

Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró (RN), com o uso de análise multivariada

Discrimination of different soil classes irrigated with saline water in Mossoró region, Rio Grande do Norte, Brazil, with multivariate analysis

Michelangelo Oliveira Silva¹

Maria Betânia Galvão dos Santos Freire²

Alessandra Monteiro Salviano Mendes³

Fernando José Freire⁴

Milton César Costa Campos⁵

Laerte Bezerra Amorim⁶

Resumo

A salinidade do solo constitui um sério problema nas áreas irrigadas, principalmente quando sua intensidade interfere no desenvolvimento das culturas, reduzindo a produção e a produtividade das plantas, a níveis antieconômicos. Este problema é mais frequente em regiões tropicais de clima quente e seco, caracterizado por elevadas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, a exemplo do semiárido do Nordeste brasileiro. O objetivo do presente estudo foi a aplicação de análise estatística multivariada na discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró (RN). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 8 x 2, constituído pela combinação de quatro solos (Latosolo, Cambissolo, Argissolo e Neossolo Flúvico), oito valores de CE (100, 250, 500, 750, 1.250, 1.750, 2.250 e 3.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) e dois de RAS (4 e 12), com três repetições. Avaliou-se a ação conjunta dos atributos químicos como os cátions trocáveis e os cátions e ânions solúveis, na discriminação

1 Engenheiro Agrônomo; Rua Dom Manoel de Medeiros, s/nº, 52.171-900, Recife, Pernambuco, Brasil; Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE; E-mail: angelo_ufrpe@yahoo.com.br

2 Pós-Doutora; Engenheira Agrônoma; Professora do Departamento de Agronomia na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; E-mail: betania@depa.ufrpe.br

3 D.Sc.; Engenheira Agrônoma; Pesquisador da EMBRAPA (Semiárido, Petrolina-PE); E-mail: amendes@cpatsa.embrapa.br

4 Pós-Doutor; Engenheiro Agrônomo; Professor do Departamento de Agronomia na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; E-mail: f.freire@depa.ufrpe.br

5 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Professor na Universidade Federal do Amazonas - UFAM; E-mail: mcesarsolos@gmail.com

6 Engenheiro Agrônomo; Mestrando em Ciência do Solo na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE; E-mail: laerteamorim@yahoo.com.br

dos solos, efetuaram-se análises estatísticas multivariadas de agrupamentos e de componentes principais. A estratégia de agrupamento utilizada foi ligação simples (single linkage), que possibilitou obter agrupamentos sequenciais, aglomerativos, hierárquicos e não superpostos expressando os resultados através de gráficos de esquemas hierárquicos ou dendogramas. A análise estatística multivariada classificou os solos em três grupos de acordo com a similaridade de seus atributos químicos, independente de sua classificação taxonômica.

Palavras chave: salinidade; análise de componentes principais e análise de agrupamento.

Abstract

Soil salinity is a serious problem in irrigated areas, especially when it interferes with plant growth, reducing yield to uneconomic levels. This problem is more common in hot and dry tropical regions, characterized by high evapotranspiration and low precipitation levels, as for example the Brazilian Northeast Semi-Arid. This work aims the application of multivariate statistical analysis for the discrimination of different soil classes irrigated with saline water in Mossoró - RN region. The experimental design was a randomized block, in a factorial arrangement 4 x 8 x 2, formed by four soils (Oxisols, Inceptisol, Ultisol e Typic Haplaquents), eight electrical conductivity levels (100, 250, 500, 750, 1.250, 1.750, 2.250 and 3.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) and two sodium adsorption rates (4 and 12), with three replicates. The joint action of chemical attributes such as exchangeable cations, and soluble cations and anions on soil discrimination was evaluated by multivariate techniques of clustering and principal component analysis. The clustering strategy used was single linkage, which allowed sequential clusters, agglomerative, hierarchical and non-superimposed, expressing the results through hierarchical schemes graphs or dendograms. Multivariate statistical analysis (clustering and principal component analysis) classified the soils into three soil groups according to the similarity of their chemical attributes, independently of their taxonomical classification.

Key words: salinity; principal component analysis and cluster analysis.

