

INSTITUCIONAL/IFSP	PROJETO DE PESQUISA
--------------------	---------------------

TÍTULO DO PROJETO: MONITORAMENTO DE NUTRIENTES EM HORTALIÇAS E ESPÉCIES FRUTÍFERAS PARA CONTROLE DAS CONDIÇÕES DO SOLO NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA.											
Área do Conhecimento (Tabela do CNPq):	3	.	0	4	.	0	5	.	0	2	- 5

1. RESUMO

O monitoramento de nutrientes em plantas ou espécies vegetais utilizadas na agricultura, de forma contínua e em tempo real são desafios encontrados no setor agrícola, visando melhorar a eficiência da produção e diminuição do uso excessivo de fertilizantes que encarecem o produto final e podem gerar doenças. Neste trabalho será proposto o desenvolvimento de tecnologia aplicada para monitoramento de nutrientes presentes em plantas. Para tal fim, será implementado um sistema colorimétrico de detecção química portátil da variação de concentrações nutricionais nas plantas. O arranjo utilizará instrumentação compacta, com características de operação independente e potencializada pela composição matricial de sensores optoeletrônicos multiespectrais seletivos a nutrientes, como K, Ca, Mg, P, S, Fe, Zn, Cu e Ni. Para melhor apresentação dos grupos de classificação será proposto um método de redução de dimensão. Assim, os dados armazenados serão submetidos a processo de treino e validação, sendo realizados ao menos 10 (dez) leituras sucessivas das condições de cada espécie. Inicialmente, utilizar-se-á o método de análises discriminante linear de Fisher.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conceito de agricultura de precisão vem sendo difundido para sanar diversos déficits presentes no processo agrícola. Segundo Leemans et al (2017) a agricultura de precisão pode elucidar problemas de otimização agrícola, eliminando a deficiência de nutrientes no solo, sem ocasionar danos ao meio ambiente.

O excesso de fertilizantes no solo pode acarretar a poluição do ecossistema ao redor, devido o seu transporte pelas chuvas e infiltração nos lençóis freáticos. De acordo com Robinson Luiz e Juan Carlos (2015), a produção é maléfica para fauna e flora por utilizar metais traço como As, Cd, Pb, Hg, Cr. Além de estarem vinculados como agentes causadores de doenças como o câncer, representando uma das

principais ameaças para a saúde humana, devido suas propriedades tóxicas (JÄRUP, 2003).

Porém, a falta de nutrientes no solo devido a não utilização de fertilizantes, compromete o crescimento das plantas. Conforme diz Freitas et al (2006) a escassez de nutrientes diminui a quantidade de frutos gerados por plantas.

Dentro desse contexto, uma proposta de desenvolvimento de tecnologia aplicada utilizando sensor óptico multiespectral para leitura de nutrientes em espécies frutíferas vem como um método alternativo aos atuais métodos que utilizam a observação humana *in situ* para possível quantificação nutricional de plantas.

O ramo de atividades em sensores se apresenta como um dos principais ópticos no segmento de monitoramento, com abrangência e aplicações nas diferentes áreas da biotecnologia, nanotecnologia, biomedicina, indústria farmacêutica, siderúrgica, petroquímica e de alimentos, fertilizantes, tecnologia de processos, segurança, dentre outros. A interdisciplinaridade do conhecimento em eletroquímica, bioengenharia, física de superfície, estado sólido, bionanoestruturas e tecnologia integrada de silício, juntamente às ferramentas de processamento de sinais, oferecem inúmeras possibilidades de criação de novos sensores bioquímicos e sistemas sensores (BRAGA, 2008). Dessa forma, a necessidade de continuidade da implantação e aperfeiçoamento dos sistemas de controle nutricional de frutas, aliados a uma política de sustentabilidade urbana, faz do desenvolvimento de tecnologia proposto como uma alternativa aos tradicionais métodos e equipamentos laboratoriais comumente empregados pelos centros reguladores nas análises de nutrientes presentes em plantas frutíferas, destacando-se por fornecer respostas rápidas, eficiente, custo reduzido e por permitir a identificação dos nutrientes de forma *on line* e *in loco* aos centros de pesquisa e monitoramento.

