



## CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES TEXTURAS E MATERIAL DE ORIGEM <sup>(1)</sup>.

**Ludmila de Freitas <sup>(2)</sup>; Marcílio Vieira Martins Filho <sup>(3)</sup>; José Carlos Casagrande <sup>(4)</sup>; Ivanildo Amorim de Oliveira <sup>(5)</sup>; Aluísio Hideki Togoro <sup>(5)</sup>; Milton César Costa Campos <sup>(6)</sup>**

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado da primeira autora; <sup>(2)</sup> Pós-doutoranda do Programa Agronomia (Ciências do Solo); Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP; Jaboticabal, SP. E-mail: ludmilafreitas84@gmail.com; <sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos e Adubos; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP; <sup>(4)</sup> Professor do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar; <sup>(5)</sup> Doutorandos do Programa Agronomia (Ciências do Solo); Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP; <sup>(6)</sup> Professor; Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente/UFAM.

**RESUMO:** A avaliação dos atributos do solo é uma ferramenta importante para monitorar a sua degradação bem como planejar a implantação de práticas sustentáveis de manejo. O objetivo deste trabalho foi avaliar e caracterizar os atributos químicos e físicos do solo em função de diferentes classes texturais e material de origem, sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar e mata nativa, com o auxílio da análise estatística multivariada. O estudo foi realizado nos municípios de Araras, Santa Ernestina e Guariba no estado de São Paulo. Foram coletadas 24 amostras de solo deformadas e indeformadas na profundidade de 0,0-0,10 m, em três áreas cultivadas com cana-de-açúcar e adjacentes de matas nativas. Foram avaliados os seguintes atributos do solo: pH em CaCl<sub>2</sub>, MO, P, K, Ca, Mg, H+Al, Al e S, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado, erodibilidade global (K), em sulcos (Kr), em entressulcos (Ki), tensão cisalhante ( $\tau_c$ ) e a suscetibilidade magnética (SM). Os dados foram submetidos a análises estatísticas multivariadas. O estudo mostrou que a análise multivariada foi eficiente para determinar os atributos físicos e químicos que foram mais sensíveis em discriminar as áreas avaliadas.

**Termos de indexação:** atributos do solo, vegetação nativa, análise multivariada.

### INTRODUÇÃO

O solo é um recurso responsável pela produtividade agropecuária, pela manutenção da qualidade do meio ambiente e, conseqüentemente, pela sanidade de plantas, animais e seres humanos (Sharma et al., 2005). No entanto, seu uso inadequado, tem ocasionado à degradação de seus atributos físicos, químicos e biológicos como, por exemplo, a desestruturação e compactação, redução da fertilidade, perda acelerada da matéria orgânica e diminuição da diversidade e quantidade de organismos no solo (Leite et al., 2010). No Brasil a expansão de cultivos com cana-de-açúcar em larga escala tem ocupado grandes áreas,

principalmente no sistema de cultivo convencional. No estado de São Paulo, áreas cobertas por floresta natural vêm sendo gradativamente substituídas por canaviais e mantidas por períodos superiores a 60 anos, causando alterações nos atributos do solo e na sua qualidade.

Neste contexto de avaliação dos atributos do solo visando à sustentabilidade dos sistemas de produção, são importantes aspectos no monitoramento e controle da degradação ambiental dos solos tropicais.

A partir do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar e caracterizar os atributos químicos e físicos do solo em função de diferentes classes texturais e material de origem sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar e mata nativa, com o auxílio da análise estatística multivariada.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em três áreas localizadas no interior do estado de São Paulo. A área 1, localizada, no Município de Araras - São Paulo, com o solo foi classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2013), situada na Bacia do Paraná, compostas por rochas sedimentares com material de origem de argilitos da Formação Irati ou Corumbataí, Grupo Passa Dois. A segunda área, localizada em Santa Ernestina, com o solo classificado como Latossolo Amarelo (Embrapa, 2013), e a terceira área, em Guariba, com solo classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2013). As áreas 2 e 3 estão inseridas no Planalto Ocidental Paulista, próxima ao limite das Cuestas Basálticas no divisor litoestratigráfico arenito basáltico com material de origem relacionado à transição Basalto do Grupo São Bento Formação Serra Geral, Depósito Colúvio-Eluvionar e Depósito Aluvionar.