Introdução

Solos de regiões áridas e semi-áridas podem apresentar acúmulo de sais e sódio trocável em níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, devido a processos naturais e antrópicos de salinização e sodificação, em consequência do manejo inadequado da irrigação (OLIVEIRA et

al., 2002). Em excesso, os sais prejudicam o crescimento das plantas, em virtude dos efeitos diretos sobre o potencial osmótico e dos íons potencialmente tóxicos presentes em elevadas concentrações na solução do solo (SILVA et al., 2005). Por outro lado, Cavalcante et al. (2005) afirmam que o sódio trocável promove a degradação de algumas propriedades físicas do solo, reduzindo a

infiltração da água e, conseqüentemente, dificultando o crescimento dos vegetais.

A salinidade do solo constitui um sério problema nas áreas irrigadas, principalmente quando sua intensidade interfere no desenvolvimento das culturas, reduzindo a produção e a produtividade das plantas, a níveis antieconômicos (MEDEIROS et al., 2008). Este problema é mais frequente em regiões tropicais de clima quente e seco, caracterizado por elevadas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, a exemplo do semiárido do Nordeste brasileiro, onde se concentram, atualmente, terras intensamente cultivadas com o uso da irrigação, sendo grande o risco de tornar os solos salinizados ou sodificados (ARRUDA et al., 2002).

Segundo Goes (1978), aproximadamente 25% das áreas irrigadas nos perímetros irrigados do Nordeste apresentam problemas de salinidade e, de acordo com DNOCS (1991), a área afetada por sais nos diversos perímetros irrigados varia de 3 a 29,4% da superfície agrícola útil e, ao nível de Nordeste, a percentagem média é de 7,8%, que corresponde a 2.000 hectares. Apesar disso, existem dificuldades no mapeamento de áreas afetadas por sais, pela elevada variabilidade dos atributos dos solos, principalmente em ambientes onde variam os tipos e teores de sais presentes, justificando a baixa ocorrência de trabalhos dessa natureza.

Apesar da grande importância dos métodos estatísticos multivariados para interpretações das variações dos atributos do solo, poucos são os trabalhos que fazem uso desta ferramenta, pois a maioria utiliza métodos estatísticos univariados. Os métodos univariados apresentam limitações, já que o comportamento dos atributos é interpretado isoladamente, não levando em conta interação com os demais atributos presentes. Por outro

lado, a estatística multivariada, utilizando vários atributos forma agrupamentos de populações com características similares e permite a obtenção de um melhor entendimento das variações dos processos que ocorrem no solo (SENA et al., 2002).

A utilização de sistema de classificação numérica e hierárquica revela vários níveis da similaridade e permite visualizar um número variável de agrupamentos; com isso, a variabilidade é minimizada dentro de um grupo e maximizada entre os grupos, a fim de produzir grupos relativamente homogêneos (YEMEFACK et al., 2005). Assim, as técnicas multivariadas, tais como a análise de Cluster e de componentes principais, são utilizadas, principalmente, para classificar e agrupar dados de uma população, baseado nas características de similaridade das variáveis (SENA et al., 2002).

O objetivo do presente estudo foi a discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró (RN), com a aplicação de análise estatística multivariada.

Material e Métodos

Amostras superficiais (0-30 cm) de quatro diferentes classes de solos do Agropólo Açú-Mossoró (RN) foram coletadas, sendo classificadas de acordo com EMBRAPA (2006) como CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico típico (CXve), ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico (PVd), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico argissólico (LVAe), e NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico (RYve). Em seguida, foi instalado e conduzido experimento em casa de vegetação, no Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural

do Semi-Árido, localizado no município de Mossoró (RN). As diferentes classes de solos foram selecionadas com base na gradação textural (Tabela 1).

Tabela 1. Composição granulométrica das amostras do Cambissolo Háplico (CXve), Argissolo Vermelho (PVd), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAe) e Neossolo Flúvico (RYve) estudados, coletadas na profundidade de 0-0,30m

Solos	Areia	g kg ⁻¹	
		Silte	Argila
PVd	893	14	93
LVAe	810	42	148
RYve	252	500	248
CXve	502	234	264

Os solos preparados foram acondicionados em vasos, com uma massa de 10kg/vaso, recebendo irrigação com as respectivas soluções pré-estabelecidas para atender à demanda pela planta (80% da capacidade máxima de retenção de umidade do solo) e um volume adicional para proporcionar a lixiviação, correspondendo a 50% do volume de poros de cada solo. O excesso de água lixiviado foi coletado em tubos plásticos acoplados aos vasos, sendo recolhidos semanalmente, medidos seus volumes e separadas porções de 300mL para as análises químicas.

