

## Uso da ferramenta multivariada na seleção de indicadores físicos do solo

**Rossanna Barbosa Pragana<sup>(1)</sup>; Diana Ferreira de Freitas Simões<sup>(2)</sup>; Eduardo Soares de Souza<sup>(3)</sup>; Alexandre Tavares da Rocha<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Professor Adjunto da Universidade Federal Rural de Pernambuco; Serra Talhada, PE; rossannapragana@yahoo.com.br; <sup>(2)</sup> Professor Assistente da UFRPE; freitasdf.solos@gmail.com; <sup>(3)</sup> Professor Adjunto da UFRPE; edu\_souza\_pe@yahoo.com.br; <sup>(4)</sup> Professor Adjunto da UFRPE; alexandre@uast.ufrpe.br.

**RESUMO:** O solo é considerado um sistema complexo, resultante da interação de fatores que juntos formam indicadores (variáveis), que o caracterizam. A multivariada é a área da estatística que busca analisar as variáveis conjuntamente. O objetivo deste trabalho foi identificar através de técnicas multivariadas quais os indicadores físicos que contribuem mais para a alteração da qualidade do solo, nas condições de campo analisadas. A área de estudo está localizada no município de Bom Jesus-PI, onde predominam Latossolos Amarelos. Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas do horizonte A, em 20 pontos, para determinação da análise granulométrica, teor de argila dispersa, grau de flocculação da argila, relação silte/argila, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade. Foi utilizada a técnica multivariada para identificar os indicadores mais sensíveis às alterações da qualidade do solo, por meio das ferramentas análise de agrupamento, análise fatorial e análise de componentes principais. As ferramentas multivariadas mostraram que os indicadores físicos que contribuem para a alteração da qualidade do solo são a macroporosidade, densidade do solo, porosidade total, microporsidade, argila e areia.

**Termos de indexação:** Latossolos Amarelos, análise de agrupamento, análise fatorial.

### INTRODUÇÃO

Em quase todas as áreas do conhecimento, pesquisas são realizadas e várias características são observadas. Essas variáveis, em geral, não são independentes e, por isso, devem ser analisadas conjuntamente. A multivariada é estatística que trata desse tipo de análise. Várias são as técnicas que podem ser aplicadas aos dados, sua utilização depende do tipo de dado a ser analisado e dos objetivos do estudo.

O solo é considerado um sistema complexo, resultante da interação entre vários fatores que juntos formam indicadores (variáveis) que o caracterizam.

Atributos físicos podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo, por variarem de acordo com o manejo a que o solo está sendo submetido. Nesse sentido, uma contínua avaliação dos atributos físicos do solo permite monitorar a influência do sistema de manejo adotado na qualidade do solo (Secco et al., 2005; Albuquerque et al., 2005 e Vieira & Klein, 2007). A identificação de indicadores mais sensíveis às alterações do solo pode facilitar o monitoramento.

Com a técnica de análise multivariada é possível explicar o máximo de intercorrelação, entre as variáveis, ou seja, correlação de uma série de variáveis entre si, além de identificar quais dessas contribuem mais para a caracterização e/ou alteração da qualidade do solo. Diversas pesquisas têm aplicado a técnica multivariada para a análise de dados de solos (Grobe & Marques, 2006; Weirich Neto et al., 2006; Aratani et al., 2009; Carneiro et al., 2009; Pereira et al., 2010).

A análise de agrupamentos (AA) classifica variáveis por semelhança. Os agrupamentos exibem elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos). A representação gráfica da AA indica que as variáveis semelhantes estarão próximas (dentro dos agrupamentos) e as diferentes estarão distantes, em outros agrupamentos (Hair Jr. et al., 2005). Portanto, a AA tem por objetivo encontrar e separar objetos em grupos similares, que são expressos na forma de um dendrograma que representa uma síntese gráfica do trabalho desenvolvido.

A análise fatorial (AF) visa descrever um conjunto de variáveis em termos de um número menor de índices ou fatores, sem perda significativa de informação dos dados originais, e no processo, obter uma compreensão do melhor relacionamento entre estas variáveis (Manly, 2008). A AF também é aplicada a um conjunto de variáveis para descobrir as mais relevantes na composição de cada fator.

