaturas na escala Celsius. Posteriormente, a foto é processada pelo programa em linguagem Python para fornecer as informações mais gerais sobre as folhas avaliadas. Como resultado, foi entregue uma nova imagem com os marcadores de temperatura máxima e mínima e dois arquivos textos: um deles com apenas os valores de temperatura referentes aos pontos das folhas presentes na imagem, e o outro com os dados estatísticos calculados e os dados coletados pelos sensores acoplados ao Arduino. Na imagem processada (Figura 4), o marcador em vermelho, inicia a partir do canto superior esquerdo e vai até o ponto de temperatura máxima encontrado nas folhas. Já o marcador em amarelo, parte do canto superior esquerdo e vai ao ponto de temperatura mínima.

Figura 4 – Imagem final com marcadores



Fonte: (Própria, 2019)

Para esta imagem, a temperatura máxima detectada nos pontos referentes às folhas foi 26,04°C, e a temperatura mínima foi de 24,95°C. Logo, a amplitude de temperatura ao longo dos pontos avaliados foi de 1,09°C. Levando em conta a precisão da câmera térmica usada, aproximadamente 0,1°C, a variação de temperatura pode ser aproximada para 1°C. Quanto à temperatura média dos pontos das folhas, o valor encontrado foi de 25,47°C, o que é uma medida aceitável por estar próximo do valor médio da amplitude de temperatura. Para questão de comparação, a temperatura do ar no momento da captura da imagem era de aproximadamente 23,9°C.

CONCLUSÕES

Observando os resultados obtidos e as especificações dos componentes, a câmera térmica usada apresenta diferentes campos de visão dependendo da posição em que é colocada (JONES, 2009). Para a aplicação usada, a melhor posição para obter uma maior área das folhas da copa é de um ponto superior à planta, pois como as folhas do arroz possuem uma espessura pequena, uma imagem lateral não traria uma quantidade significativa de pontos da superfície das folhas. Dessa forma, além de aumentar a quantidade de pontos da imagem referentes às folhas, pode-se alterar a altura do dispositivo em relação às plantas, fazendo com que a foto seja tirada de uma região com mais de uma amostra.

Este dispositivo foi construído a partir de uma câmera térmica de baixo custo e de algumas peças eletrônicas de fácil acesso, logo o uso desse tipo de equipamento torna-se bastante viável para os mais variados grupos de pesquisa nacionais. Por basear-se no uso de

imagens térmicas o dispositivo pode fornecer informações em vários assuntos referentes a agricultura como alguns fenótipos de plantas, a presença de pragas ou doenças e a presença de falhas de irrigação em plantações.

Foi mostrado o seu uso em casa de vegetação para obter a temperatura de cada folha e assim ter a temperatura média do dossel da planta e poder avaliar cada uma se tem algum estresse hídrico ou se está sendo injuriada por alguma praga. Ajustando alguns parâmetros e posicionando o dispositivo em um drone ou em algum suporte móvel, ele pode também ser aplicado para obter informações no campo. Uma forma de tornar o dispositivo ainda mais portátil e de fácil acesso, é transformar os programas desenvolvidos em um aplicativo para smartphones e usar como câmera térmica o próprio equipamento FLIR ONE (ver <https://www.flir.com/flirone>). Dessa forma, a resolução das imagens obtidas será muito maior e o uso dessa ferramenta se tornará mais acessível. Com essa ferramenta presente em um telefone celular, todo o processo de captura de imagens e processamento de dados se tornaria mais rápido e intuitivo, pois com o aplicativo essas duas etapas seriam feitas de forma simultânea. Logo, o produto final pode ser modelado pelo próprio usuário mediante a sua necessidade.

REFERÊNCIAS

- SOUSA, C. A. F. et al. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 660-672, 2015.
- JONES, Hamlyn G. et al. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 11, p. 978-989, 2009.
- MUNNS, Rana et al. New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. **Journal of experimental botany**, v. 61, n. 13, p. 3499-3507, 2010.
- FLIR Proprietary-Confidential e FLIR LEPTON. Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet.
- Arduino. Arduino Nano. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>. Acessado em: 19 de mar. de 2019.
- FLIR. FLIR ONE | FLIR Systems. Disponível em: <https://www.flir.com/flirone>. Acessado em: 06 de fev. de 2019.
- Costa, Miguel & García-Tejero, I.F. & Chaves, M.. (2013). O uso da termografia na agricultura moderna. *Revista da Associação Portuguesa de Horticultura (APH)*. 113. 30-34.