Foram realizadas as seguintes análises nas amostras de solo coletadas: pH em CaCl<sub>2</sub>, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio trocáveis (K), fósforo disponível (P) e a acidez potencial (H+Al), enxofre (S), macroporosidade, microporosidade, análises granulométricas, densidade do solo. Para o cálculo



da erodibilidade global do solo da USLE (fator K,  $t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha\ h$ ) foi utilizada a equação proposta por Denardin (1990); o cálculo da erodibilidade em entressulcos do modelo Wepp ( $K_i$ ,  $kg\ s\ m^{-4}$ ) foram utilizadas as equações propostas por Flanagan & Livingston e para calcular a erodibilidade em sulcos ( $K_r$ ,  $s\ m^{-1}$ ) e a tensão cisalhante ( $\tau_c$ ,  $N\ m^{-2}$ ) do modelo Wepp foram utilizadas as equações propostas por Flanagan & Livingston (1995). Além dessas análises, foi realizada a análise da suscetibilidade magnética (SM).

Foram empregadas técnicas estatísticas multivariadas para verificar semelhanças entre as áreas estudadas contendo os ambientes de cana-de-açúcar e mata nativa, na tentativa de agrupá-los usando-se os atributos dos solos.

Fez-se a análise de componentes principais (ACP) para obter um conjunto menor de combinações lineares das variáveis que preservasse a maior parte da informação fornecida pelas variáveis originais. A partir das variáveis mais discriminatórias obtidas através da análise de ACP realizou-se a análise de agrupamento por método hierárquico, usando a distância euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward, como estratégia de agrupamento.

Foi realizada uma análise complementar, a análise discriminante, a fim de definir o quão distintas são as áreas estudadas, sendo estas representadas em um gráfico, no qual é possível verificar a separação entre elas.

Todas as análises foram realizadas por meio do programa STATISTICA 7.0 (2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a ACP foi possível identificar as variáveis com maior potencial discriminatório para cada área e ambiente. A correlação entre as variáveis e as componentes principais permitiu caracterizar as variáveis que mais discriminaram a diferenciação das áreas. Quanto ao percentual de variância explicada pelas CPs, verifica-se que, as quatro primeiras componente são responsáveis por 73,52% da variância total, em razão somente de estas apresentarem elevados autovalores (9,57, 5,88, 2,77 e 1,43, componente 1, 2, 3 e 4 respectivamente).

Os autovetores apresentados na tabela 1 correspondem às principais componentes e podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável, em relação às componentes principais. No caso em questão, os coeficientes dos atributos ou seus pesos acima de 0,7, independentemente se positivos ou negativos, foram destacados.

De acordo com a tabela 1, as variáveis que melhor explicaram ou mais contribuíram para a variância total dos dados foram: areia, argila, silte,

matéria orgânica,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , fator K e SM na primeira componente principal; a macroporosidade, diâmetro médio ponderado,  $>2,00$ ,  $<1,00$  na segunda componente principal; e na quarta componente principal somente o fator  $K_r$ .

Analisando a figura 1, observa-se que as variáveis com maior poder discriminatório (correlação com as variáveis com maiores pesos) para a área 1 foram a argila, o fator K e SM. A SM está relacionada a área 1 e segundo Fontes et al. (2000), afirmam que o comportamento magnético é mais evidente em solos cuja fração argila é maior. Isso ocorre porque, na fração areia, a magnetita é oxidada diretamente a hematita, enquanto que na fração argila a magnetita é oxidada em maghemita, que possui maior SM do que a hematita.

