

Plataforma embarcada para monitoramento da cultura do morangueiro

Andreison de Castro, Luiz Eduardo Schardong Spalding, Rafael Rieder
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
Universidade de Passo Fundo
Passo Fundo, RS, Brasil
Email: castroandreison@gmail.com, spalding@upf.br, rieder@upf.br

Abstract—Agriculture is an area that provide different technological innovations, including the use of computer vision resources in an embedded solution. In order to contribute for phytosanitary management approaches, and assist researchers with data from sensors, this work presents the development of an embedded vision system for strawberry culture. Inside this context, the hardware and software for an embedded platform, model Raspberry PI, was developed. Image processing techniques had been used to estimate the leaf area of the crop, along with data acquisition from the camera and the meteorological sensors. As a result, it is expected to offer a system of affordable cost for practical use by researchers and farmers, collaborating to manage the strawberry and for a healthy production of fruits, quantitatively and qualitatively.

Resumo—A Agricultura é uma área que permite diferentes inovações tecnológicas, entre elas o uso de recursos de visão computacional em uma solução embarcada. Visando contribuir com técnicas de manejo fitossanitário, e auxiliar pesquisadores com dados oriundos de sensores, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de visão embarcada para a cultura do morangueiro. Dentro deste contexto, desenvolveram-se o hardware e os softwares para uma plataforma embarcada, modelo Raspberry PI. Técnicas de processamento de imagens foram utilizadas para estimar a área foliar da cultura, considerando dados da câmera e dos sensores meteorológicos instalados. Como resultado, espera-se oferecer um sistema de custo acessível para uso prático por pesquisadores e produtores, colaborando no manejo do morangueiro e na produção saudável de frutos, de forma quantitativa e qualitativa.

I. INTRODUÇÃO

Para a agricultura de precisão, dispositivos sensoriais e a visão computacional podem ser ferramentas tecnológicas relevantes para a tomada de decisão no campo. Eles fornecem recursos e implementações destinadas à produção e à gestão de culturas. Para obter maior retorno econômico e causar menor impacto ao meio ambiente, algumas aplicações dessa natureza se destacam, como o monitoramento meteorológico a fim de encontrar impactos na produtividade [1]; e a extração de características de imagens para acompanhamento dos estádios fenológicos das plantas [2].

A inserção de recursos embarcados promove um potencial de retorno econômico significativo, propondo benefícios e versatilidade para diferentes aplicações na agricultura. Na busca de competitividade, produtividade e lucratividade, a indústria almeja avanços e se empenha em pesquisas para inovação e incorporação da tecnologia. O uso de sistemas

eletrônicos embarcados com softwares dedicados permitem, em tempo real, supervisionar e comandar automaticamente máquinas e implementos, monitorar e adquirir informações por sensores, e realizar cálculos estatísticos preditivos [2] [3].

Segundo Antunes e Reisser [4], o Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo. Recentemente, uma das culturas que vem ganhando destaque no Brasil, com aumento de área de plantio, é a cultura do morango. O resultado do aumento da produção provém da inserção de meios tecnológicos na produção visando maior lucratividade.

No entanto, sabe-se que o cultivo de morangos é uma atividade agrícola especializada, que exige dedicação, conhecimentos de alto nível técnico e utilização de métodos modernos de manejo fitossanitário. Por ser uma planta sensível a mudanças climáticas e a doenças [5], existe a necessidade de cuidados na aplicação e redução de químicos nas áreas de plantio, visando qualidade e aceitabilidade dos frutos.

Para tanto, o monitoramento contínuo da planta é necessário, geralmente executado de forma manual no campo, a partir da leitura de diferentes variáveis em diferentes períodos, e da análise de um profissional experiente. Sensores, como de temperatura, de radiação solar e de umidade relativa, são utilizados, além da inspeção humana para obter parâmetros de crescimento e área foliar. Assim, pode-se estimar e prever condições futuras, considerando situações como temperatura de exposição, fotoperíodo, somas térmicas diária e acumulada, acúmulo de horas a frio, radiação solar global e fotossinteticamente ativa, área foliar total, umidade relativa do ar e do solo, e tempo de irrigação.

