



## **Análise fatorial multivariada na qualidade física de Latossolos após usos no período de reforma do canavial<sup>(1)</sup>.**

**Daniel Pereira Pinheiro<sup>(2)</sup>; Carolina Fernandes<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do projeto financiado pela FAPESP (Processo nº 2011/06491-0).

<sup>(2)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo); UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo; daniel\_pinh@hotmail.com. <sup>(3)</sup> Professora Assistente Doutora do Departamento de Solos e Adubos; UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo.

**RESUMO:** O uso do solo com a diversificação de culturas pode promover melhorias na qualidade física do solo durante a fase de renovação da cultura da cana-de-açúcar. O objetivo deste estudo foi avaliar por meio da análise fatorial multivariada o efeito de diferentes usos sobre a qualidade física do solo após a renovação do canavial. O experimento foi realizado em dois solos: Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e Latossolo Vermelho ácrico (LVw) no município de Jaboticabal, São Paulo (21°14'05" S, 48°17'09" W). A análise fatorial multivariada extraiu um fator que contribuiu com 81% da variância explicada. Não houve efeito dos diferentes usos do solo e interação usos do solo x tipos de solo sobre a qualidade física. O LVef apresentou melhor qualidade física quando comparado ao LVw.

**Termos de indexação:** cana-de-açúcar, milho, crotalária.

### **INTRODUÇÃO**

A produção de cana-de-açúcar pode ser integrada com o cultivo de outras culturas.

O cultivo de leguminosas (principalmente amendoim ou soja) tem sido utilizado na diversificação de culturas entre os ciclos de produção da cana-de-açúcar.

O benefício da rotação de culturas sobre a monocultura está associado à melhoria sobre as propriedades químicas, biológicas e físicas. Sobre as propriedades físicas, o uso de leguminosas e gramíneas está associado ao maior volume e densidade de raízes que após a decomposição formam bioporos e o aporte de material orgânico que aumenta a agregação do solo (Wohlenberg et al., 2004).

Fernandes et al. (2012) avaliaram a influência de diferentes usos do solo, no período de reforma do canavial, de um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) textura muito argilosa e um Latossolo Vermelho ácrico (LVw) textura argilosa. Os autores verificaram que a sequência de cultivo soja/crotalária/soja ou soja/milho/soja, no período de reforma do canavial, favoreceu a maior porosidade e agregação na camada 0,00–0,10 m.

Assim, testou-se a hipótese que o uso do solo com dois cultivos de soja, e um cultivo de milho ou crotalária entre eles, na fase de reforma do canavial, promove a melhoria na qualidade física do solo.

Diante deste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar por meio da técnica da análise estatística multivariada a influência de usos do solo, no período de reforma do canavial, sobre os atributos físicos de dois latossolos.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi instalado em 2008 e conduzido em duas áreas localizadas no município de Jaboticabal, estado de São Paulo (21°14'05" S, longitude de 48°17'09" W e altitude média de 615 m). Uma das áreas com Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) textura muito argilosa (argila = 680 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0,00–0,20 m) e outra com Latossolo Vermelho ácrico (LVw) textura argilosa (argila = 440 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0–0,20 m). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw com temperatura do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 18 °C. A precipitação média anual é de 1425 mm, com concentração de chuvas no período de outubro a março e relativa seca entre abril e setembro.

Os tratamentos consistiram de usos e tipos de solo, no período de outubro de 2008 a fevereiro de 2010. Os usos do solo consistiram do cultivo de soja/milho/soja (SMS), soja/crotalária/soja (SCS), soja/pousio/soja (SPS) e soja (S). Em SMS, SCS e SPS foram realizados dois cultivos de soja (*Glycine max*) nos períodos de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 e outubro de 2009 a fevereiro de 2010. Entre o primeiro e o segundo cultivo de soja, no período de março a setembro de 2009, o solo foi cultivado com milho (*Pennisetum americanum*) (SMS) ou crotalária (*Crotalaria juncea*) (SCS) ou permaneceu em pousio (SPS). Em S realizou-se um cultivo de soja no período de outubro de 2009 a fevereiro de 2010.