A mata 1, contígua a área 1 foi correlacionada mais fortemente com as variáveis MO,  $Ca^{2+}$ , e silte, (Figura 1). Nota-se que as matas 2 e 3 ficaram próximas espacialmente na figura 1, no gráfico biplot, tendo assim características semelhantes, com o atributo que mais influenciou sua característica, a areia total, visto que esses solos possuem textura média arenosa, e por serem de ambiente de mata sem a ação do manejo.

Nas áreas 2 e 3 cultivadas com cana-de-açúcar, como pode ser observado na figura 1, os agregados  $<1,00\ mm$  tiveram maior poder discriminatório, o que demonstra a influência da areia na perda da estrutura dos agregados em solos que sofreram a ação do manejo. A partir dos atributos com maiores poderes discriminatórios, realizou-se a análise de agrupamento (Figura 2).

Foi admitido um corte na distância euclidiana de 1400, o que favoreceu uma divisão de dois grupos: o GI, englobando os dados formados pela área 1 e mata 1, e o GII formado pelas áreas 2 e 3 e as matas 2 e 3 (Figura 2). O grupo formado por mais de uma área (GII), provavelmente, se deveu a fato de apresentarem atributos químicos e físicos similares, mesma classe textural, material de origem e clima iguais ou semelhantes, haja vista a formação de um único agrupamento. Diminuindo a distância euclidiana, com um corte na distância de 200, nota-se a formação de 4 sub-grupos: o SBGI formado pela área1, contendo cana-de-açúcar, o SBGII formado pela mata 1 e o SBGIII formado pelas áreas 2 e 3, matas 2 e 3.

Pela análise discriminante, 96,83% da variabilidade das relações estudadas foram explicados nas duas primeiras raízes. A primeira raiz canônica (Can 1) apresentou 90,96%, e a segunda raiz canônica (Can 2) 5,87% (Figura 3).

Nota-se que a área com solo argiloso (área 1) em ambos os ambientes (mata nativa e cana-de-açúcar) é totalmente diferente das demais áreas se analisarmos o eixo da Can 1. A análise



discriminante demonstra que a Can 1 é responsável pela separação da área argilosa (Área 1 e mata 1) das outras áreas, sendo que este solo confere características mais distante dos demais. Esta afirmativa está de acordo com a análise de componentes principais (Figura 1).

A análise de componente principal e a análise discriminante mostram de forma clara a ligação ou as alterações nos solos, quando se aplica um manejo específico. Quando se compara a mata nativa, um ambiente em equilíbrio, com a cana-de-açúcar nota-se que há separação de ambientes. Percebe-se que as áreas e suas respectivas matas ficam próximas (áreas 2 e 3 e matas 2 e 3). Porém é possível observar que apesar de próximas, a área 1 é a que mais se diferencia das demais. Este comportamento pode ser um indicativo que a textura, material de origem e clima sejam os principais fatores que causam tal separação e de sua influência com atributos avaliados, visto que as áreas 2 e 3 são as áreas com texturas, clima e material de origem semelhantes, e a área 1, por possuir textura mais argilosa, clima e material de origem diferente das demais áreas.

### CONCLUSÕES

O estudo mostrou que a análise multivariada foi eficiente para determinar os atributos físicos e químicos que foram mais sensíveis em discriminar as áreas avaliadas sendo eles, a areia total, suscetibilidade magnética, argila, microporosidade, magnésio, cálcio, pH e matéria orgânica; e que o uso das técnicas de análises multivariadas é

eficiente para verificar as similaridades ou as diferenças em cada área estudada.