3. OBJETIVOS

O trabalho terá como objetivo o desenvolvimento de tecnologia aplicada para monitoramento de contaminantes ambientais sob análise das condições morfológicas de espécies de plantas. Para tal fim, será implementado um sistema colorimétrico de detecção química portátil da variação da concentração de nutrientes. O arranjo utilizará instrumentação compacta, com características de

operação independente e potencializada pela composição matricial de sensores optoeletrônicos multiespectrais seletivos a K, Ca, Mg, P, S, Fe, Zn, Cu e Ni.

3.1 Objetivos específicos

- Seleção de espécies frutíferas para quantificação e classificação de biomarcadores químicos (nutrientes) e biomarcadores fisiológicos ((pigmentos, metabólitos de defesa contra estresse oxidativo, entre outros) em plantas;
- Montagem do suporte de acondicionamento de folhas para análise óptica em do sistema colorimétrico;
- Preparação e montagem de sistema de detecção de nutrientes pelo método colorimétrico.
- Extração e armazenamento dos parâmetros de intensidade luminosa das diferentes saídas do sensor multiespectral MMCS6CS (425, 475, 525, 575, 625, 675 nm) a dada espécie bioindicadora, com base nos extratos vegetais (preparados de acordo com métodos analíticos) e em folhas *in natura*, sob análise morfológica foliar superficial a diferentes condições de concentração química e tipo de contaminante.
- Obtenção de curvas do tipo dose x resposta;
- Utilização do método de análises discriminante linear de Fisher para quantificação e classificação das condições de cada espécie frutífera a presença de um dado nutriente, sob análise.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Um sistema colorimétrico de detecção química portátil da variação de concentrações foliares de nutrientes nas diferentes espécies frutíferas nativas amostradas nos remanescentes de Floresta Atlântica será desenvolvido com uso de instrumentação compacta, com características de operação independente e potencializada pela composição matricial de sensores optoeletrônicos multiespectrais seletivos nutrientes, como K, Ca, Mg, P, S, Fe, Zn, Cu e Ni.

A padronização dessa biotecnologia será em curvas do tipo dose x resposta, estabelecidas com base nos extratos vegetais (preparados de acordo com métodos analíticos) e em folhas *in natura*.

4.1 Determinação de nutrientes através de um sensor multiespectral

A determinação dos nutrientes será realizada pelo método colorimétrico que utilizará como elemento fotodetector um dispositivo optoeletrônico, multiespectral, composto por conjunto de 18 (dezoito) fotodiodos (3 x 6) encapsulados em um mesmo invólucro, tipo MMCS6CS, fabricado pela empresa MAZeT (Figura 1).



Figura 1 - Sensor Multiespectral MMCS6CS (MAZET, 2013a)

Neste dispositivo há três grupos de 6 (seis) fotodiodos seccionados simetricamente em uma estrutura circular de 2 mm de diâmetro. Para cada fotodiodo há um filtro espectral dielétrico que seleciona o comprimento de onda específico a ser detectado. A faixa espectral sensível dos fotodiodos está sintonizada entre 380 nm a 780 nm (Figura 2), tendo como picos máximos os valores de 425, 475, 525, 575, 625, 675 nm e sem filtro (PW).