O plantio de cana-de-açúcar foi realizado em fevereiro de 2010, utilizando-se a variedade SP 87-365, no ambiente de produção A, área com LVef, e a variedade RB 83-5054, no ambiente de produção C, área com LVw.



Em agosto de 2011 (18 meses após o plantio da cana-de-açúcar) foram coletadas amostras de solo (indeformadas e deformadas), na camada de 0-0,10 m, para avaliação da qualidade física do solo, por meio dos atributos diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade de agregados (Nimmo & Perkins, 2002), densidade do solo (Grossman & Reinsch, 2002), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) (Embrapa, 1997), resistência do solo a penetração (Tormena, Silva & Libardi, 1998), teor de argila pelo método da pipeta (Embrapa, 1997) e estoque de carbono (Est C) pela equação:  $Est\ C = Ds \times \text{teor de carbono} \times \text{profundidade de amostragem}$ .

Nos resultados das variáveis analisadas, inicialmente foi construída uma matriz de correlação de Pearson, para avaliar o grau de associação entre os atributos. Assim, os atributos utilizados na análise foram aqueles que apresentaram coeficientes com valor acima de 0,30 (**Tabela 1**). Deste modo, foram excluídos das análises os atributos Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Macroporosidade (Ma), pois apresentava os coeficientes abaixo de 0,30. Este procedimento foi necessário, porque a análise fatorial depende do padrão de correlação entre as variáveis observadas, portanto, espera-se que variáveis estatisticamente independentes não contribuam para a construção de um fator comum (Figueiredo Filho & Silva Junior, 2010).

Posteriormente, utilizou-se a técnica da análise fatorial multivariada pelo método de extração de componentes principais. Esta análise teve o intuito de reduzir a quantidade de variáveis (atributos avaliados) em um número menor de variáveis latentes denominadas fatores. Para verificar a adequação dos dados, na análise fatorial utilizou-se o índice *KMO* (*Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy*) e o teste estatístico de esfericidade de *Bartlett*, que testa a hipótese nula de que as variáveis analisadas não são correlacionadas (Hair Jr et al., 2009). Para verificar a quantidade de fatores extraídos pela análise fatorial, utilizou-se o critério de Kaiser-Guttman com *eigenvalue* (autovalores) acima de 1,0.

Com os dados padronizados das variáveis estudadas, foram gerados escores fatoriais e submetidos à análise de variância *Factorial ANOVA* para verificar a significância dos tratamentos estudados. Durante a análise, verificou-se que os resíduos apresentaram normalidade, média nula e variância constante, critérios considerados importantes para análise de variância e teste de comparação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Argila e matéria orgânica (MO) correlacionaram-se positivamente com índice de estabilidade de agregados (IEA), porosidade total (Pt), microporosidade (Mi), resistência do solo a penetração (RP) e estoque de carbono (Est C); e negativamente com densidade do solo (Ds) (**Tabela 1**).

Estes oito atributos que a partir da análise de correlação foram utilizados na análise fatorial, adequaram-se ao teste *KMO* (valor considerado excelente  $>0,80$ ) e esfericidade de *Bartlett* ( $p < 0,01$ ). Isto permite afirmar que os fatores encontrados na análise fatorial descrevem adequadamente a variação dos dados originais.

Na **tabela 2** estão contidos os resultados da análise, onde foi extraído apenas um fator com autovalor acima de 1,0 (**Figura 1**). O fator extraído contribuiu com 81% da variância total para os atributos analisados.

As comunalidades indicaram que entre 80% a 100% da variância dos atributos Pt, Mi, Ds e MO foram explicadas pelo fator extraído. Já os atributos IEA, Est C e argila tiveram entre 60% a 72% da variabilidade explicada. Mas, a variável RP apresentou comunalidade  $<0,50$ , e portanto foi excluída do processo de análise. O valor de 0,50 é o mínimo aceitável, pois a baixa comunalidade entre um grupo de variáveis é um indicio de que elas não estão linearmente correlacionadas, portanto, não deve ser incluída na análise (Figueiredo Filho & Silva Junior, 2010).

O fator extraído encontra-se fortemente correlacionado com os atributos responsáveis pela porosidade, agregação do solo e armazenamento de carbono.

