



Atributos físico-químicos de um Neossolo por meio de análise multivariada na cultura do eucalipto

Elizeu de Souza Lima^(1*); Zigomar Menezes de Souza⁽¹⁾; Rafael Montanari⁽²⁾; Ingrid Nehmi de Oliveira⁽¹⁾; Lenon Henrique Lovera⁽¹⁾; Diego Alexander Aguilera Esteban⁽³⁾; Leila Pires Bezerra⁽¹⁾

- (1) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil, 13083-875. (*apresentador, elizeu.florestal@gmail.com).
(2) Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, SP, Brasil, 15385-000.
(3) Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSSAVIA), Bogotá, Colombia.

RESUMO: O objetivo foi identificar por meio de análises multivariadas os atributos físico-químicos do solo que melhor explicam a variabilidade da cultura do eucalipto. Em 2015, no município de Três Lagoas (MS), em uma área experimental de eucalipto foi demarcado uma malha amostral com 50 pontos. Foram coletados e analisados os atributos de planta do eucalipto em função dos atributos físico-químicos de um Neossolo Quartzarênico. A classificação em grupos foi feita por três métodos: método de agrupamentos hierárquico, método não-hierárquico k-means e análise de componentes principais. A análise de componentes principais permitiu identificar dois grupos que explicam 54,96% da variabilidade total dos dados, onde estes grupos são constituídos pela umidade gravimétrica, areia, argila, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, cálcio e alumínio que se destacaram como componentes principais e se mostraram com maior poder de explicação da variação da altura do eucalipto e do diâmetro à altura do peito. Os agrupamentos das médias padronizadas determinaram que, áreas com os maiores teores de Al apresentaram as menores alturas do eucalipto. Conclui-se que, a análise de componentes principais indicou os atributos físico-químicos que mais contribuem para o desenvolvimento do eucalipto.

Termos de indexação: Componentes principais, manejo do solo, atributos do solo.

INTRODUÇÃO

Os plantios comerciais de eucalipto têm sido cada vez mais indicados para fins de celulose e papel, em razão de sua excelente produção volumétrica e da boa qualidade da madeira. Esse bom desempenho da cultura é em grande parte resultante do intenso melhoramento genético realizado com a espécie, do manejo adequado dos povoamentos e o uso de ferramentas que auxiliam nas tomadas de decisões para que se tenha um aumento de produtividade da madeira.

A área ocupada com eucalipto no Brasil é de aproximadamente 5,6 milhões de hectares, fazendo desse cultivo o quarto em área ocupada no país (PERPETUA et al., 2017). O desenvolvimento da indústria brasileira de base florestal é decorrente da alta produtividade, que atinge em média 36 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ nos plantios de eucalipto (NOGUEIRA FILHO et al., 2017). Concomitantemente, o volume exportado de celulose vem crescendo gradativamente, fazendo do Brasil o segundo maior exportador de celulose com 18,8 milhões de toneladas ano (IBÁ, 2017).

Para manter a alta produtividade, é necessário o estudo sobre a sustentabilidade relacionando a mesma ao desenvolvimento de métodos para avaliação da qualidade do solo e desenvolvimento da planta, traduzindo-os para forma de indicadores de qualidade do solo (COUTINHO et al., 2017).

Com o emprego das técnicas multivariadas é possível descrever a similaridade em sistema de cultivo, como também, apresentar as variáveis da química e física do solo que explicam a maior variabilidade possível em um conjunto de dados que não poderiam ser analisados antes com a estatística básica (ALBUQUERQUE et al., 2015). As técnicas multivariadas permitem avaliar simultaneamente um conjunto de características levando-se em consideração as correlações entre elas (PAYE et al., 2012).

Diante do exposto, objetivou-se identificar por meio de análises multivariadas os atributos físico-químicos do solo que melhor explicam a variabilidade da cultura do eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em 2015 no município de Três Lagoas, MS, nas coordenadas de 20°27' de latitude sul e na 52°29' de longitude oeste, com precipitação média anual de 1.300 mm e temperatura média de 23,7 °C. O clima é caracterizado com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo no qual a malha experimental foi instalada é



classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2013).

Em março foi realizada a correção do solo com a utilização de $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico com 30% de CaO, 12% de MgO e PRNT de 85% para elevar a saturação por bases a 50% e, posteriormente o plantio das mudas de *Eucalyptus urograndis* clone E13 em um espaçamento de $3,0 \times 2,5 \text{ m}$ (entre linhas e entre plantas).

