

INFLUÊNCIA DA TEXTURA DO SOLO NO ÍNDICE DE HUMIFICAÇÃO OBTIDO POR FLUORESCÊNCIA INDUZIDA POR LASER EM AMOSTRAS DE SOLO

Vitor S. Freitas^{1,2,*}, Carlos M. P. Vaz², Débora M. P. B. Milori¹

¹ Instituto de Química de São Carlos-IQSC/USP, Avenida Trabalhador São Carlense, 400, 13566-590, São Carlos, SP

² Embrapa Instrumentação, Rua 15 de novembro, 1452, 13560-970, São Carlos, SP

* Autor correspondente, e-mail: silveirafreitas@usp.br

Resumo: A análise de solos é importante para o manejo correto, na aplicação de fertilizantes, corretivos e pesticidas, visando o aumento de produtividade e economia de insumos. A agricultura de precisão (AP) com o manejo sítio-específico se enquadra nesse quesito, demandando grande número de análises de solo tanto da fertilidade, quanto da qualidade física, química e biológica. A técnica de Fluorescência Induzida por Laser (FIL) permite a determinação do índice de humificação (HFIL) da matéria orgânica do solo, sendo assim de interesse para o mapeamento da qualidade do solo com o enfoque em AP. Nesse trabalho um total de 836 amostras de solo de diferentes localidades foram analisadas pela técnica de FIL, consistindo de 519 amostras de diversas fazendas produtoras de algodão no Mato Grosso, 67 amostras de um talhão de cana-de-açúcar em Ibaté-SP, 180 amostras de um talhão de soja/milho em Campo Mourão-PR e 70 amostras de um talhão de algodão/soja/milho em Pedra Preta-MT. Os valores de HFIL obtidos foram correlacionados com os teores de areia, silte e argila. Dentre os locais analisados o talhão de Ibaté apresentou a melhor correlação entre HFIL e o teor de areia ($r^2=0,59$) seguido do talhão de Campo Mourão ($r^2=0,53$), do Mato Grosso ($r^2=0,31$) e de Pedra Preta ($r^2=0,02$). Nos talhões analisados, onde estão sendo aplicados os conceitos de AP, foram obtidos mapas do HFIL, os quais serão posteriormente correlacionados com outros indicadores e com mapas de produtividade das culturas.

Palavras-chave: agricultura de precisão, índice de humificação, textura do solo

INFLUENCE OF SOIL TEXTURE ON THE HUMIFICATION INDEX OBTAINED BY LASER INDUCED FLUORESCENCE IN SOIL SAMPLES

Abstract: The soil analysis is important for the correct management, with the application of fertilizers, lime and pesticides, aiming to increase the productivity and save inputs. Precision agriculture (PA) with site-specific management demands large number of soil analysis on fertility and on the soil physical, chemical and biological quality. The Laser Induced Fluorescence (LIF) technique determines the soil organic matter humification index (HLIF) that is very useful for mapping the soil quality in a PA approach. In this study, 836 soil samples of various locations were analyzed by LIF, consisting of 519 samples of several cotton farms in Mato Grosso, 67 samples in a sugar-cane area in Ibaté-SP, 180 samples in a soybean/corn production area in Campo Mourão-PR and 70 samples in a cotton/soybean/corn area in Pedra Preta-MT. The area of Ibaté presented the best correlation between HLIF and sand content ($r^2=0.59$) followed by the area of Campo Mourão ($r^2=0.53$), of Mato Grosso ($r^2=0.31$) and Pedra Preta ($r^2=0.02$). In the studied areas where the concept of PA have been applied, HFIL maps were obtained and will be further correlated with several other indexes including yield maps.

Keywords: precision agriculture, humification index, soil texture

1. Introdução

A Agricultura de Precisão (AP) é um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, utilizado com objetivo de maximizar o retorno econômico com maior sustentabilidade e menor impacto ambiental (MINISTERIO, 2012).

Assim, é um processo que necessita de grande quantidade de dados georreferenciados de um cultivo agrícola. A análise de solos é importante para o manejo correto, na aplicação de fertilizantes, corretivos e pesticidas, visando o aumento de produtividade e economia de insumos. Com aumento do tamanho das lavouras e intensa mecanização, monitorar as variáveis de campo sem o desenvolvimento de novas tecnologias tornou-se cada vez mais difícil (Stafford, 2000). A AP com manejo sítio-específico das áreas agrícolas se enquadra nesse quesito.