### REFERÊNCIAS

- DENARDIN, J. E. Erodibilidade do solo estimado por meio de parâmetros físicos e químicos. 1990. 114 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição e Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- FLANAGAN, D. C. & LIVINGSTON, S. J. USDA - Water erosion prediction project: WEEP user summary. West Lafayette: National Soil Research Laboratory & USDA – Agricultural Research Service, 1995. p. 25-26. (Report, 11).
- FONTES, M. P. F.; OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L. M.; CAMPOS, A. A. G.; Magnetic separation and evaluation of magnetization of Brazilian soils from different parent materials, *Geoderma*, 96: 81–99. 2000.
- LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAUJO, A. S. F.; GALVÃO, S. R. S.; LEMOS, J. O.; SILVA, E. F. L. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, 48:258-265, 2010.
- SHARMA, K. L.; U. K.; SRINIVAS, K. VITTAL, K. P. R.; MANDAL, B.; GRACE, J. K.; RAMESH, V; Longterm soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil & Tillage Research*,83:246-259, 2005.

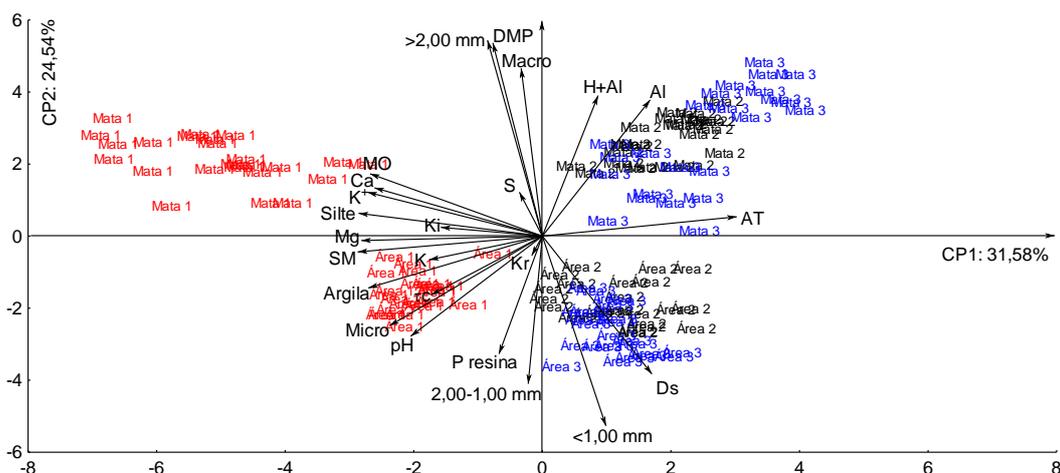
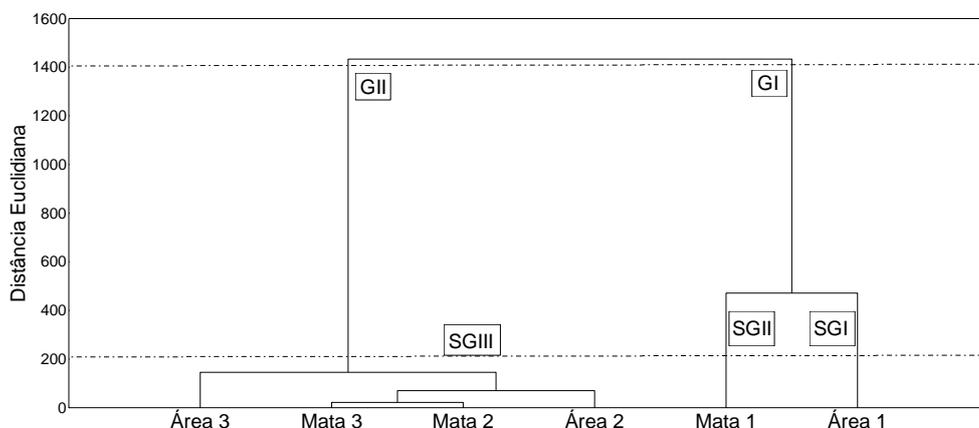
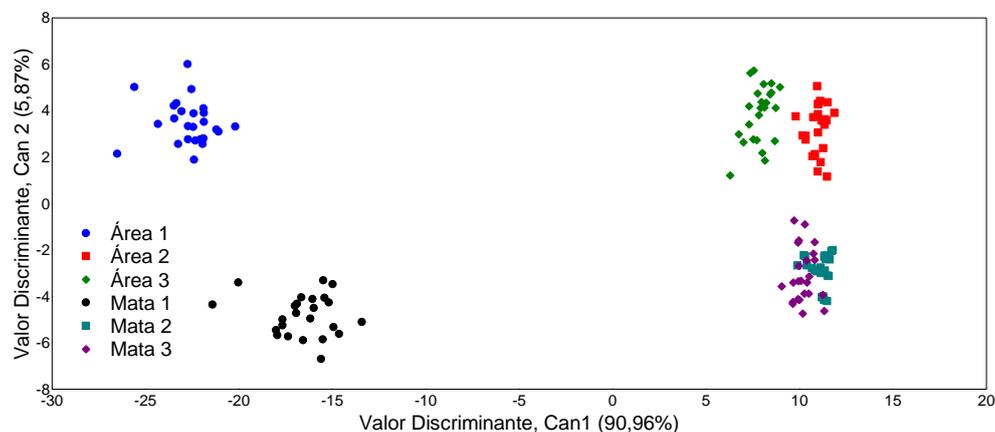