Desta forma, identifica-se uma oportunidade para implementação de um dispositivo que forneça dados dessas grandezas a partir de sensores, automatizando o processo. Esse fato pode agregar um fortalecimento inovador nos estudos, pois tende a gerar resultados mais precisos, a partir de um conjunto massivo de dados, com tendência de ganho genético e de produtividade.

Além disso, o uso de tecnologias pode agilizar o processo de gestão da cultura, com ferramentas que permitem acompanhar a evolução das plantas, e contribuem para o manejo com menor impacto ambiental. Algumas aplicações dessa natureza se destacam, como o monitoramento meteorológico e a extração de características a partir de imagens e vídeos.

Para tanto, esse artigo apresenta partes de desenvolvimento

de uma plataforma embarcada para aquisição de dados, que emprega técnicas de visão computacional e sensoriamento meteorológico em uma solução integrada de hardware e software para auxiliar pesquisadores e produtores da cultura do morangueiro. As próximas seções detalham o andamento.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de contribuir para um manejo da cultura do morangueiro, este trabalho propõe um equipamento específico de visão computacional e uma estação meteorológica direcionada ao manejo da planta. Para tanto, são empregados sensores e uma câmera de alta resolução juntamente com softwares e hardwares desenvolvidos.

A. Plataforma e softwares

Para embarcar a solução proposta, optou-se pela plataforma Raspberry PI 3, utilizando como sistema operacional o software Raspbian Jessie GNU/Linux. Para o desenvolvimento dos softwares, utilizou-se o editor de textos *Geany* e a linguagem de programação Python. Os programas seguiram a estrutura de subdivisão em classes e módulos, sendo que alguns algoritmos tiveram funcionalidades paralelizadas em *threads*. Para criar a interface gráfica (GUI) de controle do sistema pelo usuário, projetou-se e criou-se a aplicação com a IDE Qt Creator e a ferramenta Qt Designer.

Em relação ao uso de bibliotecas para os softwares, destacam-se recursos da *OpenCV* (<http://www.opencv.org>) para algoritmos de visão de computacional e de aprendizagem de máquina; da *QT4* para interconexão da linguagem *Python* com a GUI; da *Matplotlib*, para desenhos de gráficos 2D em *Python*; e da *Openpyxl*, para ler e escrever arquivos em *Python*.

B. Aquisição de dados

A aquisição dos dados foi de propósito experimental realizado em ambiente de teste, cujo objetivo foi calibrar câmera e sensores meteorológicos. Além disso, fez-se o acompanhamento das funcionalidades da plataforma até a gravação das informações coletadas.

Baseado no ambiente controlado, subentende-se que o nível de complexidade possa ser minimizado quando comparado à aplicação real. Dos fatores impactantes mais relevantes prevê-se umidade e temperatura. Por se tratar de um equipamento de estufa, projetou-se o módulo com vedação de umidade. Para temperatura, os componentes satisfazem uma escala de necessidade, tornando-o adequado ao ambiente hostil e propício. Outro fator preponderante, relacionado à etapa de captura de imagem, é a refletância de verde no solo. Para correção dessa dificuldade prevista, usou-se um material preto fosco sobre o solo, eliminando falsos verdes.

Os dados adquiridos dos sensores e os resultados da análise da imagem são armazenados em uma planilha eletrônica, e apresentados em vetores na GUI deste trabalho.

1) *Sensores meteorológicos*: Para obter temperatura e umidade relativa do ar utilizou-se o sensor DHT22, pois já traz o condicionamento dos dados lidos, ou seja ocorre a conversão das informações de grandezas físicas reais, para dados digitais.