Em setembro, foram definidas as direções X e Y do sistema de coordenadas cartesianas e de acordo com o espaçamento das plantas efetuando o estaqueamento global das malhas experimentais. A malha experimental foi constituída de 5 transeções, cada uma contendo 10 pontos de coleta, totalizando 50 pontos amostrais. Cada transeção seguiu o plantio de eucalipto em linhas, sendo que o espaçamento amostral foi de $7,5 \times 3,0 \text{ m}$.

Os atributos do solo e da planta foram coletados no entorno de cada árvore representante do ponto amostral. Os atributos de planta avaliados foram: altura das árvores (ALT), medida com o auxílio de uma régua graduada em metros e o diâmetro altura do peito (DAP), medido a uma altura de 1,30 m do solo com o auxílio de um paquímetro digital.

Para determinação dos atributos físico-químicos do solo, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas na camada de 0,00-0,20 m. Os atributos físicos avaliados foram determinados de acordo com a metodologia da Embrapa (2017). Os atributos químicos foram determinados conforme Raij et al. (2001).

A análise estatística foi realizada por meio da multivariada onde foram aplicados três métodos: análise de agrupamentos hierárquica, análise de agrupamentos não-hierárquica (*k-means*) e análise de componentes principais (HAIR JUNIOR et al., 2009; SILVA et al., 2010). Para a realização das análises utilizou-se o software Statística 7.0 (STATSOFT, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de componentes principais (Figura 1), foram considerados os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2), pois estes conseguem reter simultaneamente a quantidade suficiente da informação total contida no conjunto das variáveis originais, que foi definido por 18 atributos, o que possibilita sua localização com um ponto em um gráfico bidimensional.

A análise de componentes principais (ACP) foi aplicada no intuito de verificar a relação entre os atributos do solo e os diferentes tratamentos avaliados. Na ACP utilizou-se um conjunto dos atributos de planta e físico-químicos do solo para a

camada de 0,00-0,20 m considerando apenas os dois primeiros componentes principais (Figura 1).

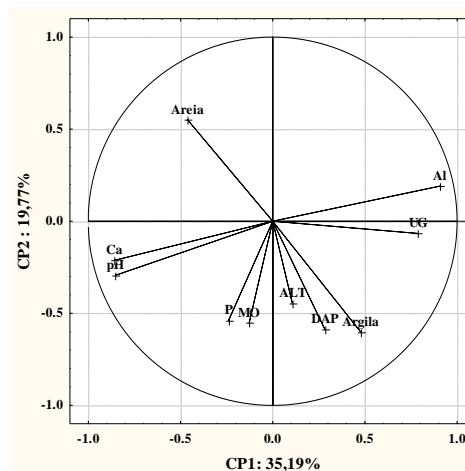


Figura 1 - Gráfico biplot dos principais componentes gerados a partir dos atributos de eucalipto e solo.

Verificou-se que, nos dois primeiros eixos, houve uma variância que explica 54,96% da variabilidade total dos dados, sendo 35,19 e 19,77% pelo 1º e 2º eixos, respectivamente (Figura 1). Os agrupamentos foram semelhantes aos encontrados por Coscione et al. (2014), onde estes ocorreram de acordo com a variabilidade do solo e, assim como este trabalho, os principais atributos se encontraram distribuídos nos respectivos quadrantes. Oliveira et al. (2018) avaliando a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos em solos com diferentes texturas e diferentes manejos, também verificaram a distribuição dos atributos nos diferentes quadrantes, exceto para floresta e pastagem que formaram um agrupamento único.

Na análise de componentes principais com as variáveis de maiores escores, foram extraídos dois componentes principais que, de forma acumulada, explicam 54,96% da variabilidade total dos dados (Tabela 1). O primeiro componente explicou 35,19% da variabilidade total dos dados da área experimental, apresentando correlações significativas com os atributos: umidade gravimétrica, pH, cálcio e alumínio para a profundidade de 0,00-0,20 m, onde o pH e cálcio se correlacionaram de maneira negativa, enquanto a umidade volumétrica e alumínio se correlacionaram positivamente.