O objetivo deste trabalho foi identificar através de técnicas multivariadas quais os indicadores físicos que contribuem mais para a alteração da qualidade do solo, nas condições de campo analisadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na Serra do Quilombo, no município de Bom Jesus-PI, que tem clima quente e semiúmido do tipo Aw (Köppen), com temperatura variando de 18 a 36 °C. Na área predominam LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos típicos, profundos e bem drenados, em relevo plano.

O sistema de manejo do solo na área pesquisada era o plantio direto, mas foi utilizada na pesquisa uma área preservada de cerrado, para representar uma condição original do solo. Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas do horizonte A, em 20 pontos, sendo 15 pontos na área com plantio direto e cinco na área preservada de cerrado, distando 10 m entre os pontos. A profundidade do horizonte A variou de 16 a 20 cm, sendo a amostragem considerada representativa em função da homogeneidade da área.

Após o preparo das amostras deformadas (TFSA) foi realizada a análise granulométrica pelo método da pipeta. O teor de argila dispersa (ADA) em água foi determinado também pelo método da pipeta, sem a utilização de dispersante químico, por onde se calculou o grau de floculação da argila (GF). A relação silte/argila (siltarg) foi calculada a partir da divisão dos valores de silte pelos de argila total, obtidos na análise granulométrica. A densidade de partículas (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico e a densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico, com volume total de 250 cm<sup>3</sup>, em amostras indeformadas. A porosidade total (PT) foi calculada pela relação entre as Ds e Dp. A microporosidade (micropo) foi determinada pelo método do funil de Haines, aplicando-se sucção correspondente a uma coluna de água de 60 cm. A macroporosidade (macropo) foi calculada pela diferença entre a PT e a micropo. Todas as análises seguiram métodos propostos pela Embrapa (1997).

Foi utilizada a técnica multivariada para identificar os indicadores mais sensíveis as alterações da qualidade do solo. Os dados foram padronizados (média zero e variância um) para assegurar que todas as variáveis contribuíssem igualmente para o modelo. Inicialmente, utilizou-se como ferramenta a análise de agrupamento (análise de cluster - distância euclidiana) (AA), para identificar quais são as variáveis que pertencem a um mesmo grupo, isto é, quais variáveis que produzem efeito similar na variação do solo. A representação das seqüências de agrupamentos formados foi feita na forma de dendrograma. Os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, onde se encontrou as

maiores distâncias em que eles foram formados. Através da análise do dendrograma foi retirada uma variável de cada grupo que representa o mesmo efeito no solo dentro de cada grupo, permanecendo as variáveis consideradas mais relevantes quanto ao efeito na variação do solo.

A AF foi aplicada às variáveis mais relevantes visando comparar o conjunto de dados quando se utiliza todas as variáveis com o conjunto de dados que fora reduzido através da técnica da AA.

A AF busca reduzir o número de variáveis para um conjunto mais significativo (representado pelos fatores), identificando quais variáveis pertencem a quais fatores e o quanto cada variável explica cada fator. O critério adotado para a escolha do número de fatores foi o de selecionar aquelas variáveis que apresentassem autovalores acima de 1,00 e conseguissem sintetizar uma variância acumulada acima de 80 %. Para finalizar utilizou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) para identificar quais variáveis interferiram mais significativamente na alteração do solo, utilizando a correlação entre as componentes principais e as variáveis, representando os resultados graficamente por meio de um círculo unitário. Nas análises estatísticas multivariadas foi utilizado o software STATISTICA versão 7.0 (Statsoft, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando a Figura 1 se identifica a formação de cinco grupos, obtidos por meio de um corte transversal feito na maior distância. Um grupo foi formado por variável isolada, o da areia, os outros quatro grupos possuem duas e três variáveis, sendo eles Silte e siltarg, o primeiro grupo; GF, macropo e PT, o segundo, o terceiro a argila e Dp e o último a ADA, micropo e Ds. A partir deste resultado adotou-se a retirada de uma variável de cada grupo que têm o mesmo efeito na variação do solo.

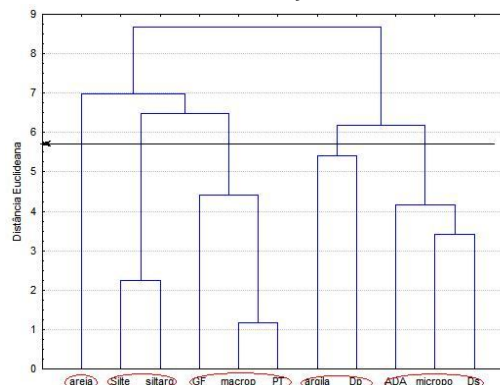


Figura 1. Dendrograma envolvendo todas as variáveis.