Estes dados podem ser requisitados por meio de comandos via comunicação I2C em biblioteca própria. Matematicamente, pode-se realizar o cálculo do ponto de orvalho.

Para a radiação solar, empregou-se o sensor S1336, um fotodiodo da família de sensibilidade espectral da faixa de radiação ultravioleta (UV) espectro de aquisição 320 a 1100nm, próximos a IR [6]. Como o objetivo é a medição de radiação fotossintética, um filtro UV foi implantado sobre o feixe de luz recebido para a aquisição da leitura no espectro correspondente. Entretanto, este componente necessita de amplificação de sinal por meio de circuitos operacionais amplificadores e, para condicionamento, um circuito integrado MCP3008 para conversão de sinais analógicos para digitais. Esse componente possui um ADC de 10 bits, permitindo converter até 200000 amostras por segundo. Ele também oferece compatibilidade SPI com a Raspberry PI, e trata os dados através de comandos de sua biblioteca.

2) *Processamento de imagens*: As imagens foram capturadas por uma câmera com resolução 1000x1000px. Em seguida, inicia-se o pré-processamento para preparação da imagem, com aplicação de um filtro de *Gamma Correction* [7] para ajuste de brilho e contraste, evitando assim altos diferenciais sensíveis a mudanças de tons. Esse passo ajusta a disparidade de claridade irradiada pelo sol sobre a planta.

Posteriormente, executa-se a supressão de ruído por *denoising* [8]. A método *fastNlMeansDenoisingColored* usa operações de médias não locais. A filtragem requer uma média ponderada pela semelhança dos pixels na imagem, para então atribuir o valor de cor ao pixel alvo sobre a imagem. Em caso de falha em algum pixel, estima-se o tom do pixel original pela vizinhança. Na sequência, realiza-se a conversão para formato de cores HSV [9], para definição de um patamar de nível de verde assim obtendo a região a região de interesse (folhas) e calcular a área foliar presente. Aplicam-se elementos filtrantes derivados da *Morphological Transformations*, como técnicas *erode-dilate* [10] para preencher as fronteiras de cada pixel, garantindo a formação do objeto. Após, executa-se um processo de *Color Quantization* [11] que distribui em classes e nos respectivos grupos apenas duas cores distintas, é uma forma a otimizar a compreensão dos dados. Em seguida, a imagem de fundo é subtraída a partir de um limiar de cor com o método *Otsu's Binarization* [10].

Por fim, para a extração de características e estimativa da área foliar, aplica-se o método de agrupamento *K-Means Clustering* [12] [13], com a finalidade de contabilizar o número de pixels dos dois tons de cores. A primeira cor faz referência à área foliar, e a outra cor à área adjacente. Após a obtenção dos dois valores numéricos, é realizada a operação de multiplicação por um fator que age em relação a distância da câmera ao objeto, assim possibilitando a mensuração das duas áreas de interesse.

Para calibrar a área de interesse, utilizou-se a imagem da Figura 1a. Ela representa uma matriz com um quadrado de dimensão conhecida (10mm²) ao centro. A plataforma foi montada a uma altura de 26cm entre objeto e câmera. Em função deste raio e área conhecida, obtém-se um fator multi-

plicador que permite estimar a área do objeto de interesse.

Para aferir esse procedimento, testou-se a concordância entre calibração e valores lidos da imagem, com tamanho real. Isso corroborou com a razão proporcional estimada para o fator multiplicador. A Figura 1b mostra o resultado, que representa a aquisição de medidas por metodologia das distâncias euclidianas entre os conjuntos de pontos médios, possibilitando assim também estimar a área de um objeto.

