

## Mudanças fisiológicas e espectrais induzidas por hidrocarbonetos em *Brachiaria brizantha* e *Dolichos lab lab* – uma avaliação sobre o uso da cobertura vegetal como bioindicador de escape de hidrocarbonetos

Giuliana Clarice Mercuri Quitério<sup>1</sup>  
Carlos Roberto de Souza Filho<sup>1</sup>  
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas IG/UNICAMP  
Caixa Postal 6152 – 13083-970 - Campinas – SP, Brasil  
(giuliana, beto) @ige.unicamp.br

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo – IGc/USP  
Rua do Lago, 562 – 05508-080 - São Paulo - SP  
talmeida@usp.br

**Abstract** The study comprises the development of a method for the pre-identification of small-scale hydrocarbon leaks along pipelines, which are difficult to be detected by traditional monitoring methods. The proposal is based on the remote identification of alterations in the spectral properties of vegetation that ubiquitously cover the main pipelines in Brazil. This research involves an experiment in lysimeters that tentatively represents the natural conditions of a leak on a pipeline system. Controlled leaks and periodic samplings will allow to investigating the evolution of plant stresses caused by the presence of hydrocarbons in the soil and the spectral wavelengths where these stresses are most likely to be detected.

**Palavras-chave:** hydrocarbon leaks, remote sensing, reflectance spectroscopy, biomarkers, vazamento de hidrocarbonetos, sensoriamento remoto, espectroscopia de reflectância, biomarcadores.

### 1. Introdução

A detecção precoce de pequenos vazamentos de hidrocarbonetos não é possível pelos métodos tradicionais da indústria do petróleo, baseados na queda da pressão nos dutos e inspeções locais. Assim graves contaminações de solos e de aquíferos superficiais podem ocorrer ao longo de meses e anos, sem serem detectados. O Brasil, importante produtor e consumidor de petróleo, tem numerosas faixas de polidutos mantidas e monitoradas de forma heterogênea, o que explica, em parte, os diversos problemas ambientais que vazamentos de derivados de petróleo têm causado ao país. A proposta desta pesquisa é acrescentar um método de monitoramento rápido e eficiente, que seja sensível a pequenos vazamentos não perceptíveis mesmo em inspeção visual, e que possa ser operacionalizado em larga escala. O método estudado baseia-se em biomarcadores monitorados remotamente. Em seu desenvolvimento, procura-se eliminar diversas variáveis ambientais de forma a permitir o reconhecimento das alterações mais significativas na vegetação, alterações estas em princípio passíveis de serem detectadas por sensores remotos, considerando-se o plantio de espécies selecionadas sobre os dutos. A fim de melhor investigar e objetivando o melhor entendimento dos efeitos causados por hidrocarbonetos na vegetação através de sensoriamento remoto, está sendo desenvolvido um experimento em lisímetros de pequena escala.

Estudos realizados no Brasil e no exterior mostram que métodos de sensoriamento remoto podem ser empregados na detecção de alterações no sistema solo-vegetação sob contaminação por gases (Oliveira, 1998) e por óleos leves e pesados (Almeida-Filho *et al.*, 1999; Rosso *et al.*, 2005). Particularmente no caso da vegetação, alterações na reflectância das folhas foram identificadas há décadas como potenciais indicadoras de estresses geobotânicos em zonas contaminadas pelo escape de hidrocarbonetos hospedados em reservatórios naturais de petróleo, ou em polidutos.

As propriedades ópticas das folhas são função da quantidade de água e composição bioquímica, incluindo a concentração de pigmentos (Rosso *et al.*, 2005), sendo a clorofila um dos principais parâmetros indicadores do seu estado fisiológico, e, por conseguinte, um elemento diagnóstico potencial de vazamentos de hidrocarbonetos em polidutos. Outras faixas do espectro, particularmente a região do infravermelho de ondas curtas, ainda foram pouco exploradas quanto às alterações das coberturas vegetais submetidas a estresses causados por hidrocarbonetos, e serão enfocadas nesta pesquisa na intenção de diferenciá-los dos demais estresses que possam apresentar, de origem natural ou não.

As mudanças no solo dão-se principalmente pela ação de bactérias aeróbias que ao reduzirem  $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$ , levam a abrupta queda na oxigenação e acarretam mudanças na coloração e cimentação carbonática, bem como alterações na capacidade de trocas catiônicas de diversos elementos essenciais à nutrição das plantas. Com isto ocorrem mudanças nos padrões espectrais e químicos da vegetação. As curvas espectrais das folhas devem apresentar um aumento do albedo na faixa do visível (inicialmente por degradação das clorofilas e posteriormente carotenos e xantofilas e antocianinas) e infravermelho próximo e ondas curtas. Além disso, deve ocorrer uma migração do gradiente abrupto da curva espectral da vegetação a 700nm (borda vermelha ou *red edge*) em direção a comprimentos de ondas inferiores (*blue shift*) causado pela degradação das clorofilas. Na região do infravermelho de ondas curtas (SWIR), é onde se espera avançar mais em relação ao já publicado. Ao fim do SWIR, entre 2.100 e 2.400nm, é onde ocorrem as feições espectrais diagnósticas dos compostos bioquímicos das plantas, tais como celulose, hemicelulose, lignina, proteína, açúcares e amido. Alguns desses compostos, segundo Baret (1999), têm respostas espectrais inversamente proporcionais (como lignina e amido a 2.160 e 2.340nm) ou intensamente distintas, como amido e celulose entre 2.120 e 2.190nm.