Foram retiradas as variáveis siltarg, GF, Dp e ADA, do 1º, 2º 3º e 4º grupo, respectivamente. Vários autores consideram que a porosidade e a densidade do solo, entre outros indicadores não considerados neste estudo, são importantes na determinação da qualidade do solo, e variam de acordo com o manejo a que o solo está sendo submetido (Albuquerque et al., 2005 e Vieira & Klein, 2007). Portanto, comparando os indicadores dentro de cada grupo, selecionou-se os que apresentaram maiores efeitos na variação do solo de acordo com a pesquisa.

Os resultados da AF com todas as variáveis podem ser observados na tabela 1 onde se encontram os autovalores e a variância explicada por cada fator. Observa-se que do primeiro ao terceiro fator os autovalores ficaram acima de um; eles acumulam 81,72 % da variância total dos dados.

Tabela 1. Autovalores e variância explicada por cada fator com todas as variáveis

Fatores	Eigenvalue	% Total
1	<b>4,82</b>	<b>43,85</b>
2	<b>2,50</b>	<b>66,54</b>
3	<b>1,67</b>	<b>81,72</b>
4	0,96	90,49
5	0,69	96,76
6	0,31	99,58
7	0,04	99,97
8	0,00	99,98
9	0,00	100,00

As cargas fatoriais que definem quais variáveis são mais importantes para cada fator encontram-se na tabela 2. As variáveis que possuem cargas fatoriais elevadas e explicam a maior percentagem de variação do fator 1, são: Ds, PT, micropo, macropo e ADA; do fator 2: argila e areia; e do fator 3 o silte. As variáveis Dp, siltarg e GF não promovem variação significativa.

Tabela 2. Cargas fatoriais pelo método dos componentes principais para composição dos fatores, com todas as variáveis.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3
<b>Ds</b>	<b>0,92</b>	0,22	-0,02
Dp	0,18	-0,34	-0,20
<b>PT</b>	<b>-0,91</b>	-0,28	-0,01
<b>micropo</b>	<b>0,82</b>	-0,18	-0,08
<b>macrop</b>	<b>-0,96</b>	-0,15	0,02
siltarg	-0,57	0,47	-0,62
<b>argila</b>	0,22	<b>-0,96</b>	-0,05
<b>areia</b>	-0,04	<b>0,91</b>	0,35
<b>Silte</b>	-0,55	0,00	<b>-0,78</b>
GF	-0,55	-0,45	0,52
<b>ADA</b>	<b>0,73</b>	-0,17	-0,48
Expl.Var	4,82	2,50	1,67
Prp.Total	0,44	0,23	0,15

Portanto, as variáveis menos significativas obtidas através da AF com todas as variáveis, foram similares aquelas eliminadas na análise de agrupamento, com exceção da ADA que ficou entre as variáveis significativas no fator 1, no entanto, entre as variáveis deste fator a ADA foi a que apresentou menor carga fatorial, o que significa que esta variável influi menos na variação do solo.

As variáveis que apresentaram maiores autovalores no fator 1 foram a Ds e a macropo, confirmando a importância destes indicadores como os que mais interferem na variação do solo.

Procedendo a AF com o conjunto de variáveis que fora reduzido através da técnica de análise de agrupamento, observa-se na tabela 3 que o número de fatores também foi reduzido de nove para seis e o de fatores com autovalor superior a um, também diminuiu de três para dois, explicando uma variância acumulada de 83,94 %, que foi superior à AF com todas as variáveis. Isto confirma a importância de se trabalhar na identificação da qualidade do solo com indicadores significativos.

Tabela 3. Autovalores e variância explicada por cada fator, com as variáveis selecionadas

Fatores	Eigenvalue	% Total
1	<b>3,82</b>	<b>54,60</b>
2	<b>2,05</b>	<b>83,94</b>
3	0,78	95,12
4	0,32	99,68
5	0,02	99,94
6	0,00	100,00

As cargas fatoriais que definem quais variáveis são mais importantes para cada fator, obtidas na AF com variáveis reduzidas, encontram-se na tabela 4. As variáveis que possuem cargas fatoriais elevadas e explicam a maior percentagem de variação do fator 1, são: Ds, PT, micropo e macropo e do fator 2: argila e areia. Apenas a variável silte não apresentou carga fatorial significativa, demonstrando que as demais variáveis são importantes na identificação da qualidade do solo, principalmente a macropo, a Ds e a PT que apresentaram maiores cargas fatoriais.