Milori et al. (2006) propuseram um método para a determinação do grau de humificação da matéria orgânica dos solos (MOS) pela medida da Fluorescência Induzida por Laser (FIL) em pastilhas de solo prensado, sem a necessidade de extração química. A excitação da matéria orgânica por laser na região espectral do azul coincide com o perfil de absorção de moléculas mais rígidas e complexas das substâncias húmicas (aromáticos e compostos heterocíclicos). Assim foi proposto um índice de humificação (HFIL), onde a área espectral de fluorescência (AFIL) é dividida pelo carbono total do solo (Ct): $HFIL=AFIL/Ct$. A maioria dos estudos utilizando essa técnica em solos têm sido realizados para mostrar alterações na qualidade da MOS em diferentes sistemas de manejo e sua variação na profundidade (Trivet et al. 2013). Neste trabalho o HFIL é utilizado para avaliar a qualidade de solos coletadas em diferentes locais, texturas e sistemas de produção, com o objetivo de avaliar a correlação entre o HFIL e a textura dos solos, bem como sua utilidade para o mapeamento da qualidade do solo em unidades de produção onde os conceitos de AP são aplicados.

2. Materiais e Métodos

2.1 Áreas de estudo e preparo de amostras

Foram analisadas amostras de 4 localidades: 519 amostras de fazendas produtoras de algodão no estado do Mato Grosso, 67 amostras de um talhão em Ibaté-SP com cana-de-açúcar, 180 amostras de um talhão com milho em Campo Mourão-PR e 70 amostras de um talhão com soja em Pedra Preta-MT. As amostras foram secas em estufa à 40°C (evitando perda da MOS), por 24 horas. Posteriormente, foram separadas cerca de 10 g do solo seco, macerado com almofariz e pistilo e peneirado em peneiras de 150 mesh, para obtenção de uma granulometria fina e homogênea.

2.2 Análise de carbono total

Efetou-se a análise de carbono total nas amostras de solo utilizando um analisador elementar PerkinElmer 2400 Series II. Cerca de 10 mg de solo fino e seco foram pesadas em cápsulas de estanho em duplicata. Durante o processo de análise as amostras passam por um tubo de combustão que é rico em oxigênio (O₂) alcançando a temperatura de 925°C e seguem para o tubo de redução, onde os catalizadores presentes asseguram que todo o metano (CH₄) presente seja convertido a dióxido de carbono (CO₂), que é medido por um detector de condutividade térmica.

2.3 Análise de Fluorescência Induzida por Laser (FIL)

As medidas de FIL foram realizadas em pastilhas de solo obtidas por prensagem em prensa hidráulica para aquisição dos espectros de emissão de fluorescência. Para cada solo, duas pastilhas foram utilizadas, sendo as análises realizadas nas duas faces planas das pastilhas. Os espectros foram adquiridos por um sistema FIL portátil, com laser de diodo de emissão em 405 nm, potência máxima de 50 mW e cabo ótico composto por seis fibras óticas para a excitação da amostra, sistema de filtragem e miniespectrômetro de alta sensibilidade. A emissão da amostra é então decomposta através de uma grade de difração fixa e detectada por um arranjo de fotodiodos previamente calibrados. A informação espectral é obtida no intervalo 430-800 nm, com tempo de integração de 250 ms, número de médias espectrais de 5 e boxcar (suavização dos ruídos) igual a 3.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os dados de textura do solo (argila, silte e areia), carbono total, área de fluorescência e HFIL, com os valores mínimos, máximos, desvios padrão (DP) e coeficientes de variação (CV%) para as 4 áreas de estudo.

Tabela 1. Valores mínimos, máximos, médios, desvios padrão (Dp) e coeficientes de variação (CV %) para as áreas amostrais.