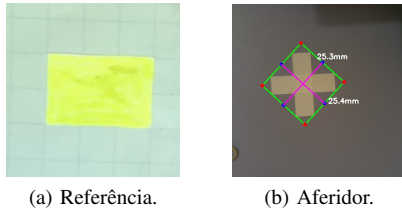


Figura 1. Calibração da câmera.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta a interface que o usuário controla e visualiza os resultados do monitoramento da cultura, oriundos da plataforma embarcada. Os recursos permitem a seleção das funcionalidades: *Graphs*, *Temperature* TMP, *Humidity* HMD, *Dew Point*, *Radiation* PAR, *Leaf Area* e *HMD Ground*.

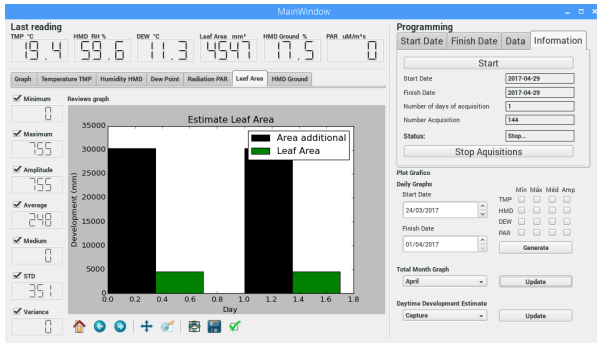


Figura 2. Tela principal de operação e visualização de dados.

A janela *Last Reading* disponibiliza as últimas leituras adquiridas, juntamente com dados estatísticos como *Minimum*; *Maximum*; *Amplitude*; *Average*; *Medium*; (*STD* Desvio padrão; *Variância* para cada informação desejada. Ele também apresenta os resultados de em ambiente gráfico na janela *Reviews graph*. A Figura 3 mostra um exemplo dos gráficos gerados com valores de (TMP) Temperatura (°C); (HMD) Umidade Relativa (RH%); (DEW) Ponto de orvalho (°C); *Leaf Área* Área Foliar (mm²); (HMD *Ground*) Umidade do Solo (RH%) e (PAR) Radiação fotossinteticamente ativa.

O usuário pode filtrar os dados de acordo com o mês selecionado no recurso *Total Month Graph*, atualizando-o a interface a partir do botão *Update*. Essa funcionalidade executa a captura de todos os dados reais obtidos durante as análises. Já o recurso *Daily Graphs* mostra dados de médias diárias em um intervalo de data selecionado, pesquisando no banco

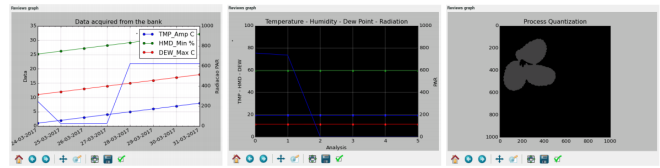


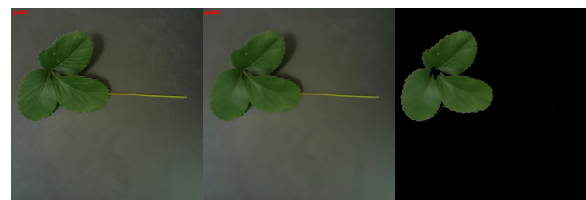
Figura 3. Janela *Reviews graph*.

de dados de informações diárias. O gráfico pode ser gerado a partir do botão *Generate*. Vale ressaltar que todos os dados apresentados estão armazenados em arquivo no formato de planilha eletrônica.

Na parte superior direita da Figura 3, observa-se a janela *Programming*, responsável em configurar as necessidades de aquisição do usuário. As abas *Start Date* e *Finish Date* marcam o início e o término da análise. Na aba *Data* define-se o intervalo diário entre as aquisições (hora/minuto) e também oferece um recurso de atribuir um valor de controle para a temperatura do ponto de orvalho (*Dew Point Control*). Após inserção dos dados pode-se iniciar o processo (botão *Start* na aba *Information*). Ela apresenta o intervalo de datas e o número de aquisições diária e total que serão computados.