Tabela 4. Cargas fatoriais pelo método dos componentes principais para composição dos fatores, com as variáveis selecionadas.

Variáveis	Fator 1	Fator 2
<b>Ds</b>	<b>-0,96</b>	0,07
<b>PT</b>	<b>0,96</b>	-0,12
<b>micropo</b>	<b>-0,82</b>	-0,32
<b>macrop</b>	<b>0,99</b>	0,03
<b>argila</b>	-0,08	<b>-0,97</b>
<b>areia</b>	-0,11	<b>0,99</b>
Silte	0,56	-0,16
Expl.Var	3,82	2,05
Prp.Total	0,55	0,29

Aplicando-se a ACP, obteve-se a figura 2, a qual representa o primeiro plano principal. Como se pode observar, as variáveis ADA e micropo estão sobrepostas, isso mostra que elas possuem a mesma representatividade no gráfico, confirmando o resultado da AA, onde ambas formaram o mesmo grupo. As variáveis que estão bem próximas ao círculo unitário, como a Ds, PT, macrop, argila e areia, possuem uma maior contribuição em relação às variáveis que estão mais afastadas, como a Dp, siltarg, GL e Silte. Estes resultados confirmam os obtidos na AF, onde as variáveis próximas ao círculo unitário apresentaram maiores cargas fatoriais.

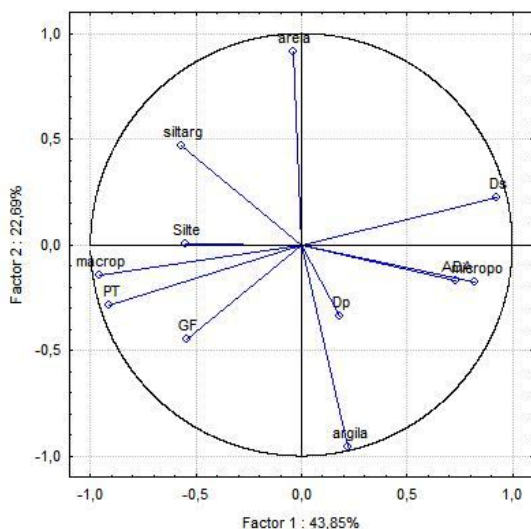


Figura 2. Gráfico da distribuição da nuvem das variáveis aplicando a análise de componentes principais.

As ferramentas multivariadas AA, AF e ACP apresentaram resultados complementares e similares quanto à seleção de indicadores que contribuem mais significativamente para a alteração do solo, indicando que a multivariada é uma ferramenta importante na seleção de indicadores físicos de qualidade do solo.

### CONCLUSÃO

Os indicadores físicos que contribuem para a alteração da qualidade do solo são a macroporosidade, densidade do solo, porosidade total, microporosidade, argila e areia.

### REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. DO P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 3, p. 415-424, 2005.

ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 677-687, 2009.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 147-157, 2009.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

GROBE, J. R.; MARQUES, J. M. O método de análise fatorial aplicado ao estudo de resultados de análise de solos. *Synergismus scyentifica*, v. 01, p. 237-243, 2006.

HAIR JR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. *Análise multivariadas de dados*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

MANLY, B. F. J. *Métodos estatísticos multivariados: uma introdução*. 3. Ed. Porto Alegre. Bookman. 2008. 229p.

PEREIRA, S. A.; OLIVEIRA, G. C. de; SEVERIANO, E. da C.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, J. P. de. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob pastagem e mata. *Global science and technology*, v. 03, n. 02, p.87 – 97, 2010.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K. e FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.29, n.3, p. 407- 414, 2005.

STATSOFT, INC. *Statistica for Windows – Computer program manual*. Tulsa, 2004.

VIEIRA, M. L. e KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p. 1271-1280, 2007.

WEIRICH NETO, P.H.; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L. NEWES, W. L. de C. Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.36, n.4, p.1186-1192, 2006.