Tabela 1 - Coeficientes de correlação dos componentes principais por meio de análise multivariada para o eucalipto e atributos solo.

Atributos	CP1	CP2
Atura do Eucalipto	0,106	-0,445
Diâmetro Altura do Peito	0,283	-0,587*
Umidade Gravimétrica	0,789*	-0,066
Areia	-0,462	0,551*
Argila	0,477	-0,601*
Fósforo Disponível	-0,239	-0,539*
Matéria Orgânica	-0,128	-0,553*
Potencial Hidrogeniônico	-0,854*	-0,294
Cálcio	-0,859*	-0,213
Alumínio	0,907*	0,191
Autovalor	3,421	1,878
Variância Explicada (%)	35,19	19,77

*correlações consideradas na interpretação do componente principal.

O segundo componente principal explicou 19,77% da variabilidade dos dados e apresentou correlações significativas com o diâmetro a altura do peito, areia, argila, teor de fósforo e matéria orgânica do solo, destes, apenas a areia teve correlação positiva e, demais atributos correlacionaram-se negativamente.

A representação gráfica biplot que caracterizou o alumínio e umidade gravimétrica como um dos atributos que influenciam no desenvolvimento do eucalipto. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2009) que, avaliando o impacto de plantios florestais com diferentes espécies arbóreas para os atributos físicos e químicos no cerrado, observaram que, o fator que mais influenciou no crescimento do eucalipto em cultivo convencional foi o teor de alumínio, umidade gravimétrica e porosidade do solo.

A correlação das variáveis e a representação gráfica nos componentes principais (Tabela 1 e Figura 1) permitiram caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação e diferenciação dos ambientes. O atributo de planta DAP e os atributos de solo ARG, P, MO, pH e Ca permitiram discriminar o agrupamento 1 (correlações negativas), enquanto para o agrupamento 2, os atributos de solo responsáveis pela discriminação foram a umidade gravimétrica, areia e alumínio.

Na Figura 2, visualiza-se o posicionamento dos agrupamentos na área experimental. Foram detectados três agrupamentos, sendo que, o agrupamento 1 apresentou 20%, o 2 apresentou 64%,

estando este distribuído em toda a área avaliada e, o agrupamento 3 apresentou 16% da área total.

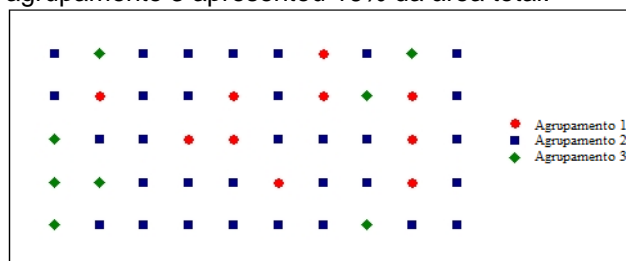


Figura 2 - Distribuição espacial dos grupos gerados a partir dos atributos de eucalipto e solo.

O dendrograma obtido pela análise de agrupamentos hierárquica, em que a variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre os acessos para o conjunto de variáveis consideradas tornou possível fazer uma divisão de três grupos (Figura 3).

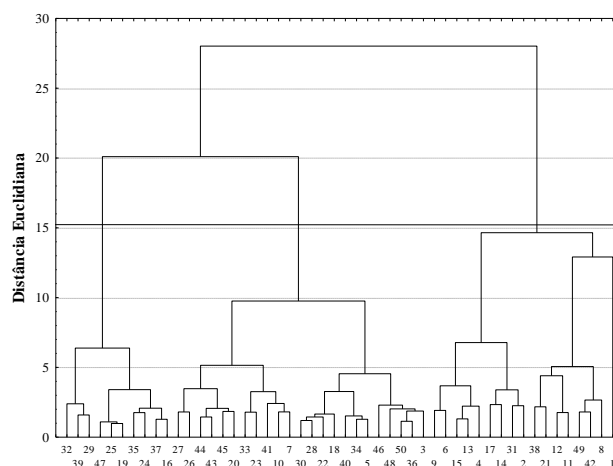


Figura 3 - Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos gerados a partir dos atributos do eucalipto e solo.

Nesta análise, as amostras de solos foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos homogêneos (Figura 3). Assim, foi admitido um corte na distância euclidiana de ligação 15, indicando que o uso do conjunto de dados para os atributos de planta, físicos e químicos, foi possível ordenar os dados em grupos, conforme seu respectivo tratamento.

