



Análise da significância estatística entre os atributos físicos de um Neossolo quartzarênico sob a cultura de eucalipto com aplicação de resíduo da extração da celulose⁽¹⁾

Rafael Montanari⁽²⁾; Elizeu de Souza Lima⁽³⁾; Lenon Henrique Lovera⁽³⁾; Marcelo Rinaldi da Silva⁽⁴⁾; César Gustavo da Rocha Lima⁽²⁾; Morel de Passos e Carvalho⁽²⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da FAPESP processo número: 2013/25329-5 e do Incentivo à captação de recursos-FUNDUNESP processo número: 2333/002/14-PROPe/CDC

⁽²⁾ Professor Doutor; Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia (UNESP-FE/IS); Ilha Solteira, SP; montanari@agr.feis.unesp.br; etaugustus@hotmail.com; morel@agr.feis.unesp.br

⁽³⁾ Estudantes de Pós-Graduação em Sistemas de Produção; Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia (UNESP-FE/IS); Ilha Solteira, SP; elizeu.florestal@gmail.com, lenon_lovera@hotmail.com

⁽⁴⁾ Graduado em Tecnologia em Gestão Ambiental, Faculdades Integradas de Santa Fé do Sul (FUNEC); Santa Fé do Sul, SP; mrsilva@adm.feis.unesp.br

RESUMO: O eucalipto vem se destacando pelo seu grande potencial produtivo de madeira e a aplicação de resíduos vem crescendo pelo benefício de aumento do volume de madeira. Com isso, a presente pesquisa objetivou analisar, entre os três tratamentos empregados, as diferenças existentes entre os valores médios dos atributos físicos do solo trabalhado. O trabalho foi realizado na Empresa Eldorado Celulose e Papel, localizada no município de Três Lagoas (MS), onde foi trabalhada com 3 malhas geoestatísticas (tratamentos), tais como **calcário**, **lama de cal+oxyfertil** e **testemunha** para a coleta dos dados experimentais que geraram os atributos físicos (resistência à penetração, RP; umidade gravimétrica, UG; umidade volumétrica, UV, densidade do solo, DS, densidade da partícula, DP; porosidade total, PT e granulometria) do solo, sendo os resultados efetuados a análise de comparações de médias pelo teste t utilizando o Software R. O teste F para os atributos físicos do solo para os tratamentos calcário, lama de cal+Oxyfertil e testemunha, verificou-se diferença significativa para 87% dos atributos estudados. Os resultados da avaliação da RP mostraram que o tratamento Lama de cal+oxyfertil foi o que apresentou maiores valores de RP. Para os tratamentos Calcário e cal+oxyfertil, a aplicação destes podem ser considerados como condicionadores do solo.

Termos de indexação: comparação de médias e aplicação

INTRODUÇÃO

O cultivo de eucalipto vem se destacando por apresentar grande potencial produtivo de madeira para a produção de celulose e papel,

uma vez que o consumo de papel no mundo tende a aumentar com o aumento da população. Por isso, a silvicultura se sobressai por proporcionar grande potencial ambiental e socioeconômico para o país. A utilização de biomassa produzida por eucalipto tem se destacado como um potencial de energia renovável e uma alternativa para substituição e diminuição do consumo de combustíveis fósseis (Protásio et al, 2013).

A indústria de papel e celulose gera diversos resíduos, em torno de 48 t de para cada 100 t de celulose produzida deparando-se assim com problemas de ordem ambiental quanto à destinação desses resíduos (Rodrigues, 2004). Um desses resíduos é a lama de cal que possui potencial para neutralizar a acidez do solo em áreas florestais e agrícolas, suprimindo nutrientes às plantas. Nesse sentido, constituem alternativa ao uso do calcário por sua composição de natureza alcalina como CaO, CaOH, SiCO₃, além de CaCO₃ e MgCO₃ (Medeiros et al., 2009).