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos casualizados, avaliado em esquema fatorial 4 x 8 x 2 (quatro solos, oito valores de CE e dois de Razão de Adsorção de Sódio - RAS), com três repetições, totalizando 192 unidades experimentais. As faixas de condutividade elétrica (CE) das águas aplicadas foram 100, 250, 500, 750, 1.250, 1.750, 2.250 e 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, classificadas como C₁, C₂, C₃ e C₄ que, segundo USSL Staff (1954), estão associadas, respectivamente, a baixo, médio, alto e muito

alto risco de salinização em águas de irrigação. As referidas águas foram preparadas na forma de soluções de NaCl e CaCl₂.2H₂O, nos valores de quatro e doze de RAS para todas as águas, com valores correspondentes à maioria das águas de irrigação usadas no Nordeste, sendo estas aplicadas em todas as classes de solos estudadas.

Para cada vaso foi transplantada uma muda de melão do tipo amarelo (*Cucumis melo* L.), cultivar mandacaru, com quinze dias de idade; após o transplante, foi realizada a primeira irrigação. De acordo com a análise do solo, foi realizada adubação aplicando-se a formulação 3-12-12 de N-P-K, e micronutrientes na forma de adubo foliar com base no boro, micronutriente de maior exigência pela cultura (6 kg ha⁻¹), via fertirrigação.

A cada dez dias foram realizadas coletas de lixiviado. Aos 45 dias após o plantio, foi retirada uma sub-amostra de solo de cada vaso para análises químicas, preparando-se o solo, para o segundo cultivo. No segundo cultivo, após oito dias das plantas transplantadas, começou-se a observar tombamento e morte nas plantas, com sintomas de toxicidade por salinidade. Nesse momento as plantas foram coletadas e retirada sub-amostra de solo, repetindo-se o procedimento descrito para o primeiro cultivo.

Nas amostras de solo coletadas tanto após o primeiro como o segundo cultivo foram medidos pH em água na relação (1:2,5) e CE no extrato solo/água de (1:5), e foram determinados os teores dos cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) extraídos por acetato de amônio (USSL STAFF, 1954). No lixiviado coletado a cada dez dias, foram medidos o pH e a CE, determinando-se também os cátions e ânions solúveis (USSL STAFF, 1954).

Com o objetivo de avaliar a ação conjunta dos atributos químicos como os

cátions trocáveis e os cátions e ânions solúveis, na discriminação dos solos, efetuaram-se análises estatísticas multivariadas de agrupamentos e de componentes principais. A estratégia de agrupamento utilizada foi ligação simples, que possibilitou obter agrupamentos sequenciais, aglomerativos, hierárquicos e não superpostos expressando os resultados através de gráficos de esquemas hierárquicos ou dendrogramas. O coeficiente de semelhança utilizado para a análise de agrupamentos, possibilitando a elaboração dos dendrogramas, foi a distância euclidiana média entre os solos estudados.

A análise de agrupamento foi complementada com a de componentes principais, para obter um conjunto menor de combinações lineares das variáveis que preservasse a maior parte da informação fornecida pelas variáveis originais. Dessa forma, houve uma seleção dos atributos a partir dos originais, obtendo-se um grupo menor de atributos. Esse grupo menor foi reduzido a apenas dois componentes principais (PC_1 e PC_2), porém trazendo as informações originais, e sendo representado por unidades identificadas em um gráfico bidimensional. Além disso, foi possível fazer uma pré-visualização dos prováveis agrupamentos e classificar os atributos pela sua ordem de importância na constituição dos agrupamentos.

Resultados e Discussão

Os dendrogramas obtidos pela análise de agrupamento para o primeiro e segundo ano de cultivo são apresentados nas figuras 1 e 2. Nesta análise, as amostras (classes de solos) foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos mais ou menos homogêneos.