## 2. Material e métodos

O experimento está instalado em viveiro telado com cobertura plástica no Campo Experimental do Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA) da Unicamp. Como plantas indicadoras, foram escolhidas uma gramínea (*Brachiaria brizantha*) e uma leguminosa (*Dolichos lab lab*), ambas robustas, de fácil manejo, rápido desenvolvimento, e em princípio passíveis de serem utilizadas como bioindicadoras sobre dutos. Foram mantidas 15 plantas por lisímetro, construídos em vidro, nas dimensões de 30 x 40 x 15 cm. Teve-se o cuidado de revestir três de suas faces com Contact<sup>®</sup> preto a fim de não prejudicar o desenvolvimento radicular da planta, que possui crescimento fototrópico negativo. A face frontal foi recoberta por um retângulo de etilenoacetato de vinila (EVA) nas mesmas proporções do vidro, fixado com velcro pra que se possa visualizar o crescimento radicular e a percolação do hidrocarboneto no solo (**Figura 1a**). Em sua base, colou-se uma manta de borracha de 0,5 cm de espessura para evitar rachaduras, e um velcro adesivo de oito cm de espessura que evita o deslizamento do lisímetro da base de madeira construída com 15° de inclinação, para que as raízes cresçam em direção ao vidro que recebeu a manta de EVA. Para a injeção dos hidrocarbonetos, foram inseridas três mangueiras próprias para gasolina a cada 10 cm de altura, perfuradas a cada 1,5 cm, totalizando 20 furos alternados. A inserção de mangueiras em diferentes alturas permite uma possível variação no método de vazamento e dá mais mobilidade ao projeto. A bomba injetora “Multi Uso” da marca Cobrirel<sup>®</sup> é própria para combustíveis, tem capacidade de 50 mL e adapta-se perfeitamente à mangueira de vazamento.

O solo utilizado é um latossolo vermelho eutroférico, bem representativo dos solos do Estado de São Paulo. São 30 lisímetros que devem ser mantidos por 12 semanas. Seis deles são adotados como referência quanto ao desenvolvimento natural das plantas, sem submissão

a vazamentos, os demais foram divididos em quatro tratamentos, com vazamentos de 50 mL de gasolina ou diesel a cada 15 dias, com início simultaneamente à semeadura, ou 15 dias após serem semeados (**Figura 1b**). Esses tratamentos permitem observar a influência de hidrocarbonetos tanto na germinação das plantas como em plantas no início de seu desenvolvimento. Um quinto tratamento é previsto com o início da contaminação em plantas já formadas e maduras, exprimindo uma situação compatível à encontrada ao longo dos dutos.

As medidas radiométricas da vegetação serão realizadas semanalmente em campo, e amostras de solo em laboratório, ambas com o espectrorradiômetro portátil FieldSpec FR, operante na faixa do espectro eletro-magnético refletido, entre 350nm e 2500 nm. Também semanalmente serão coletadas amostras de folhas para análise dos compostos bioquímicos, tais como clorofilas, celulose, lignina, amido, gorduras, açúcares e proteína.

As medidas radiométricas serão feitas na folha intermediária de cada planta, com o auxílio do *leaf clip*, o equivalente a uma esfera integradora (**Figura 1c**). Trata-se de um método totalmente controlado, em que se tem sempre uma iluminação com incidência ortogonal e mesma intensidade para todas as amostras, eliminando interferências do ambiente e permitindo resultados precisos e significativos. As leituras espectrais também são feitas nas mesmas plantas após desidratação em estufa de ar forçado, eliminando a água foliar que mascara a resposta espectral dos compostos bioquímicos. Assim identifica-se a celulose, lignina e amido das folhas de forma mais precisa que nas folhas verdes.



**Figura I** – (a) bomba injetora, lisímetro e área de vazão em destaque; (b) instalação; (c) *leaf clip*

As diversas amostragens ao longo do tempo permitirão avaliar mudanças na composição e teores relativos dos diversos compostos bioquímicos e pigmentos. Também serão realizadas análises nutricionais, tanto nas plantas como no solo e análises microbiológicas no solo.

### 3. Resultados esperados

O principal resultado esperado deste projeto, dada a carência de dados neste assunto, é avaliar a possibilidade de se detectar precocemente pequenos vazamentos de hidrocarbonetos através de métodos de sensoriamento remoto, o que será de grande utilidade para a indústria do petróleo e, sobretudo para o meio ambiente.

### Referências bibliográficas

- Almeida-Filho R., Miranda F.P., Yamakawa T. Remote detection of a tonal anomaly in an area of hydrocarbon microseepage, Tucano basin, north-eastern Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 2683-2688, 1999.
- Baret, F. Espectros de pigmentos e compostos bioquímicos foliares: planilhas com dados de reflectância. Informação escrita fornecida por Frédéric Baret, INRA Avignon, França, 1999.
- Oliveira, W. J. 1998. Caracterização das emanações gasosas de hidrocarbonetos na região do Remanso do Fogo (MG), através do uso integrado de sensoriamento remoto, geoquímica, geologia estrutural e espectrometria de reflectância. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 1998.
- Rosso, P., J. Pnck, M. Lay, AND S. Ustin.. Reflectance properties and physiological responses of *Salicornia virginica* to heavy metal and petroleum contamination. *Environmental Pollution* 137 (2): 241-252, 2005.