Mato Grosso						Campo Mourão-PR					
Parâmetro	min	máx	Média	DP	CV%	min	máx	Média	DP	CV%	
Argila %	4	79	47	18	40	Argila (%)	32	76	51	11	21
Silte %	0	31	7	5	76	Silte (%)	3	21	9	5	52
Areia %	7	91	46	21	45	Areia (%)	6	62	40	14	36
C _t (g Kg ⁻¹)	6	40	24	6	27	C _t (g Kg ⁻¹)	10	35	22	5	22
AFIL (u.a)	9836	162832	42204	19822	47	AFIL (u.a)	8171	18765	12141	2002	16
HFIL (u.a)	377	10011	1971	1249	63	HFIL (u.a)	268	1626	600	227	38
Ibaté-SP						Pedra Preta-MT					
	min	máx	Média	Dp	CV	min	máx	Média	Dp	CV	
Argila (%)	28	50	43	5	12	Argila (%)	48	62	56	4	6
Silte (%)	11	32	20	4	22	Silte (%)	14	24	19	3	15
Areia (%)	23	60	38	8	21	Areia (%)	21	30	25	2	8
C _t (g Kg ⁻¹)	9	19	13	2	18	C _t (g Kg ⁻¹)	28	35	31	1	5
AFIL (u.a)	9257	15433	11136	1238	11	AFIL (u.a)	21152	30349	24964	2060	8
HFIL (u.a)	530	1629	888	240	27	HFIL (u.a)	637	996	797	78	10

DP: Desvio Padrão; CV%: Coeficiente de Variação; AFIL: Área do espectro de fluorescência

O índice de humificação pode ser utilizado para a estimativa da qualidade dos solos, onde o aumento do HFIL sugere que os mecanismos físicos de proteção do solo não são suficientes para proteger as frações lábeis da matéria orgânica. Assim, valores mais baixos de HFIL indicam que os mecanismos de agregação das partículas no solo protegem a matéria orgânica lábil levando a solos de melhor qualidade (Milori et al. 2006; Martins et al. 2011; Senesi et al. 2016; Trivet et al. 2013).

Dentre as 4 áreas analisadas, as amostras da área do Mato Grosso apresentam a maior variação da textura, com coeficientes de variação para argila e areia de 40% e 45%, respectivamente. Essa grande variação reflete o fato das amostras terem sido coletadas em diferentes fazendas produtoras de algodão distribuídas por todo o Mato Grosso. A segunda maior variação de textura foi para a área de Campo Mourão-PR (CV da areia de 36%) seguido da área de Ibaté-SP (CV da areia de 21%). Já a área de Pedra Preta apresentou uma pequena variação textural, com CV da areia de 8% apenas.

As Figuras 1 e 2 apresentam as correlações entre HFIL e os teores de areia para as 4 áreas estudadas. Os coeficientes de determinação (R^2) obtidos foram de 0,31; 0,59; 0,42 e 0,02 para as áreas do Estado de Mato Grosso, Ibaté, Campo Mourão e Pedra Preta, respectivamente. Observa-se claramente que altas variações nos teores de areia causam altas variações nos HFIL, que podem ser observados pelos valores de R^2 e também dos coeficientes angulares das correlações, que foram de 33,4; 23,1; 10,2 e 5,6 respectivamente.

As amostras da área de Ibaté, apresentaram dependência espacial da textura e do carbono total (Figuras 3a e 3b), obtidas por análise geoestatística. Verifica-se um aumento gradual no teor de argila e da MOS da base para o topo do mapa. A porcentagem de argila no solo variou de 28 a 50% e o teor de carbono total de 8,5 a 18,7 g Kg⁻¹ (Tabela 1). Nota-se também que a área de Ibaté apresentou menor teor de carbono total quando comparado aos outros 2 talhões onde aplica-se o conceito de AP (Campo Mourão-PR e Pedra Preta-MT). O HFIL na área de Ibaté variou de 530 a 1658 e quando correlacionado com o teor de areia no solo apresenta um $R^2=0,59$ (Figura 1b). O aumento no R^2 para as amostras de Ibaté quando comparado às amostras do Mato Grosso (Figura 1a: $R^2=0,31$) evidencia a direta relação entre a textura e humificação da MOS, quando se passa de um tratamento com amostras de diferentes localidades (Mato Grosso) para amostras espacializadas em um único talhão. O mesmo comportamento pode ser observado para relação de areia e HFIL no talhão de de Campo Mourão (Figura 2a), com $R^2=0,42$.