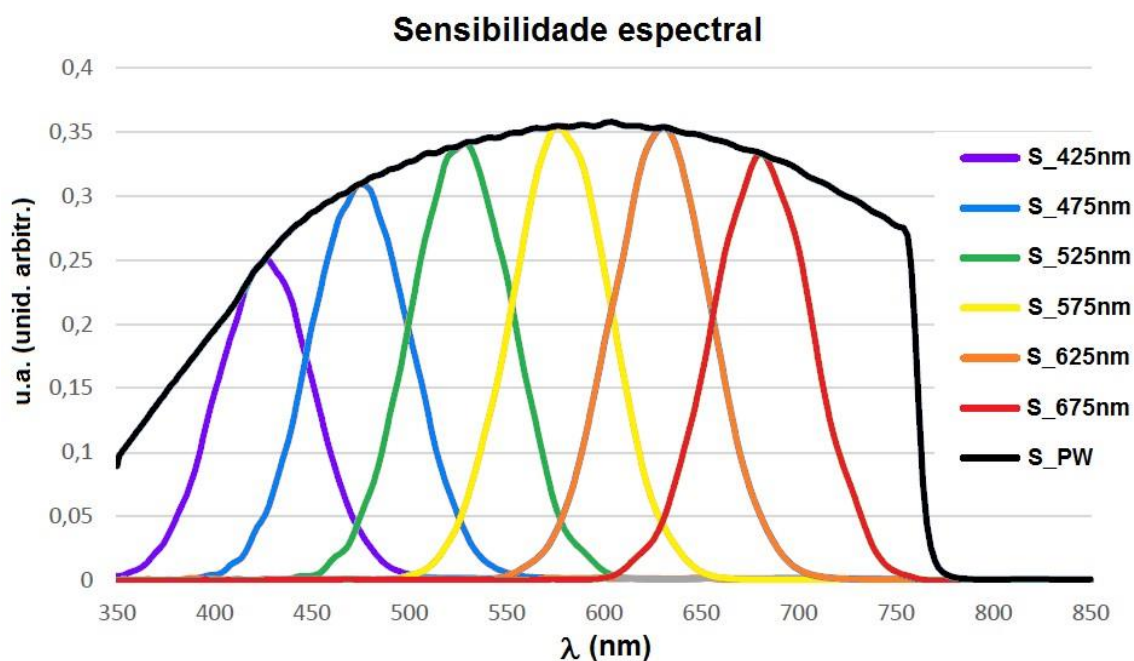


Figura 2 - Resposta típica de sensibilidade relativa do MMCS6CS (MAZET, 2013b)

A análise espectral das concentrações de nutrientes permitirá obter diferentes padrões de resposta.

Os sinais do sensor optoeletrônico multiespectral para classificação dos metais traço serão obtidos pela iluminação direta de um diodo LED branco sobre uma das folhas da espécie frutífera sob análise, sendo devidamente acondicionada em um suporte metálico vazado. Os fotodiodos sintonizados nos comprimentos de onda de 380 a 780 nm terão seus sinais amplificados por um amplificador de transimpedância com ganho programável. Estes sinais serão selecionados por um módulo multiplexador e direcionados ao sistema de medição para extração e armazenamento dos parâmetros de intensidade luminosa das diferentes saídas do sensor multiespectral MMCS6CS (425, 475, 525, 575, 625, 675 nm). A aquisição, controle e o processamento dos sinais serão realizados com base em tecnologia FPGA, tendo como ambiente de desenvolvimento a utilização de softwares baseados em instrumentação virtual (NI LabView®), fabricado pela National Instruments, modelo NI myRIO-1900. A Figura 3 mostra o diagrama esquemático de interconexão do sistema de quantificação e classificação de nutrientes pelo método colorimétrico.