Figura 1. Análise de componentes principais das médias dos atributos do solo.



**Figura 2.** Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos (G) e sub-grupos (SB) segundo as variáveis selecionadas da análise de componente principal.



**Figura 3.** Agrupamento das áreas pela Análise Discriminante Canônica 1 e 2 (Can 1 e Can 2) das variáveis selecionadas na análise de componente principal.

**Tabela 1.** Correlação entre cada componente principal e variáveis analisadas nos três ambientes estudados.

ATRIBUTOS	CP1	CP2	CP3	CP4
Argila	<b>-0,790093</b>	-0,249460	-0,442924	-0,115319
Silte	<b>-0,828929</b>	0,102820	-0,261187	0,017539
Areia total	<b>0,879092</b>	0,091225	0,380578	0,057962
Ds	0,496673	-0,639811	0,069494	0,119588
Macro	-0,094422	<b>0,787792</b>	-0,395269	0,114020
Micro	-0,684333	-0,417207	0,284197	-0,031535
DMP	-0,229054	<b>0,910920</b>	0,171043	-0,062449
> 2,00 mm	-0,238253	<b>0,916374</b>	0,167503	-0,056879
2,00-1,00 mm	-0,058175	-0,682905	-0,473966	-0,136408
<1,00 mm	0,293230	<b>-0,883703</b>	-0,062918	0,107908
P Resina	-0,193054	-0,549079	-0,165594	-0,495477
MO	<b>-0,770273</b>	0,287705	0,361897	-0,099090
pH	-0,588098	-0,470490	0,475716	0,166186
K <sup>+</sup>	-0,510711	-0,115266	-0,322460	0,173713
Ca <sup>2+</sup>	<b>-0,756838</b>	0,223323	0,387137	0,066972
Mg <sup>2+</sup>	<b>-0,823799</b>	-0,023077	0,249589	0,276612
H+Al	0,252750	0,658181	-0,578567	-0,125866
Al <sup>3+</sup>	0,488903	0,638297	-0,381033	-0,075700
S	-0,102149	0,195705	0,350594	-0,380784
K	<b>-0,785407</b>	0,205387	0,165708	0,146602
Ki	-0,454582	0,041093	-0,315839	0,150458
Kr	-0,039963	-0,090798	-0,353841	<b>0,735984</b>
τ <sub>c</sub>	-0,513529	-0,283682	-0,147602	-0,449391
SM	<b>-0,825321</b>	-0,076675	-0,505313	-0,048416

Valores em negrito são os mais discriminatórios; CP1= componente principal 1; CP2= componente principal 2; CP3= componente principal 3; CP4= componente principal 4.