



Emprego de webcam para detecção de fósforo em extrato de solo por imagens digitais

Use of webcam for phosphorus detection in soil extract by digital images

Michel Hanzen Scheeren*, Pedro Luiz de Paula Filho[†],
Oldair D. Leite[‡]

RESUMO

A necessidade cada vez maior de processos relacionados a monitoramento, medição e controle de alta precisão nas mais diversas áreas gera um aumento na demanda por sistemas dedicados à análise de dados destes ambientes, que apresentem alta precisão e eficiência. Neste cenário, os sistemas embarcados têm se destacado por conta de sua grande portabilidade e custo reduzido. Dessa forma, este artigo visa descrever a metodologia empregada para a construção de um sistema que usa mecanismos de visão computacional para a detecção em processos analíticos em fluxo utilizando um microcontrolador Raspberry Pi. Posteriormente, o sistema foi avaliado na determinação de fósforo em amostras certificadas de solo, onde mostrou ser uma alternativa promissora para medidas analíticas de espécies de interesse, quando comparado às metodologias oficiais de análise.

Palavras-chave: sistema embarcado, Raspberry Pi, visão computacional

ABSTRACT

The increasing need for processes related to monitoring, measurement, and high-precision control in the most diverse areas generates an increase in demand for systems dedicated to data analysis in these environments that present high precision and efficiency. In this scenario, embedded systems have stood out because of their great portability and low cost. Thus, this paper aims to describe the methodology used to build a system that uses computer vision mechanisms for detection in flow analytical processes using a Raspberry Pi microcontroller. Subsequently, the system was evaluated in the determination of phosphorus in certified soil samples, where it showed to be a promising alternative for analytical measurements of species of interest when compared to official analysis methodologies.

Keywords: embedded system, Raspberry Pi, computer vision

1 INTRODUÇÃO

A necessidade cada vez maior por processos relacionados a monitoramento, medição, e controle de alta precisão, em áreas como produção agrícola, industrial e ambiental gera um aumento na demanda por sistemas dedicados à análise de dados relacionados a estes ambientes. Estima-se que que nos países industrializados, de 4 a 6% do produto interno bruto (PIB) seja dedicado a processos de medição

* Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira; michelscheeren@alunos.utfpr.edu.br

[†] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira; plpf2004@gmail.com

[‡] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira; oldair.leite@gmail.com



(JORNADA, 2009), o que comprova que investimentos nessas áreas são cada vez mais justificados. Dessa forma, percebe-se a grande necessidade por aparelhos e sistemas relacionados a automação do monitoramento e da análise de espécies químicas e de interesse, que apresentem alta precisão, grande eficiência na análise e coleta dos dados, confiabilidade nos resultados e baixo custo.

Uma forma de monitoramento são os sistemas de análise contínuo (ou em fluxo), desenvolvidos com o objetivo de automatizar os procedimentos analíticos visando uma maior frequência de análise, diminuição no consumo de reagentes, e menores intervenções do analista nas etapas do procedimento de quantificação (SANTOS, 2013).

O uso de visão computacional para a análise em fluxo já se mostrou uma alternativa muito eficiente frente às abordagens de medição tradicionais, tendo sido capaz de facilitar e agilizar diversos processos de análises químicas, além de ser uma opção muito mais barata e acessível do que os mecanismos mais convencionais de medição (JUNIOR, 2019).

A visão computacional é a área da computação que está relacionada com a forma como uma máquina entende o mundo a sua volta, extraindo informações relevantes a partir de imagens que permitem reconhecer e manipular os objetos em um ambiente (MILANO, et al., 2010).

Para permitir maior mobilidade e praticidade de uso, uma alternativa para implementação da visão computacional é a utilização de sistemas embarcados. Segundo OSSADA et al. (2010), os sistemas embarcados têm se tornado cada vez mais presentes nas mais variadas atividades humanas, seja para auxiliar em tarefas do cotidiano, proporcionar conforto, segurança ou rapidez, na medida em que o custo de fabricação e desenvolvimento desse tipo de sistema cai.