No primeiro ano de cultivo, foi admitido um corte na distância de ligação de 95,0 (Figura 1), que permitiu uma divisão clara de três grupos. Isso indica que, com o uso conjunto dos atributos físicos e químicos, foi possível ordenar os dados em três grupos de solos, o G1, englobando os dados do Cambissolo Háplico (CXve), o G2 com os atributos de duas classes de solos (LVAe e PVd) e o G3 agrupando os dados do Neossolo Flúvico (RYve), evidenciando, assim, que os solos pedogeneticamente mais desenvolvidos (LVAe e PVd) apresentaram-se em um mesmo grupo e com menor variabilidade dos atributos do solo. Esse resultado deve-se ao fato de que solos mais desenvolvidos ou mais maduros apresentam comportamento mais homogêneos e menos variável de seus atributos quando comparados a solos menos desenvolvidos G1 e G3 (CXve e RYve) que apresentaram maior variação. Segundo Young e Hammer (2000), esse comportamento diferenciado dos solos ocorre em função de sua natureza genética, confirmando a premissa da análise de agrupamento, que tem por finalidade reunir, por algum critério de classificação, as unidades amostrais em grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos.

Segundo Campos et al. (2007), o uso de técnicas estatísticas multivariadas associadas aos conceitos de solos permitem observar variação dos atributos do solo, constituindo assim uma tentativa de reduzir o erro e de entender as seqüências de processos pedogenéticos, além de elucidar a participação e ordem de importância das variáveis do solo.

No segundo cultivo, a análise de agrupamento também foi aplicada com sucesso no exame e separação dos tipos de solos (Figura 2), admitindo-se uma distância

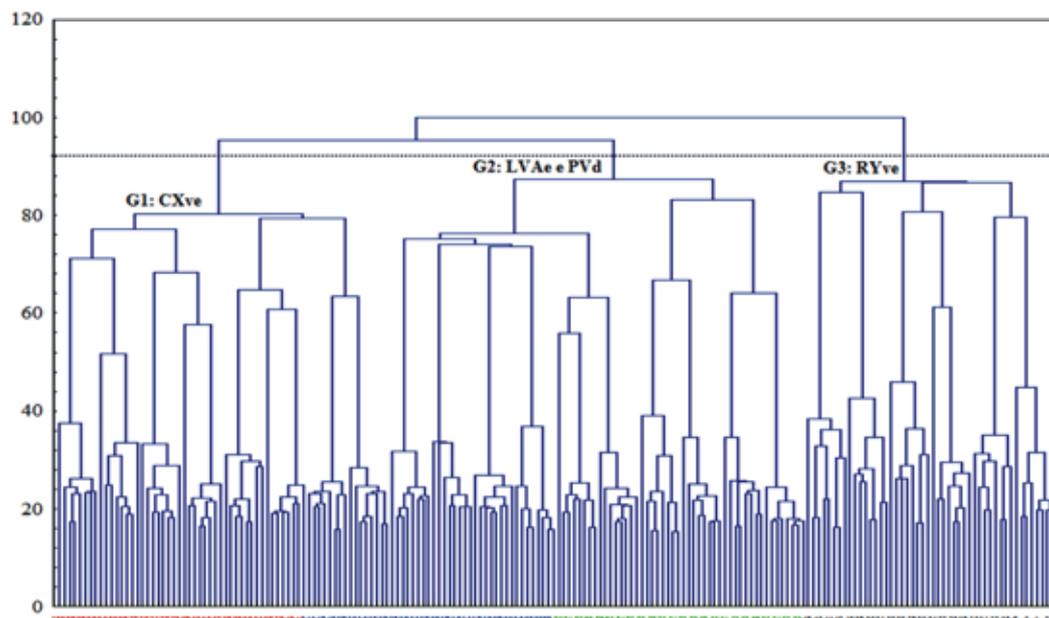


Figura 1. Dendrograma das interrelações dos solos estudados e lixiviados, referente ao conjunto de variáveis químicas (pH, CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻) do primeiro cultivo, pela distância euclidiana média

