SISTEMA PARA MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES E CORRELAÇÃO COM A ÁREA FOLIAR DE ESPÉCIES VEGETAIS

João Vitor Cirelli
joao.cirelli@outlook.com
FATEC São José do Rio Preto/SP
Prof. Dr. Evandro Cleber da Silva
evandro.silva5@fatec.sp.gov.br
FATEC São José do Rio Preto/SP

RESUMO: O desenvolvimento eficiente de espécies vegetais depende de diversos fatores, como umidade do solo, condições de luminosidade e temperatura a que estão expostas. Este estudo investigará a interação entre esses fatores — em especial, o nível de hidratação, a exposição solar e a variação térmica — para verificar seu impacto na eficiência fotossintética e na respiração de espécies vegetais. Esses fenômenos serão analisados através da medição da concentração dos gases O_2 e CO_2, intimamente ligados aos processos mencionados. Para isso, propomos a construção de um sistema automatizado utilizando sensores e atuadores que irão medir e registrar a concentração de gases, além de empregar técnicas de visão computacional para calcular as dimensões da área foliar das plantas em um ambiente controlado. A partir dos dados coletados, serão aplicadas técnicas estatísticas com o objetivo de identificar correlações significativas entre a área foliar das plantas e a produção de oxigênio ou dióxido de carbono, utilizando-se também modelagem por regressão para descrever as variações observadas. As descobertas podem oferecer *insights* valiosos para a seleção de espécies em projetos de reflorestamento e agricultura sustentável, sugerindo combinações ideais de fatores ambientais que possam compensar eventuais limitações morfológicas das plantas.

Palavras-chave: Sistemas inteligentes; visão computacional; fotossíntese; respiração; área foliar.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável na agricultura e pecuária tem sido um dos maiores desafios enfrentados pelas ciências agrárias. Em especial, há diversas espécies de plantas, que desempenham um papel crucial na alimentação animal e na manutenção de ecossistemas produtivos, estão sujeitas a variáveis ambientais que afetam seu desempenho, como a disponibilidade de água, luz e temperatura. A eficiência com que essas plantas convertem energia solar em biomassa (via fotossíntese) e sua capacidade de liberar oxigênio e captar dióxido de carbono são indicadores importantes de sua adaptabilidade e produtividade.

A busca por soluções tecnológicas que possibilitem monitorar e melhorar essas condições tem avançado significativamente, especialmente com a integração de sistemas automatizados e de visão computacional. Nesse contexto, este estudo pretende investigar como as condições ambientais afetam a fotossíntese e a respiração de espécies vegetais, utilizando um sistema automatizado para medir a concentração de gases e correlacioná-la com as dimensões da área foliar. Entendendo essas relações, podemos desenvolver estratégias para selecionar espécies mais eficientes em contextos ambientais variados, contribuindo assim para práticas agrícolas mais sustentáveis.

2 MATERIAIS E MÉTODO

A pesquisa seguirá uma abordagem quantitativa, com o objetivo de analisar dados experimentais coletados e interpretá-los para possíveis aplicações futuras no manejo de espécies vegetais. Será construído um sistema de medição automatizado em um ambiente controlado, como uma estufa, utilizando sensores eletrônicos conectados a uma placa controladora (Arduino Uno) com memória para armazenamento dos dados. Além disso, utilizaremos uma webcam e computador para medir a área foliar da espécie vegetal analisada.

Os sensores serão responsáveis por monitorar os seguintes parâmetros:

- **Sensores**:
  - Dióxido de Carbono (CO_2)
  - Oxigênio (O_2)
  - Umidade do ar
  - Umidade do solo
  - Radiação UV
  - Temperatura

O sistema incluirá os seguintes componentes:

- **Placa Controladora**:
  - Arduino Uno
- **Acessórios**:
  - Visor LCD para exibição dos dados em tempo real
  - Placa de ensaio (Protoboard) para conexões de sensores
  - Webcam para captura de imagens e cálculo da área foliar por meio de visão computacional
  - Aquário de vidro com tampa para simular o ambiente controlado de cultivo
  - Terra vegetal adubada para suporte ao crescimento das plantas
  - Módulo Relé
  - Bomba de água para aquário para sistema de irrigação controlado

Após a coleta de dados, será utilizado software de programação (Python ou R) para análise estatística. Os dados serão processados para verificar correlações entre o tamanho da área foliar e a concentração de CO_2 e O_2, bem como possíveis padrões entre as variáveis ambientais monitoradas. Técnicas de regressão linear e modelos preditivos serão aplicados para modelar a relação entre as variáveis observadas.