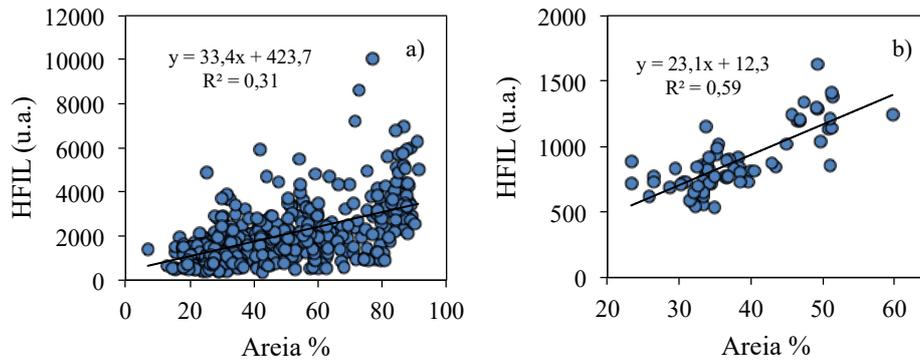


Figura 1. Correlação do HFIL com o teor de areia do solo para as amostras coletadas em diferentes locais no estado do MT (a) e no talhão de cana-de-açúcar em Ibaté-SP (b).

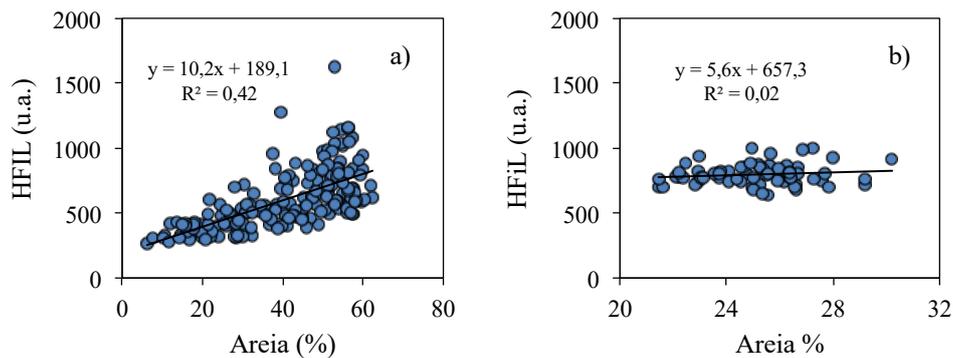


Figura 2. Correlação do HFIL com o teor de areia do solo no talhão de milho em Campo Mourão-PR (a) e no talhão de soja em Pedra Preta-MT (b).

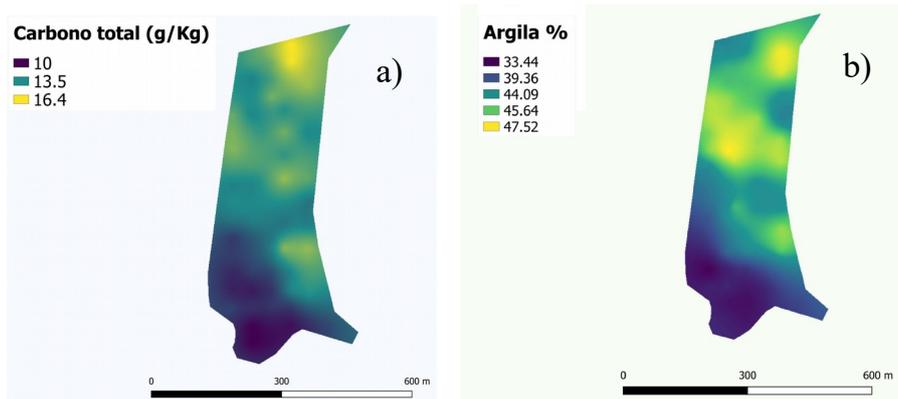


Figura 3. Mapas de distribuição espacial para carbono total (a) e porcentagem de argila no solo (b) do talhão de cana-de-açúcar em Ibaté-SP.