Ao finalizar a GUI, fez-se testes com a plataforma embarcada em ambiente experimental, englobando todo o processo de aquisição, processamento, armazenamento e exibição dos resultados. Nesse trabalho, dá-se enfoque apenas ao processamento de imagens, destinado à mensurar a área foliar presente. Uma vez configurada a plataforma para monitoramento, os sensores iniciam o processo de aquisição de dados. A aquisição de imagens leva em consideração a radiação solar PAR incidente sobre a área de aquisição.

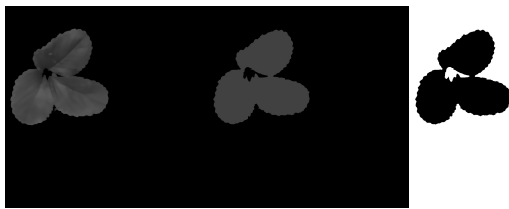
Após obter a imagem, executa-se automaticamente a sequência de processos representados na Figura 4 e 5, quais sejam: pré-processamento, com ajuste de gama e remoção de ruído (Figura 4a e Figura 4b); processamento, realçando a parte verde, as bordas e as regiões de interesse (Figura 4c, e e Figura 5, Figura 5a e Figura 5b); e pós-processamento, segmentando a imagem (Figura 5c) para, enfim, classificar e mensurar os dados.



(a) Ajustar gama. (b) Remover ruído. (c) Região de verde.

Figura 4. Processo para obtenção da área foliar.

A partir dos dados quantificados, gera-se um gráfico para apreciação do resultado, como mostra a Figura 6. Nela, exhibe-se o espaço total de área divididos em área adicional e área foliar, em mm². Os valores numéricos da área foliar também são exibidos na janela da GUI.



(a) Filtro de Erosão. (b) Quantização. (c) Subtração de fundo.

Figura 5. Processo para obtenção da área foliar.

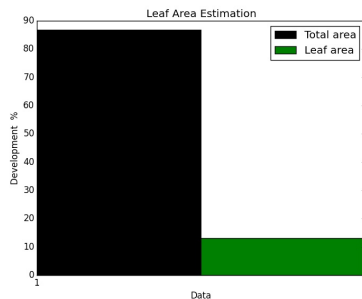


Figura 6. Resultado quantificado da imagem: área total e área foliar.

Como validação preliminar de obtenção de área foliar, fez-se um comparativo entre o resultado alcançado pela plataforma embarcada, e a execução do mesmo procedimento por meio dos recursos do software ImageJ. O resultado da área foliar no ImageJ foi de $4748,513\text{mm}^2$, e o da solução proposta foi de $4747,8162\text{mm}^2$. Para esse exemplo, nota-se uma diferença mínima entre as abordagens ($0,6968\text{mm}^2$, $a:b < 0,01$), o que transparece confiabilidade para a metodologia adotada e embarcada na plataforma.

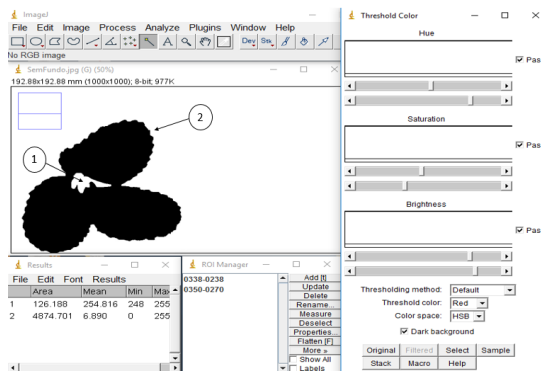
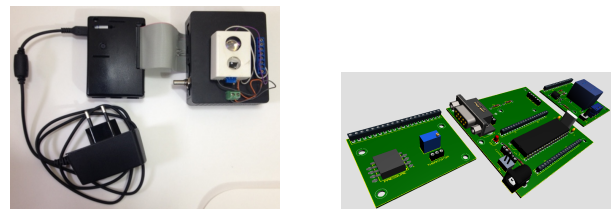


Figura 7. Repetição do processo no software ImageJ, para fins de comparação.