3 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que os resultados demonstrem correlações significativas entre os fatores ambientais controlados (umidade, luminosidade e temperatura) e a eficiência fotossintética e respiratória das espécies forrageiras observadas.

Também se espera identificar padrões que relacionem o tamanho da área foliar com a produção e consumo de gases (O_2 e CO_2), proporcionando uma base científica para a seleção de espécies vegetais mais eficientes em ambientes agrícolas com recursos limitados. Além disso, os resultados podem oferecer insights para otimizar práticas de reflorestamento e manejo sustentável, maximizando a produtividade vegetal e minimizando impactos ambientais.

Os resultados deste estudo poderão contribuir para o entendimento das interações entre variáveis ambientais e a morfologia das plantas. A modelagem de correlações entre a área foliar e a troca gasosa pode gerar ferramentas úteis para a previsão de desempenho de cultivares em condições específicas. Espera-se que as descobertas incentivem o uso de sistemas automatizados e inteligentes no setor agrícola, permitindo monitoramento e ajustes em tempo real das condições de cultivo.

Além disso, o uso de visão computacional e sistemas automatizados de sensores poderá otimizar a gestão de recursos naturais, como água e luz, em estufas e campos abertos. A abordagem proposta, ao considerar a fotossíntese e respiração como parâmetros-chave, pode abrir novas perspectivas para o melhoramento genético e o manejo de plantas em climas variáveis.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Há na literatura diversos estudos e métodos para medir a concentração de gases na respiração e na fotossíntese de espécies vegetais. Dentre os quais, destacamos,

Calbo e Henz (2007) abordam diversos métodos para medir a respiração de frutas e hortaliças, um processo importante que influencia sua conservação e armazenamento. A taxa respiratória é essencialmente uma medida do consumo de glicose e oxigênio, resultando na produção de CO2, água e calor. Destacam que a respiração pode ser avaliada através da medição do consumo de O2 ou da evolução de CO2, tanto em fases líquidas quanto gasosas, utilizando equipamentos como eletrodos de oxigênio ou cromatógrafos gasosos. A cromatografia gasosa e o analisador infravermelho (IRGA) são métodos amplamente utilizados para medir a evolução de CO2 e O2 em sistemas abertos e fechados. Medem a respiração tanto em sistemas fechados, pela concentração de gás, quanto em sistemas abertos, através da vazão de ar constante permitindo medições contínuas. Além dos métodos destacados aqui, os autores apresentam uma variedade de outros métodos para medir a respiração de frutas e hortaliças.

Beltrão et. al. (2008), em seu artigo Estimativa da Respiração de uma Comunidade de Plantas, Via Valores Primários (Área Foliar e Fitomassa)" aborda a importância da respiração vegetal no crescimento e desenvolvimento das plantas, analisando suas implicações para a produtividade em agroecossistemas. Destacam que a respiração é um processo essencial para a produção de energia em plantas, porém também representa uma perda de biomassa vegetal, impactando diretamente a produtividade. Tal produtividade das plantas é definida pela conversão de energia radiante em matéria orgânica, sendo limitada pela quantidade de radiação solar que pode ser aproveitada para fotossíntese. Utilizam uma análise quantitativa para medir o crescimento das plantas e buscam entender como fatores de densidade de plantio e competição afetam a produtividade. Neste processo, a fitomassa (massa viva da planta) e a área foliar são usadas como parâmetros primários para estimar a taxa de crescimento e respiração de uma comunidade vegetal. Esses parâmetros permitem a avaliação do crescimento

da planta ao longo do tempo e suas relações com a assimilação de carbono e perda de biomassa. Apresenta como calcular a taxa de respiração e assimilação líquida de plantas, com base na área foliar e fitomassa, sendo a taxa de assimilação líquida resultante da diferença entre a taxa de fotossíntese e a taxa de respiração. Em termos práticos, a redução da respiração pode aumentar a produtividade líquida das plantas e propõe métodos (como sombreamento) e ações (controle de temperatura e manejo adequado da água) para diminuir a respiração e maximizar a fotossíntese líquida. Conclui-se que medições confiáveis da estimativa da respiração e do crescimento das plantas podem ser uma ferramenta importante para melhorar a produtividade agrícola.