Neste sentido, a relação do fator extraído e relacionado com os atributos avaliados representam a dimensão da agregação e armazenamento de carbono no solo.

Solos com altos teores de argila e matéria orgânica estão associados há maior agregação (Bronick & Lal, 2005), fato verificado neste trabalho pela carga fatorial elevada do IEA. Salton et al. (2008), ao relacionar IEA com a concentração de C orgânico, verificou correlação altamente significativa, o que proporciona a formação de agregados do solo mais estáveis e bem estruturados com espaços porosos suficientes para o desenvolvimento de raízes, da fauna do solo, circulação de ar e água.

A microporosidade do solo apesar de ser fortemente influenciada pelo teor de argila do solo e teor de C orgânico (Viana et al., 2011), contribuiu concomitantemente com a porosidade total na extração do fator 1. Assim, por maior que tenha sido o volume de microporos presente no



solo, este correlacionou-se positivamente com a porosidade total. Geralmente a elevação da microporosidade promove redução da macroporosidade (Araújo et al., 2013) e redução no volume de poros totais. Porém, no caso desse trabalho, por mais que a microporosidade tenha contribuído com uma alta carga fatorial, em função das características granulométricas do solo, o processo de agregação ocorrido melhorou o arrajamento das partículas e a estruturação do solo, permitindo que ocorresse um aumento no volume total de poros e redução da densidade do solo (Bronick & Lal., 2005).

Não houve efeito ( $p>0,05$ ) na melhoria da qualidade física do solo em função dos diferentes usos e interação usos x tipos de solo.

Houve efeito significativo ( $p<0,001$ ) apenas para tipo de solo (**Figura 2**). O LVef apresentou o maior processo de agregação e armazenamento de carbono, com ambiente físico com menor valor de densidade do solo, maior espaço poroso e índice de estabilidade de agregados e armazenamento de carbono no solo.

Assim, para o cultivo de cana-de-açúcar, essas características inserem o LVef em um ambiente de produção superior ao LVw, que pode pressupor um solo com maior capacidade de armazenamento de água, melhor espaço poroso para o desenvolvimento das raízes das plantas e menor suscetibilidade à perdas de água por escoamento superficial e solo por erosão, características que segundo Dexter (2004) permite atribuir como de boa qualidade física.

## CONCLUSÃO

Os diferentes usos do solo não alteram os atributos físicos do solo.

No processo de análise fatorial, extraiu-se apenas um fator, que é responsável por 81,43% da variância das variáveis originais.

O fator extraído representa a dimensão de agregação e armazenamento de carbono no solo, formadas pelas cargas fatoriais dos atributos índice de estabilidade de agregados, porosidade total, microporosidade, densidade do solo, estoque de carbono, teor de argila e matéria orgânica.

O Latossolo Vermelho eutroférrico apresenta maior agregação e armazenamento de carbono em comparação ao Latossolo Vermelho ácrico.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. de. S. et al. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na chapada do Araripe. R. Bras. Ci. Solo, 37:754-762, 2013.

BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management. a review. Geoderma, 124: 3-22, 2005.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: Princípios e aplicações. Porto alegre: Artmed, 2003. 255p.

DEXTER, A. R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 120:201-214, 2004.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 1 ed. Rio e Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

FERNANDES, C.; CORÁ, J. R. & MARCELO, A. V. Soil uses in the sugarcane fallow period to improve chemical and physical properties of two latossols (oxissols). R. Bras. Ci. Solo, 36:283-294, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, D. B. F. & SILVA JÚNIOR, J. A. da. S. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. Opinião Pública. 16: 160-185, 2010

GROSSMAN, R. B. & REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H. & TOPP, C., eds. Methods of soil analysis: Physical methods. Madison, Soil Science Society of America, 2002. v.4. p.201-228.

HAIR JR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J. et al. Análise multivariada de dados. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.

NIMMO, J. R. & PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J. H. & TOPP, G. C.; eds. Methods of soil analysis. 4 ed. Madison, Soil Science Society of America, 2002, p.317-328.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. et al. agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 32:11-21, 2008.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. & LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, (22):573-581, 1998.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A. et al. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 35:2105-2114, 2011.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação em sucessão. R. Bras. Ci. Solo, 28:891-900, 2004.