Na Figura 4, são apresentadas as médias padronizadas dos atributos de plantas e solo para cada grupo, segundo análise de agrupamentos não hierárquica k-means. Os agrupamentos foram bem distintos, onde o agrupamento 1 teve baixos valores



de alumínio, resultando na altura média do eucalipto, porém, para o agrupamento 3, o maior teor de alumínio no solo foi o que resultou nas menores alturas do eucalipto. No agrupamento 2, os teores médios de matéria orgânica, fósforo e argila resultaram nas maiores alturas do eucalipto.

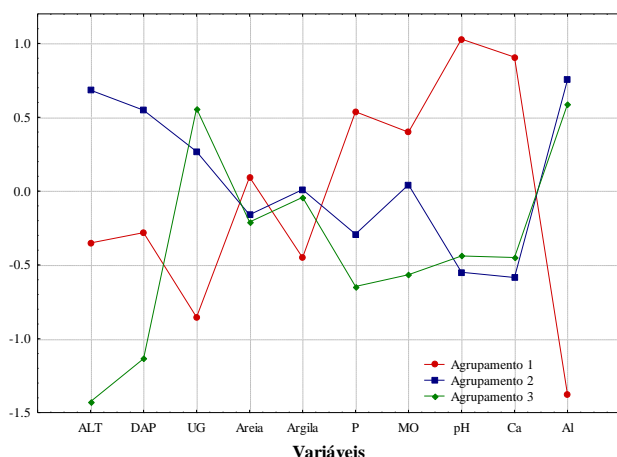


Figura 4 - Médias padronizadas geradas a partir dos atributos de eucalipto e solo para cada grupo segundo análise de agrupamentos não-hierárquica k-means.

As médias padronizadas demonstraram haver uma tendência onde os maiores teores de alumínio fizessem que houvesse menos teores de Ca e pH e, conseqüentemente menores alturas do eucalipto. Esses dados corroboram com Oliveira et al. (2017) que, avaliando atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo com espécies arbóreas, verificaram que, quanto maior o teor de alumínio no solo, menor é o pH, resultando em menor desenvolvimento das espécies arbóreas.

CONCLUSÕES

A análise dos componentes principais indicou que a umidade gravimétrica, areia, argila, teores de fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, cálcio e alumínio no solo são os atributos físico-químicos que mais contribuem para o desenvolvimento do eucalipto.

O uso das técnicas de análises multivariadas ajudou a verificar as similaridades ou as diferenças no desenvolvimento do eucalipto com base nos atributos físico-químicos de um solo arenoso.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. M. et al. Floristic cluster analysis in Araucaria Forest System Faxinal. Brazilian Journal

of Applied Technology for Agricultural Science, 8: 27-36, 2015.

COSCIONE, A. R. et al. Solução do solo e análise de componentes principais para monitoramento da aplicação de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38: 654-1662, 2014.

COUTINHO, F. S. et al. Attributes of soil under agriculture, grazing and three succession stages of forest. Floresta e Ambiente, 24: 1-11 2017.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 2013, 353p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. revisada e ampliada. Brasília: Embrapa-CNPQ. 2017, 573p.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON R. E.; TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman, 2009. 687 p.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório IBÁ 2017. 80p. 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em 07 mai. 2018.

NOGUEIRA FILHO, F. P. et al. Viabilidade econômica da produção de eucalipto no polo moveleiro de Marco-Ceará. Revista IPecege, 3: 22-34, 2017.

OLIVEIRA, T. P. et al. Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista de Agricultura Neotropical, 4: 72-78, 2017.

OLIVEIRA, I. A. et al. Chemical and physical pedoindicators of soils with different textures: spatial variability. Environmental Earth Sciences, 77: 81-92, 2018.

PAYE, H. S. et al. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. Revista Brasileira de Ciência do solo, 36: 1031-1041, 2012.

PERPETUA, G. M. et al. Estratégias de territorialização das corporações agroextrativistas na América Latina. Revista Nera, 20: 61-87, 2017.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

SILVA, L. G. S. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44: 613-620, 2009.

SILVA, A. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34: 15-22, 2010.

STATSOFT. Statistica 7.0 Software. Tucksá: Statsoft, 2005.