Souza (2020) apresenta em sua dissertação um estudo sobre a importância da respiração em florestas, focando na respiração foliar, para aprimorar as previsões climáticas e modelar melhor a dinâmica do carbono em resposta às mudanças ambientais. Seus resultados confirmam que a respiração foliar é menor durante o dia em comparação à noite devido à inibição pela luz. Verificou-se ainda que as taxas respiratórias variam em função da posição da copa, sendo mais altas nas árvores com maior exposição à luz assim como a respiração na luz sendo correlacionada positivamente com características foliares, sugerindo que as folhas desempenham um papel crucial na regulação da respiração foliar.

Tribuzy (2005) explora, em sua tese, a relação entre a temperatura foliar no dossel da floresta amazônica e sua influência na fotossíntese e respiração das plantas. Apresenta como resultado uma temperatura ótima para a fotossíntese nas folhas do dossel de aproximadamente 31,1°C, com uma taxa de assimilação líquida de CO2 de 7,6 $\mu mol \cdot m^{2} \cdot s^{-1}$. Verifica que a respiração foliar aumenta com o aumento da temperatura, reduzindo o balanço de carbono líquido da planta. Além disso, a respiração mostrou estar positivamente relacionada à temperatura foliar, intensificando a perda de carbono. Tais resultados permite compreender a dinâmica de trocas gasosas na floresta amazônica e como o aumento da temperatura pode afetar a eficiência da fotossíntese e a respiração das plantas.

Estes estudos nos permitem compreender quais características, propriedades e fenômenos devem ser observados para a construção de um sistema de medição de baixo custo automatizado, quais dados devem ser registrados e como interpretá-los.

Em relação aos estudos de visão computacional, destacamos os seguintes trabalhos que nos servem como referência:

Barbosa e Silva (2009) exploram maneiras de tornar a interação entre humanos e computadores mais natural e intuitiva, usando visão computacional, sem a necessidade de periféricos como mouse ou teclado. A principal ideia é desenvolver um software que utilize a webcam para capturar imagens e permitir que os movimentos das mãos controlem o cursor do mouse. Para isso, o trabalho utiliza técnicas de processamento de imagens e reconhecimento de padrões.

Marengoni e Stringhini (2009) apresentam um documento em forma de tutorial contendo uma introdução aos conceitos fundamentais de processamento de imagens e visão computacional, com foco na utilização da biblioteca OpenCV. Eles abordam conceitos básicos de Visão Computacional e Processamento de Imagens, distinguindo processamento de imagens, onde a entrada e saída são imagens ou valores numéricos, e visão computacional, onde a saída envolve interpretação da imagem. Exploram funções da biblioteca OpenCV, criada pela Intel, e que contém funções que cobrem desde operações simples, como filtros de ruído, até algoritmos complexos para reconhecimento de padrões e reconstrução 3D. Além disso, apresentam uma série de técnicas, a saber, processamento e segmentação de imagens, reconhecimento de padrões e rastreamento de objetos além de exemplos práticos de código.

Fonseca et al. (2013) descreve o desenvolvimento e validação de um método computacional para avaliação do sistema radicular de plantas de soja, utilizando imagens digitais e processamento digital de imagens (PDI) cujo objetivo principal é reduzir o tempo necessário para a medição de parâmetros como comprimento, diâmetro e área superficial das raízes, comparando o método desenvolvido com métodos tradicionais e o software SAFIRA da Embrapa. O método foi desenvolvido em Java utilizando a biblioteca OpenCV e o plug-in

JavaCV para processamento de imagens. O método computacional mostrou-se eficaz para medir o comprimento, diâmetro e área das raízes lavadas, oferecendo maior precisão e menor tempo de processamento.