Para ilustrar o equipamento desenvolvido, a Figura 8a apresenta a plataforma embarcada conectada a caixa de sensores. Já a Figura 8b mostra a imagem ilustrativa do projeto.

IV. CONCLUSÃO

Plataformas de visão computacional são fontes de informações amplamente necessárias para agricultura. Sensores meteorológicos e dados visuais podem oferecer potencial



(a) Plataforma embarcada e caixa com sensores.

(b) Designer 3D da solução.

Figura 8. Equipamento projetado.

benéfico, como a quantização dos dados no plantio e o acompanhamento fitossanitário da planta, visando aumentar a produtividade e a qualidade do fruto.

Conclui-se que uma solução dessa relevância também mostra a importância direta das tecnologias no auxílio da produção de culturas agrícolas. O oferecimento de uma solução embarcada para monitorar os estádios de crescimento do morangueiro pode gerar um potencial econômico considerável, permitindo tomadas de decisão assertivas.

Como trabalhos futuros, ainda está previsto a instalação da solução em campo experimental e testes com pesquisadores da Agronomia. O intuito é realizar comparações entre resultados obtidos por métodos manuais e pela plataforma apresentada.

REFERÊNCIAS

- [1] F. A. Medeiros, A. dos Santos Alonço, M. R. G. Balestra, V. de Oliveira Dias, and M. L. L. Júnior, "Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado," *Ciência rural*, vol. 38, no. 8, pp. 2375–2378, 2008.
- [2] J. P. Molin, "Agricultura de Precisão," *Boletim Técnico*, p. 38, 2011.
- [3] F. Norzahari, K. Fairlie, A. White, M. Leach, M. Whitty, S. Cossell, J. Guivant, and J. Katupitiya, "Spatially smart wine-testing geospatial technologies for sustainable wine production," in *FIG Working Week*, 2011.
- [4] L. E. C. Antunes and C. R. Junior, "Caracterização da produção de morangos no Brasil."
- [5] J. Bernardi, A. Hoffmann, M. C. Palombini, L. E. C. Antunes, A. Calgato, J. Pasa, and J. de Melo Freire, "Sistema de produção de morango para mesa na região da serra gaúcha e encosta superior do nordeste," Dez 2005.
- [6] T. F. Paes, A. F. Beloto, L. A. Berni, and W. A. Vilela, "Sistemas de caracterização elétrica e ótica de detectores fotovoltaicos para radiômetros," 2012.
- [7] Y. Shi, J. Yang, and R. Wu, "Reducing illumination based on nonlinear gamma correction," in *Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2007, pp. I–529.
- [8] A. C. Bovik, *The essential guide to image processing*. Academic Press, 2009.
- [9] V. Oliveira and A. Conci, "Skin detection using hsv color space," in *H. Pedrini, & J. Marques de Carvalho, Workshops of Sibgrapi*. Citeseer, 2009, pp. 1–2.
- [10] C. Rafael Gonzalez and R. Woods, "Digital image processing," *Pearson Education*, 2002.
- [11] A. Pujol and L. Chen, "Color quantization for image processing using self information," in *Information, Communications & Signal Processing, 2007 6th International Conference on*. IEEE, 2007, pp. 1–5.
- [12] D. L. Baggio, *Mastering OpenCV with practical computer vision projects*. Packt Publishing Ltd, 2012.
- [13] K. Koonsanit, C. Jaruskulchai, and A. Eiumnroh, "Determination of the initialization number of clusters ink-means clustering application using co-occurrence statistics techniques for multispectral satellite imagery," *International Journal of Information and Electronics Engineering*, vol. 2, no. 5, p. 785, 2012.