Um bom exemplo de sistema embarcado é o Raspberry Pi. Trata-se de uma plataforma de prototipagem aberta baseada em hardware e software flexíveis e de fácil utilização, criado pela Raspberry Pi Foundation com o objetivo de estimular o ensino da ciência da computação nas escolas e universidades, e apesar de possuir o hardware em uma única placa eletrônica de tamanho reduzido, seu potencial é muito significativo (CROTTI, et al., 2013).

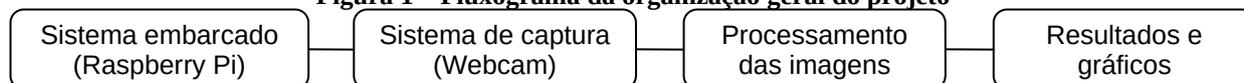
Alguns trabalhos na área de análise em fluxo com visão computacional já foram apresentados na literatura, como BYRNE et al. (2000) e PAPADAKIS et al. (2000). SANTOS et al. (2016) desenvolveu uma pesquisa associada a sistemas em fluxo contínuo. Entretanto, nenhum dos trabalhos utiliza o conceito de sistemas embarcados.

Levando em conta a capacidade da visão computacional de ser uma promissora substituta aos mecanismos tradicionais de análise em fluxo, e no potencial dos microcontroladores como alternativas confiáveis e baratas, associada à necessidade crescente por mecanismos de automação de processos de análise de reações químicas, este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um sistema embarcado de baixo custo que utiliza mecanismos de visão computacional para a detecção em sistema de análise em fluxo.

2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA

Para auxiliar no desenvolvimento do sistema, foi construído o fluxograma da Figura 1, que apresenta os principais pontos envolvidos no projeto. O sistema embarcado é o responsável por coordenar todo o fluxo de trabalho, controlando as capturas e executando o processamento das imagens adquiridas e por fim, condensando e apresentando os resultados por meio de tabelas e gráficos.

Figura 1 – Fluxograma da organização geral do projeto

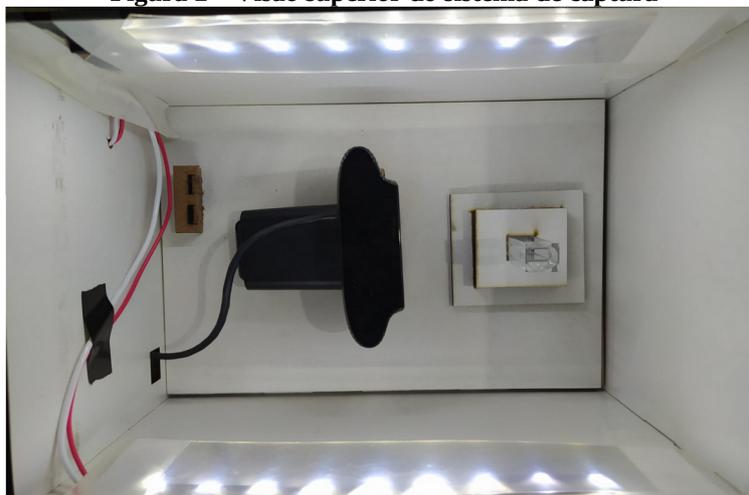


Fonte: Autoria própria (2021).

Como sistema embarcado, optou-se pela utilização de um microcontrolador Raspberry Pi 4B, escolhido principalmente por conta de seu preço reduzido se comparado a outras opções do mercado, que associado ao seu grande poder de processamento, o tornaram uma excelente opção custo-benefício.

Para o sistema de captura das imagens, foi construída uma caixa em MDF com controle de luminosidade interna, utilizado luzes de LED. A Figura 2 apresenta a visão superior da estrutura de captura, em que pode-se perceber o sistema de LEDs instalados nas laterais e a webcam no centro, empregada para o monitoramento da reação química.