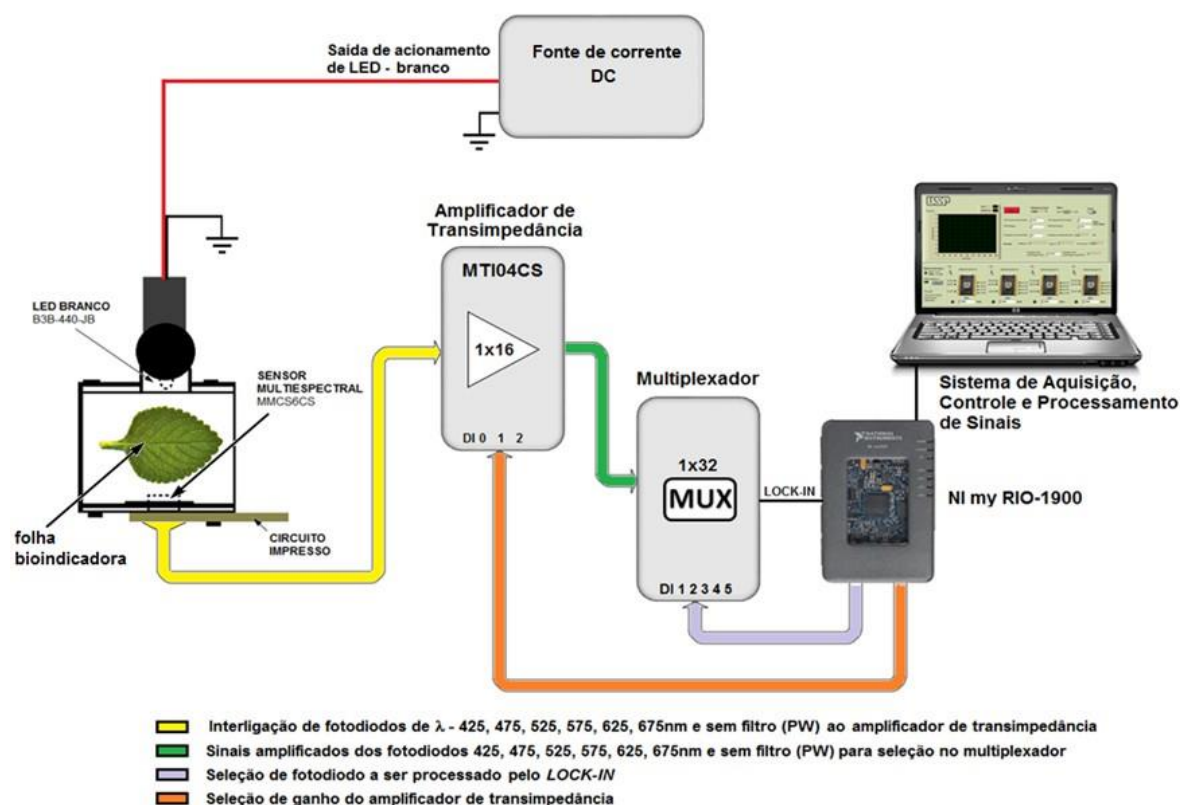


Figura 3 - Diagrama esquemático de interconexão do sistema de detecção de metais traço pelo método colorimétrico.

Para melhor apresentação dos grupos de classificação será proposto um método de redução de dimensão. Assim, os dados armazenados serão submetidos a processo de treino e validação, sendo realizados ao menos 10 (dez) leituras sucessivas das condições de cada espécie. Neste método, a classificação é determinada pela probabilidade condicional de um evento pertencer a uma dada classe, sendo conhecida previamente a probabilidade de existência desta classe, também chamada de probabilidade a priori. O método consiste em maximizar a probabilidade condicional de forma recursiva, tendo como resultado final, o cálculo dos coeficientes das variáveis canônicas correspondentes a cada característica do evento. Em nosso caso, os eventos serão os nutrientes nos frutos, sendo representados pelas características dos sinais das diferentes saídas do sensor multiespectral MMCS6CS (425, 475, 525, 575, 625, 675 nm).

5. PLANO DE TRABALHO

Tabela 5.1 Metas estabelecidas para a pesquisa.

METAS	DESCRIÇÃO
1	Seleção de espécies frutíferas para quantificação e classificação de biomarcadores químicos (nutrientes) e biomarcadores fisiológicos ((pigmentos, metabólitos de defesa contra estresse oxidativo, entre outros) em plantas
2	Montagem do suporte de acondicionamento de folhas para análise óptica em do sistema colorimétrico;
3	Preparação e montagem de sistema de detecção de nutrientes pelo método colorimétrico.
4	Extração e armazenamento dos parâmetros de intensidade luminosa das diferentes saídas do sensor multiespectral MMCS6CS (425, 475, 525, 575, 625, 675 nm) a dada espécie bioindicadora, com base nos extratos vegetais (preparados de acordo com métodos analíticos) e em folhas in natura, sob análise morfológica foliar superficial a diferentes condições de concentração química e tipo de contaminante
5	Relatório Parcial entrega até 06/07/18
6	Obtenção de curvas do tipo dose x resposta;
7	Utilização do método de análises discriminante linear de Fisher para quantificação e classificação das condições de cada espécie frutífera a presença de um dado nutriente, sob análise.
8	Relatório Final entrega até 30/11/2018

Tabela 5.2 Cronograma proposta para cumprimento das metas.

	MESES								
METAS	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

6. VIABILIDADE DE EXECUÇÃO

O projeto será desenvolvido com recursos disponíveis dentro do grupo de “Sensores Integráveis e Microssistemas” (SIM) do Laboratório de Microeletrônica (LME), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Instituto de Botânica da USP, Instituto Federal de São Paulo, campus Cubatão-SP, e no Centro de Capacitação e Pesquisa em Meio Ambiente – CEPEMA-USP, localizado na cidade de Cubatão-SP.