Inspirando-se em ideias apresentadas nesses trabalhos, pretendemos utilizar a técnicas de visão computacional para cálculo das áreas foliares das espécies vegetais analisadas.

Uma breve pesquisa exploratória em base de dados Scopus, Scielo e Google Acadêmico, apresenta uma variedade de aplicações de sistemas embarcados com sensores e atuadores aplicados ao agronegócio, dentre os quais, destacamos dois a seguir.

Em seu estudo, Crotti (2020) avalia o impacto de novas tecnologias da informação e comunicação (TIC) na qualidade e tempo de conservação de frutas em câmaras de atmosfera controlada. Busca desenvolver e avaliar um sistema de controle e monitoramento automatizado de câmaras de atmosfera controlada, utilizando plataformas embarcadas como o Raspberry Pi, sensores e atuadores. Foi desenvolvido um protótipo que monitorou e controlou as variáveis do ambiente das câmaras, como níveis de oxigênio (O2) e dióxido de carbono (CO2).

Costa et al. (2018) apresenta um estudo exploratório em agronegócio nos quais foram aplicados conceitos e as aplicações da Internet das Coisas (IoT), abordando as principais tecnologias, desafios e perspectivas. Neste estudo, os autores fazem uma análise de 21 artigos que discutem a implementação de IoT em diversas etapas da produção agrícola, como gerenciamento de cadeia de suprimentos, monitoramento de atividades agrícolas, irrigação e meteorologia. Destacamos aqui os estudos monitoramento, com sensores de temperatura, umidade e qualidade do ar, utilizados para acompanhar as condições ambientais e de cultivo, assim como os estudos relacionados a irrigação inteligente, com sensores de solo e climáticos, integrados a plataformas ajudando a otimizar o uso da água nas plantações, reduzindo, por exemplo, custos e promovendo a eficiência hídrica.

5 Considerações Finais

A implementação de sistemas computacionais para monitorar e modelar o comportamento fisiológico de plantas, utilizando técnicas de visão computacional e sistemas embarcados com sensores e atuadores, pode oferecer um caminho promissor para aumentar a eficiência dos processos fotossintéticos e respiratórios. As conclusões desta pesquisa poderão impactar diretamente a forma como espécies vegetais são cultivadas e selecionadas em ambientes de agricultura de precisão, contribuindo para práticas mais sustentáveis e produtivas no manejo de forragens e reflorestamento.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Bernardo Bucher B.; SILVA, Júlio César. Interação Humano-Computador usando Visão Computacional. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 2, n. 1, p. 09-16, 2009.

BELTRÃO, NE de M.; FIDELIS FILHO, José; DE OLIVEIRA, Maria Isaura Pereira. Estimativa da respiração de uma comunidade de plantas, via valores primários (área foliar e fitomassa). 2008. Embrapa. Circular Técnica 122. Campina Grande, PB.

CALBO, A. G.; HENZ, G. P. Métodos para medir a respiração de frutas e hortaliças. 2007. Embrapa Hortaliças, (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico 47), Brasília, DF.

COSTA, Cainã L.; OLIVEIRA, Letícia; MÓTA, LS Michele. Internet das coisas (IOT): um estudo exploratório em agronegócios Internet of Things (IOT): na exploratory study in agribusiness. **VI Simpósio da Cienc. do Agronegócio**, 2018.

CROTTI, Yuri et al. Impacto da utilização das novas tecnologias da informação e comunicação na qualidade de frutas conservadas em atmosfera controlada. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, SC.

FONSECA, Adriel Ferreira da et al. MÉTODO COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO RADICULAR DA CULTURA DA SOJA. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR.

MARENGONI, Maurício; STRINGHINI, Stringhini. Tutorial: Introdução à visão computacional usando opencv. Revista de Informática Teórica e Aplicada, v. 16, n. 1, p. 125-160, 2009.

SOUZA, Daisy Celestina. Respiração Foliar Diurna e Noturna em Árvores da Amazônia Central. 2020. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, AM.

TRIBUZY, E. S. Variações da temperatura foliar e do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO2 na Amazônia Central. 2005. 84 f. 2005. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.