Figura 2 – Visão superior do sistema de captura



Fonte: Autoria própria (2021).

Por conta de todo o suporte nativo prévio oferecido pelo Raspberry Pi, optou-se pela utilização do Python, uma linguagem de programação poderosa e de fácil utilização. O meio escolhido para implementação foi o ambiente web através do framework Flask, por sua escalabilidade e facilidade de uso.

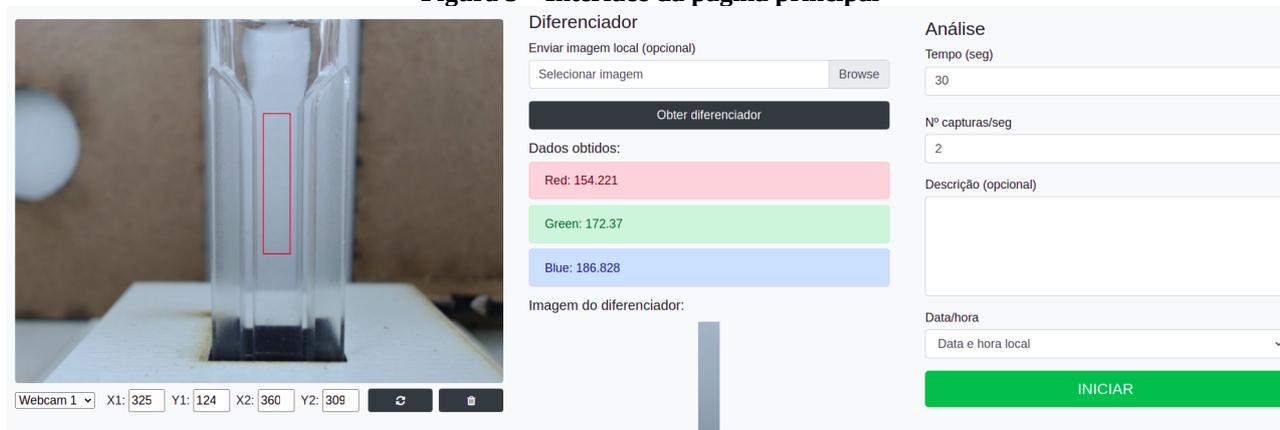
A biblioteca utilizada para a obtenção e tratamento das imagens foi a OpenCV Contrib-Python, um conjunto de pacotes OpenCV pré-compilados para uso com python, que permitem o uso das funcionalidades da Open Source Computer Vision Library, uma biblioteca com centenas de algoritmos de visão computacional.

Por ter sido construído com tecnologias web, o sistema pode tanto ser utilizado diretamente a partir do Raspberry Pi (utilizando monitor, teclado e mouse), ou a partir de outro computador, desde que este esteja conectado à mesma rede local do servidor executado no Raspberry Pi.

Como pode ser observado na Figura 3, a imagem da webcam é exibida em tempo real do lado esquerdo da tela. Na região do meio, tem-se os controles relacionados ao diferenciador (seu uso será detalhado na sequência), e na parte direita da tela tem-se as opções relacionadas ao gerenciamento da análise.

Na imagem da webcam, tem-se a opção de seleção de uma área de interesse (retângulo vermelho na Figura 3), para os casos em que apenas uma parte da imagem deve ser analisada. Existe ainda a possibilidade de escolha manual das extremidades da área de interesse, assim como de alterar a webcam utilizada.

Figura 3 – Interface da página principal



Fonte: Autoria própria (2021).

O diferenciador é uma imagem capturada do estado inicial do sistema, antes da análise começar. Depois de obtida, essa imagem é processada utilizando a biblioteca openCV, com o objetivo de se obter um vetor contendo sua média de cores RGB. Após obtenção do diferenciador, seus dados são exibidos na tela principal na região de dados obtidos (média RGB e a imagem capturada).

É possível definir a duração da análise (tempo em segundos que imagens serão capturadas), e o número de capturas a cada segundo (intervalo de 1 à 10). Opcionalmente, pode-se adicionar uma descrição textual da análise que será exportada junto dos resultados.