As amostras da área de Pedra Preta-MT apresentam a menor variação de textura entre as 4 áreas estudadas, sendo uma área majoritariamente argilosa variando de 42 a 62% de argila (CV= 6%) e com a maior média de carbono total (31 g Kg⁻¹ e CV= 5%). A pequena variação de textura e carbono total dentro desse talhão reflete na menor variação do índice de humificação desta área tendo máximo de 996 e mínimo 637, sendo o menor CV entre as áreas estudadas (CV= 10%). Quando relacionado o HFIL com a porcentagem de areia no solo obtém-se um R²=0,02 (Figura 2b).

Estes resultados estão de acordo com Favoretto et al. (2008), onde demonstraram que a fração argila (< 2 µm) do solo apresentam menores valores de humificação e também com Martins et al. (2011) que conduziram um estudo em três sistemas (plantio convencional, plantio direto e plantio reduzido) e observaram que o HFIL na fração areia apresentava valores mais elevados quando comparado com as fração argila, independentemente do tipo de sistema adotado.

4. Conclusões

Os mecanismos físicos de proteção da matéria orgânica no solo influenciam na disponibilidade da matéria orgânica e carbono no sistema, sendo cruciais na avaliação da qualidade dos sistemas agrícolas. Quando estudadas áreas onde é adotado o conceito de agricultura de precisão, é possível notar uma melhor relação entre HFIL e textura do solo. Através da técnica de FIL é possível verificar que a textura do solo está ligada diretamente com o índice de humificação: quanto maior a porcentagem de areia no solo, maior o valor absoluto do HFIL. Os dados de HFIL obtidos para as 3 áreas de AP serão posteriormente correlacionados com dados de produtividade das respectivas culturas, para se avaliar o efeito prático do HFIL como indicador da qualidade do solo na produtividade.

Agradecimentos

Embrapa (projeto 41.14.09.001.00), CAPES (projeto 15/2004-223), CNPq (projeto 312282/2017-6), Célia Regina Grego, Júlio Franchini, Rafael Galbieri, Grupo Sementes Petrovina.

Referências

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.58, p.1501-1511, 1994
- FAVORETO, C.M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D.M.P.B.; ROSA, J.A.; LEITE, W.C.; BRINATTI, A.M.; SAAB, C. Determinação da humificação da matéria orgânica de um latossolo e de suas frações organo-minerais, *Quim. Nova*, v.31, n.8, 1994-1996, 2008
- MARTINS, T.; SAAB, S.C.; MILORI, D.M.P.B.; BRINATTI, A.M.; ROSA, J.A.; CASSARO, F. A.M.; PIRES, L.F. Soil organic matter humification under different tillage managements evaluated by Laser Induced Fluorescence (LIF) and C/N ratio, *Soil & Tillage Research*, v.111, p.231-235, 2011
- MILORI, D.M.P.B.; GALETI, H. V. A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J. Organic Matter Study of Whole Soil Samples Using Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.70, p.57-63, 2006
- MINISTÉRIO da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n.184. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm>.
- OLIVEIRA, R. P.; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. *Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper*, Triunfal Gráfica & Editora, Brasília, p.59, 2015
- STAFFORD, J. V. Implementing precision agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.76, n.3, p. 267-275, 2000
- SENESE, G. S.; MARTIN-NETO, L.; VILLAS-BOAS, P.; NICOLODELLI, G.; MILORI, D. M. B. P. Laser-based spectroscopic methods to evaluate the humification degree of soil organic matter in whole soils: a review, *Journal of Soils and Sediments*, v.18, n.4, p.1292-1302 2018
- SINFIELD, J. V.; FAGERMAN, D.; COLIC, O. Evaluation of sensing technologies for on-the-go detection of macro-nutrients in cultivated soils. *Computers and electronics in agriculture*, v.70, p.1-18, 2010
- TRIVET, F.; MORAES SÁ, J.C.; LAL, R.; MILORI, D.M.B.P.; BRIEDIS, C.; LETOURMY, P.; PINHEIRO, L.A.; BORSZOWSKA, P. R.; HARTMAN, D.C. Assessing humification and organic C compounds by laser-induced fluorescence and FTIR spectroscopies under conventional and no-till management in Brazilian Oxisols, *Geoderma*, v.207-208, p.71-81, 2013