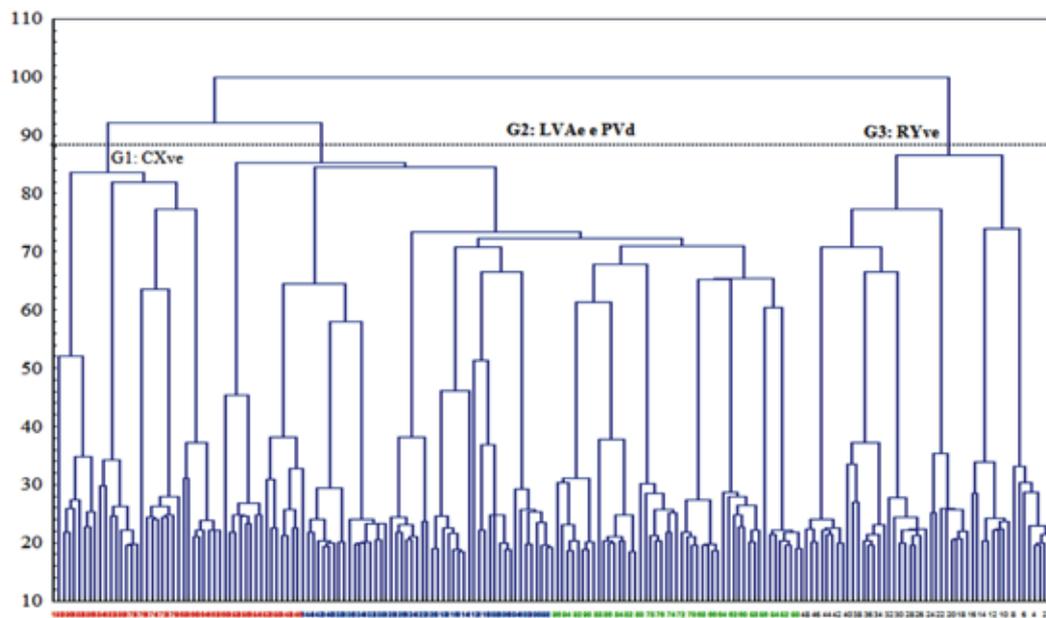


Figura 2. Dendrograma das interrelações dos solos estudados, referente ao conjunto de variáveis químicas (pH, Cl, HCO₃CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) do segundo cultivo, pela distância euclidiana média

de ligação com corte de 88,0 observou-se a formação nítida de três grupos, que individualizam os grupos de solos, Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho e Neossolo Flúvico correspondendo aos grupos G1, G2 e G3, respectivamente (Figura 2). A diferenciação dos três grupos foi marcante, evidenciando, assim, as particularidades de cada classe de solo, pois as características dos atributos de um mesmo grupo são semelhantes e diferentes do comportamento de outros grupamentos (VALLADARES et al., 2008). A idéia de que a estatística multivariada permite visualizar uma variabilidade mínima dentro de um grupo e máxima entre os grupos, é aplicável para este caso.

Os agrupamentos formados pela análise de Cluster confirmam o aumento da variabilidade dos atributos com a diminuição da idade pedogenética dos solos (Figuras 1 e 2), sendo maior no Cambissolo Háplico e Neossolo Flúvico e o contrário ocorrendo no Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho.

A análise de componentes principais dos atributos do solo vem confirmar a análise de grupamento para ambos os plantios (Figura 3), com a formação de três grupos, que correspondem à diferenciação de três tipos de solos. Esses grupamentos (Figura 3) apresentam pontos de sobreposição, sendo atribuídos às zonas de transição entre as classes de solos. Os grupos formados apresentaram dois componentes principais