Sob condições de colaboração conjunta para a produção de artigos em desenvolvimento tecnológico, o presente trabalho contará também com a parceria da empresa alemã MAZeT GmbH para o fornecimento de todos os dispositivos ópticos multiespectrais e acessórios para a conclusão do trabalho.

7. RESULTADOS ESPERADOS E DISSEMINAÇÃO

Para realização dos trabalhos serão necessários recursos disponíveis no IFSP-campus Cubatão, são eles:

- Placa de aquisição NI-6008 Patrimônio: 77410
- Fonte DC Minipa Patrimônio: 72541
- Osciloscópio Minipa Patrimônio: 71677

Serão utilizados circuitos multiplexadores, amplificadores de transimpedância e interfaces eletrônicas para acionamentos de diodos emissores de luz (LED), disponíveis no grupo de sensores ambientais do CEPEMA.

Os resultados a serem obtidos servirão de base para elaboração de artigos científicos e participação em eventos acadêmicos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, M.S. 2008. **Sensor de imagem para detecção de gases**. Universidade de São Paulo.

BROWN, M.T.; WICKER, L.R. Discriminant analysis, Chap. 8. In: TINSLEY, H. E. A.; BROWN, S, D. (Eds). **Handbook of applied multivariate statistics and mathematical modelin**. San Diego: Academic Press, p. 209-234, 2000.

De Temmerman, L., Bell, J.N., Garrec, J.P., Klumpp, A., Tonneijck, A.E.G., 2004. **Biomonitoring of air pollutants with plants - considerations for the future**, in: Klumpp, A., Ansel, W., Klumpp, G. (Eds.), Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness. Göttingen, pp. 337–373. doi:10.1017/CBO9781107415324.004

Galvêas Laviola, Bruno, Santos Dias, Luiz Antonio dos, **Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso**. Revista Brasileira de Ciência do Solo [en linea] 2008, 32 (Sin mes) : [Fecha de consulta: 29 de octubre de 2017] Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214065018>>_ISSN 0100-0683

Guzmán-Morales, J., Morton-Bermea, O., Hernández-Álvarez, E., Rodríguez-Salazar, M.T., García-Arreola, M.E., Tapia-Cruz, V., 2011. **Assessment of atmospheric metal pollution in the urban area of Mexico City, using Ficus benjamina as biomonitor**. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 86, 495–500. doi:10.1007/s00128-011-0252-9.

FREITAS, M.S.M; MONNERAT, P.H.; PINHO, L.G.R.; CARVALHO, A.J.; **Deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce: qualidade dos frutos**, 2006.

LEEMANS, V.; MARLIER, G.; DESTAIN, M.F.; DUMONT, B.; MERCATORIS, B. **Estimation of leaf nitrogen concentration on winter wheat by multispectral imaging**. Terra Teaching and Research Centre, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liège, B-5030 Gembloux, Belgium (2017).

JÄRUP, L. **Hazards of heavy metal contamination**. British Medical Bulletin, v. 68, pp. 167–182, 2003.

MAZET GmbH, **6-Channel Multiple Color Sensor – LCC10 – MMCS6CS (Data sheet)**, v. 6.0, n. 1, 2013a.

MAZET GmbH, **Multi-channel Programmable Gain Transimpedance Amplifier – MTI04CS/MTI04CQ (Data sheet)**, v. 2.2, n. 1, 2013b.

MCLACHLAN, G. J. **Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition**. Wiley Interscience. ISBN 0-471-69115-1, 2004.

Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth, T.V.M., 2010. **Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review**. *Environ. Chem. Lett.* 8, 199–216. doi:10.1007/s10311-010-0297-8

Nakazato, R.K., Rinaldi, M.C.S., Domingos, M., 2015. **Will technological modernization for power generation at an oil refinery diminish the risks from air pollution to the Atlantic Rainforest in Cubatão, SE Brazil?** *Environ. Pollut.* 196, 489–96. doi:10.1016/j.envpol.2014.05.011

PAULO, R.L.; SERRA, J.C.V.; **Estudo de caso envolvendo uma indústria de fertilizantes na cidade de porto nacional/to**. Sistemas & Gestão, 2015.

Tavares, T.M., Carvalho, F.M., 1992. **Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do recôncavo baiano**. *Quim. Nova*.