Após todas as capturas, começa o cálculo dos resultados, onde a imagem terá seu valor médio RGB calculado, para obter o “sinal” de cada captura a partir da Equação 1, em que “d” e “c” representam “diferenciador” e “captura”, respectivamente, e “r”, “g” e “b” os elementos de cor “red”, “green” e “blue”.

$$Sinal = \sqrt{(dr - cr)^2 + (dg - cg)^2 + (db - cb)^2} \quad (1)$$

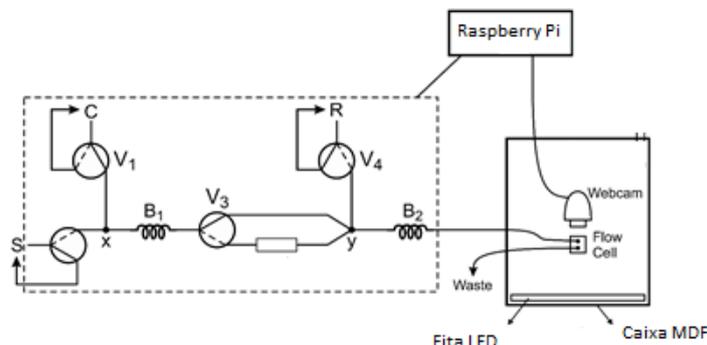
Por fim, uma síntese dos resultados obtidos durante a análise é exibida em uma página de resultados, em que são condensadas informações referentes às definições da análise, valores obtidos para as médias de cores do diferenciador e de cada captura. Usando os sinais calculados a partir da Equação 1, gera-se ainda um gráfico de linha Tempo X Sinal, que permite a visualização do comportamento medido na análise. Também é possível exportar os dados obtidos por meio de um arquivo compactado contendo as capturas feitas, ou como uma planilha com os dados calculados durante a análise.

Para avaliar a eficiência do sistema de detecção via webcam, bem como da determinação espectrofotométrica (procedimento padrão), foi utilizado protocolo analítico de determinação de fósforo em miligramas por decímetro cúbico (P mg/dm³) de extrato de solo, seguindo o procedimento descrito pela AOAC (1995). O procedimento de calibração (estimativa de P em mg/dm³) foi realizado com padrões externos no intervalo entre 0,1 a 1,0 mg de fósforo/dm³.

3 RESULTADOS

A Figura 4 apresenta o esquema geral de funcionamento da análise em fluxo com detecção por imagens digitais (webcam) gerenciado pelo Raspberry Pi.

Figura 4 – Sistema de análise em fluxo com a detecção de imagens digitais por webcam



Fonte: Autoria própria (2021).

O sistema foi empregado para determinação de fósforo em miligramas por decímetro cúbico ($P \text{ mg/dm}^3$). A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos utilizando o sistema proposto e faz uma comparação com os resultados de métodos convencionais de análise.

Tabela 1 – Resultados obtidos na determinação de P em solo certificado contendo $16,4 \pm 0,2 P \text{ mg/dm}^3$, empregando a metodologia padrão AOAC (1995) e procedimento proposto (Imagem digital)

Solo Certificado $16,4 \pm 0,2$ $P \text{ mg/dm}^3$	Met. Padrão AOAC $P \text{ mg/dm}^3$	Sistema Proposto $P \text{ mg/dm}^3$
Determinação 1	16,6	16,2
Determinação 2	16,4	16,1
Determinação 3	16,1	16,1
Determinação 4	16,5	16,1
Determinação 5	16,2	16,1
Determinação 6	16,5	16,2
Determinação 7	16,2	16,2
Média	$16,4 \pm 0,19$	$16,1 \pm 0,05$

Fonte: Autoria própria (2021).