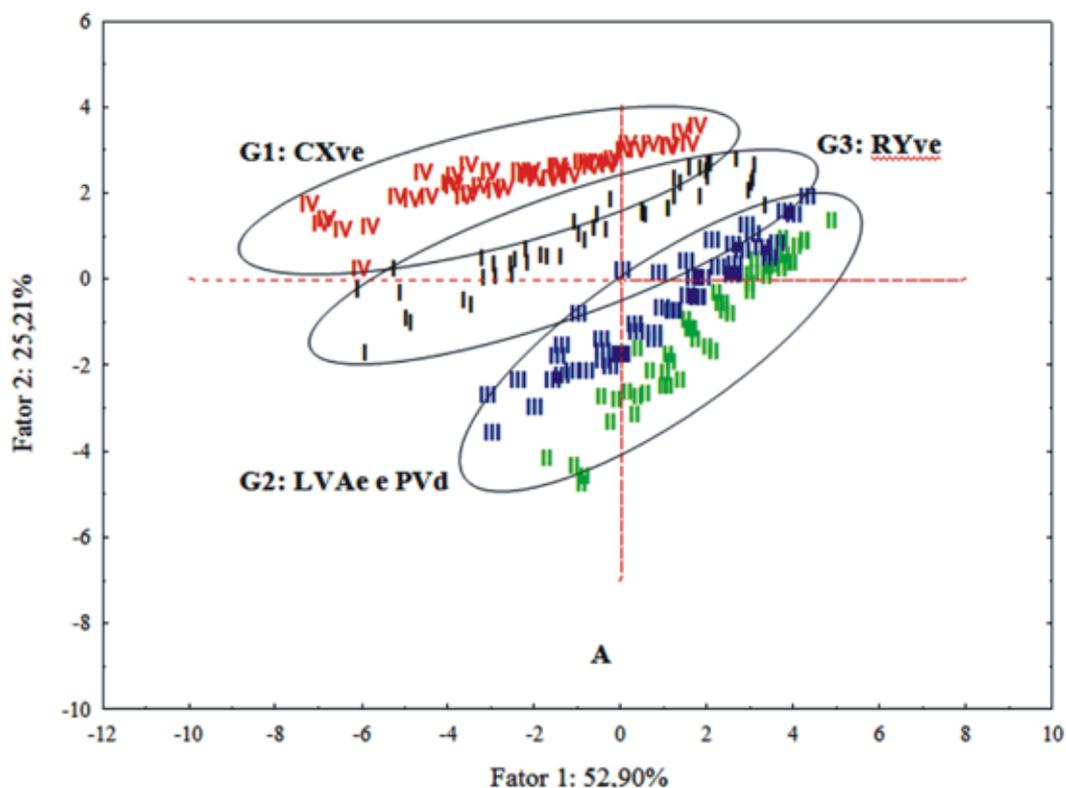


Figura 3. Análise multivariada de componentes principais para as variáveis químicas: A (primeiro cultivo) - pH, CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ e B (segundo cultivo) - pH, CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺

que explicaram 78,11% e 84,35% da variação total do solo, para o primeiro e segundo cultivo, respectivamente (Figura 3). Esses resultados são semelhantes àqueles encontrados por Freddi et al. (2008) e superiores aos valores dos fatores encontrados por Splechtna e Klinka (2001), que explicam em torno de 60% da variação total do solo para o regime de nutrientes em diferentes solos florestais do litoral montanhoso canadense.

De acordo com Vaselli et al. (1997), o uso da combinação de variáveis independentes por meio desta técnica permite a discriminação dos grupos, de tal maneira que as taxas de erro na classificação foram minimizados, fornecendo assim, informações importantes para uma interpretação correta do planejamento da capacidade de uso do solo e entendimento da paisagem, comportamento dos atributos do solo, bem como a sua distribuição espacial, pois os solos foram separados pelo conjunto de seus atributos em Cambissolo Háplico, G1,

Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, G2 e Neossolo Flúvico, G3 independente dos tratamentos dados. Freddi et al. (2008) ressaltam a importância das técnicas estatísticas multivariadas nas investigações da gênese e classificação dos solos, visto que o conjunto dos atributos diagnósticos do solo traz informações fundamentais sobre seu comportamento, formação e enquadramento em unidades taxonômicas.

Os coeficientes de correlação entre as variáveis originais e as duas primeiras componentes principais, percentagem de variância retida pelos dois fatores e a ordem de importância das variáveis são apresentados nas tabelas 2 e 3, para o primeiro e segundo cultivo, respectivamente. No primeiro cultivo, as variáveis que mais contribuíram com a primeira componente, com correlações negativas, e em ordem decrescente foram: Na, CE, pH e Mg. No segundo cultivo, observaram-se também com correlação

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (Y1 e Y2), ordem de importância das variáveis originais na discriminação e agrupamento das classes de solos estudadas no primeiro cultivo