**Tabela 1** – Matriz de correlação dos atributos físicos dos solos LVef e LVw na camada de 0 – 0,10 m após colheita de cana-de-açúcar em sucessão a diferentes sistemas de rotação de culturas.

Atributo	DMP	IEA	PT	Ma	Mi	Ds	RP	Est C	Argila	M.O
DMP	1									
IEA	0,28	1								
PT	0,14	0,82**	1							
Ma	0,17	0,18	0,24	1						
Mi	0,11	0,80**	0,98**	0,05	1					
Ds	0,01	-0,73**	-0,95**	-0,25	-0,93**	1				
RP	0,21	0,29	0,39**	-0,08	0,41**	-0,26**	1			
Est C	0,09	0,65**	0,77**	0,02	0,79**	-0,72**	0,21	1		
Argila	0,07	0,65**	0,77**	0,02	0,79**	-0,75**	0,45**	0,59**	1	
MO	0,05	0,72**	0,87**	0,02	0,89**	-0,83**	0,44**	0,65**	0,72**	1

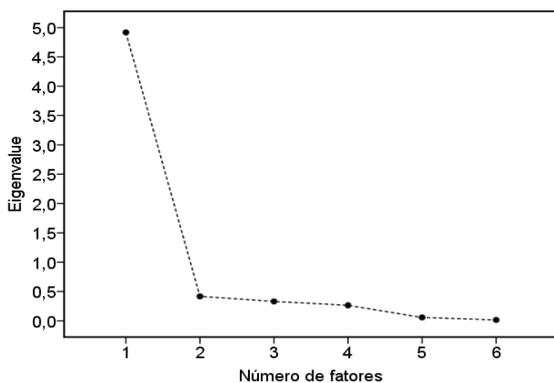
\* significativa a  $p < 0,05$  e \*\* significativa a  $p < 0,01$ . DMP: diâmetro médio ponderado, IEA: índice de estabilidade de agregados, PT: porosidade total, Mi: microporosidade, Ds: densidade do solo, RP: resistência do solo a penetração, Est C: estoque de carbono, M.O: matéria orgânica.

**Tabela 2** – Cargas fatoriais, comunalidade e variância explicada na análise fatorial dos atributos avaliados.

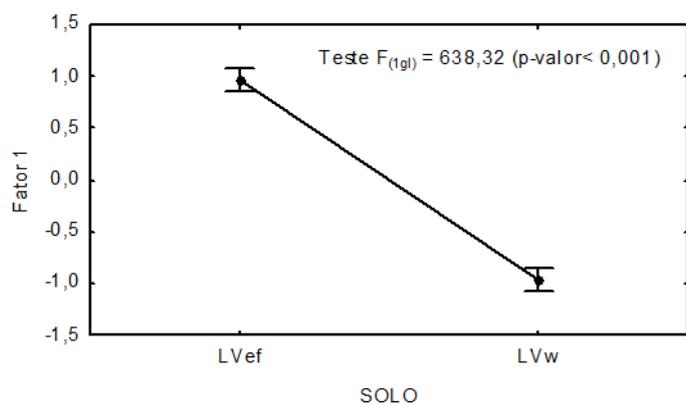
Atributo	Fator 1	Comunalidade
IEA	0,85	0,72
PT	0,98	0,96
Mi	0,98	0,97
Ds	-0,94	0,89
Est C	0,82	0,66
Argila	0,83	0,69
MO	0,90	0,81
Soma de quadrados da carga fatorial	5,70	
Porcentagem da variância explicada pelo fator	81,43%	

Adequação da amostra: Teste KMO = 0,894; Teste de Bartlett ( $\chi^2_{21gl} = 373,92$  ( $p$ -valor < 0,001))

IEA: índice de estabilidade de agregados, PT: porosidade total, Mi: microporosidade, Ds: densidade do solo, Est C: estoque de carbono, M.O: matéria orgânica.



**Figura 1** - Scree plot do fator extraído.



**Figura 2** – Centroides para LVef (Latosolo Vermelho eutroférico e LVw (Latosolo Vermelho ácrico) no fator 1 (processo de agregação e armazenamento de carbono no solo)