Analisando os resultados médios obtidos durante a aplicação do teste t pareado e empregando os procedimentos analíticos na Tabela 1 ($16,4 \pm 0,19$ e $16,1 \pm 0,05 \text{ mg/dm}^3$), não foi possível observar diferenças significativas entre os mesmos, a um nível de confiança de cerca de 95%. O valor obtido com o procedimento proposto apresentou excelente exatidão, erro de 1,5%, quando comparado com o valor certificado e, desvio padrão relativo de 0,05%.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos a partir da análise utilizando o sistema proposto, detecção via webcam, ficaram muito próximos com os obtidos empregando o procedimento padrão (AOAC) com detecção espectrofotométrica.

O uso de dispositivos que associam análise em fluxo a detecção por imagem digital mostrou ser uma alternativa muito promissora para medidas analíticas de espécies de interesse, quando comparado às metodologias oficiais de análise.



AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Brasil. Também foi de suma importância o apoio recebido por parte dos orientadores Pedro Luiz de Paula Filho e Oldair D. Leite, dos departamentos de Ciência da Computação e Química, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th ed.; AOAC International: Arlington, VA, 1995.
- BYRNE, L.; BARKER, J.; PENNARUN-THOMAS, G.; DIAMOND, D.; EDWARDS, S. **Digital imaging as a detector for generic analytical measurements**. TrAC Trends in Analytical Chemistry, v. 19, n. 8, p. 517-522, 2000.
- CROTTI, Y.; SILVA, J. B.; MARCELINO, R.; VILSON, G.; CASAGRANDE, L. C. S. **Raspberry Pi e Experimentação Remota**. International Conference on Interactive Computer aided Blended Learning, 2013. Disponível em: wicbl-conference.org/proceedings/2013/papers/Contribution49_a.pdf. Acesso em: 28 Jul. 2021.
- JORNADA, Daniel Homrich. **Implantação de um guia orientativo de incerteza de medição para avaliadores de laboratório da rede metrológica RS**. Lume UFRGS, 2009. Disponível em: www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17491/000716812.pdf. Acesso em 5 Set. 2021.
- JUNIOR, Marcos Yuri Rosa; FILHO, Pedro Luiz de Paula. SEVERO, Eduarda Aguita; LEITE, Oldair D. **Aplicação Usando Visão Computacional para Análise de Líquido em Fluxo**. XXIV Seminário de Inovação Científica e Tecnológica, 2019. Disponível em: eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2019/paper/viewFile/5658/1360. Acesso em 5 Set. 2021.
- MILANO, Danilo De; HONORATO, Luciano Barrozo. **Visão Computacional**. Unicamp IA FT, 2010. Disponível em: academia.edu/9621896/VIS%C3%83O_COMPUTACIONAL_Palavras-Chaves. Acesso em 5 Set. 2021.
- OSSADA, Jaime Cazuhiro; MARTINS, Luiz Eduardo Galvão. **Um Estudo de Campo sobre o Estado da Prática da Elicitação de Requisitos em Sistemas Embarcados**. Workshop em Engenharia de Requisitos, 2010. Disponível em: wer.inf.puc-rio.br/WERpapers/artigos/artigos_WER10/ossada.pdf. Acesso em: 6 Ago 2021.
- PAPADAKIS, S. E.; ABDUL-MALEK, S.; KAMDEM, R. E.; YAM, K. L. **A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods**. Food Technology, 54(12), 48–51, 2000.
- SANTOS, Jorge Luís de. **Estratégias analíticas para determinação de nitrito e nitrato em matrizes ambientais e alimentícias**. Universidade Federal da Bahia, 2013. Disponível em: repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/15799/1/DISSERTA%c3%87AO_JORGE%20LUI%20OLIVEIRA%20SANTOS_PPGQ_UFBA.pdf. Acesso em: 9 Ago 2021.
- SANTOS, J. L. O.; LEITE, O. D.; VIEIRA, A. D.; JESUS, D. S.; KAMOGAWA, M. Y. J. **Use of a digital image in flow analysis: Determination of nitrite and nitrate in natural Waters**. Journal of the Brazilian Chemical Society, 27, 70, 2016.