Variáveis	Coeficiente de correlação dos componentes principais			
	$r(Y_1, X_j)$	Ordem de importância	$r(Y_2, X_j)$	Ordem de importância
pH solo	-0,85	3	0,42	6
CE solo	-0,86	2	0,22	11
Ca solo	-0,80	6	0,39	8
Mg solo	-0,81	5	0,27	10
Na solo	-0,89	1	-0,21	12
K solo	-0,74	9	0,51	5
pH lixiviado	-0,78	7	0,51	5
CE lixiviado	-0,83	4	-0,41	7
Ca	-0,81	5	-0,08	13
Mg	-0,77	8	-0,35	9
Na	-0,21	12	-0,88	1
K	-0,14	13	-0,83	2
Cl	-0,64	10	-0,55	4
HCO ₃	-0,51	11	-0,64	3
% variância retida	52,90		25,21	
% variância acumulada	52,90		78,11	

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (Y1 e Y2), ordem de importância das variáveis originais na discriminação e agrupamentos das classes de solos estudadas no segundo cultivo

Variáveis	Coeficiente de correlação dos componentes principais			
	$r(Y_1, X_j)$	Ordem de importância	$r(Y_2, X_j)$	Ordem de importância
pH solo	-0,76	5	0,33	4
CE solo	-0,92	1	-0,10	6
Ca solo	-0,88	3	0,40	2
Mg solo	-0,90	2	0,26	5
Na solo	-0,83	4	-0,39	3
K solo	-0,57	6	-0,73	1
% variância retida	66,87		17,48	
% variância acumulada	66,87		84,35	

negativa a CE, Mg, Ca e o Na. Pode-se, então, constatar que os fatores que mais contribuíram tanto no primeiro quanto no segundo plantio foram: Mg, CE e Na.

Conclusões

A análise estatística multivariada (agrupamento e componentes principais)

classificou os solos em três grupos de solos, pelo Cambissolo Háplico, pelo Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho e outro pelo Neossolo Flúvico, com diferentes características entre si;

A utilização das técnicas multivariadas nos estudos dos solos pode-se apresentar como uma ferramenta importante no monitoramento ambiental.

Referências

- ARRUDA, F. P.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; PEREIRA, I. E.; GUIMARÃES, M. A. M. Emissão/abscisão de estruturas reprodutivas do algodoeiro herbáceo, cv. CNPA 7H: efeito do estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, p.21-27, 2002.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L.A. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.519-529, 2007.
- CAVALCANTE, I. H. L.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F.; BECKMANN, M. Z.; CAMPOS, M. C. C.; GONDIN, S. C. Crescimento e produção de duas cultivares de algodão irrigadas com águas salinizadas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.108-111, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Grupos de Coordenação Executiva das Operações Agrícolas (GOA)**. Situação em 30/04/1991. Fortaleza, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Brasília, Embrapa, 2006. 369p.

FREDDI, O. S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.953-961, 2008.

GOES, E. S. O. O problema da salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e ação de pesquisa, com vistas ao seu equacionamento. In: Reunião Sobre Salinidade em Áreas Irrigadas. Fortaleza, **Anais...**: SUDENE/DNOCS. 1978, p.1-34.

MEDEIROS, J. F.; CARMO, G. A.; GONDIM, A. R. O.; GHEYI, H. R.; TAVARES, J. C. Produção de duas cultivares de bananeiras submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.39, p.362-368, 2008.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA, J. F. W. F.; MARQUES, F. A. **Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia**, PE. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.37, p.1477-1486, 2002.

SENA, M. M.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J.; TOKESHI, H.; POPPI, R. J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam. v.67, p.171-181. 2002.

SILVA, E. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; SOUSA, J. I. G. Efeito da salinidade da água de irrigação sobre os atributos hídricos de um Neossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.389-396, 2005.

SPLECHTNA, B. E.; KLINKA, K. Quantitative characterization of nutrient regimes of high-elevation forest soils in the southern coastal region of British Columbia, Canadá. **Geoderma**, Amsterdam. v.102, p.153-174, 2001.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY – USSL STAFF. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, U.S. Department of Agriculture, 160 p. 1954.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.285-296, 2008.

VASELLI, O.; BUCCIANI, A.; SIENA, C.; BINI, C.; CORADOSSI, N.; ANGELONE, M. Geochemical characterization of ophiolitic soils in a temperate climate: a multivariate statistical approach. **Geoderma**, Amsterdam, v.75, p.117-133, 1997.

YEMEFACK, M.; ROSSITER, D. G.; NJOMGANG, R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. **Geoderma**, Amsterdam. v.125, p.117-143, 2005.

YOUNG, F. J.; HAMMER, R. D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.64, p.989-998, 2000.