A lama de cal é formada predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO₃) removido no processo de clarificação das impurezas, sendo composto por carbonatos, hidróxidos e sulfetos, principalmente de cálcio e sódio derivado do processo de separação da celulose, que é extraída da madeira por meio de ataque alcalino (Almeida et al., 2008).

O estudo da relação entre a capacidade produtiva de povoamentos de *Eucalyptus* e de atributos do solo favorece o manejo racional do sítio florestal evitando a degradação de seus atributos físico-químicos e o baixo desenvolvimento das árvores, visando à produção sustentável, mostrando-se importante na interpretação de resultados com base na estrutura da sua variabilidade espacial natural,



principalmente da interação entre os atributos físico-químicos do solo com o crescimento vegetal e, sobretudo contribuindo para a aplicação de técnicas de silvicultura de precisão viabilizando intervenções localizadas na floresta, com a exatidão e a precisão adequada (Rosa Filho et al., 2011).

Diante do exposto, a presente pesquisa objetivou analisar, entre os três tratamentos empregados, as diferenças existentes entre os valores médios dos atributos físicos do solo trabalhado.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do local de origem dos dados

O trabalho foi realizado no período entre junho/2014 e dezembro/2014, na Empresa Eldorado Celulose e Papel, localizada no município de Três Lagoas (MS), na latitude 20º 27' S e na longitude 52º 29' W. Sua precipitação média anual é de 1300 mm e a temperatura média de 23,7°C. O tipo climático é Aw, segundo a classificação de Koeppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo que abrigou a malha experimental foi classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Caracterização da Lama de Cal: CaO: 24% e MgO: 0,1%. *Caracterização do Produto Oxyfertil® 6030F, Fertilizante Mineral Simples registrado no MAPA:* 1) Características Químicas: CaO: 60% e MgO: 30%, Reação com água: reação exotérmica com água, formando hidróxidos (Ca(OH)₂ e parcialmente Mg(OH)₂) liberando na ordem de 210 cal/g de calor; solubilidade ~0,8g/L (25°C); pH (solução a 25°C): 12,4; 2) Características físicas: Distribuição granulométrica (antes de reação com água): 0-3mm e Distribuição granulométrica (após reação com água): 0-0,2mm.

Implantação e condução do experimento na malha experimental

Foi trabalhada com 3 malhas geoestatísticas (tratamentos), tais como **calcário**, **lama de cal+oxyfertil** e **testemunha** para a coleta dos dados experimentais, que geraram os atributos do solo a serem pesquisados. Os atributos físicos do solo foram: 1) DS (densidade do solo), 2) DP (densidade da partícula), 3) PT (porosidade total), 4) RP (resistência à penetração), 5) UG (umidade gravimétrica), 6) UV (umidade volumétrica), 7) Areia, 8) Silte e 9) Argila.

As mudas de eucalipto foram plantadas seguindo as recomendações adotadas pela empresa, obedecendo a um espaçamento regular de 3 m x 3 m. As amostragens dos atributos físicos do solo foram realizadas em uma grade amostral contendo 50 pontos, com espaçamento de 9 m x 6 m, com aproximadamente (1 ha). A coleta dos atributos de solo foi realizado no dia 16 de setembro de 2014. As profundidades de coleta foram: 1) 0-0,20 m e 2) 0,20-0,40 m. Nessa área experimental após a adubação de plantio para a cultura do eucalipto não foram realizados nenhum outro manejo de adubação de cobertura.

Coleta e determinação dos atributos pesquisados

Os atributos determinados foram do solo, individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral.

Atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo foram a densidade do solo (DS), densidade da partícula (DP), porosidade total (PT), resistência à penetração (RP) e umidade gravimétrica (UG). A resistência à penetração (RP) foi avaliada com o penetrômetro de impactos (Stolf, 1991) e calculada segundo expressão contida em Rosa Filho et al. (2009):

$$RP = \{ \{ 5,581 + 6,891 \cdot \{ [N/(P-A)] \cdot 10 \} \} \cdot 0,0981 \dots \dots (1)$$

onde: **RP** é a resistência mecânica do solo à penetração (MPa); **N** é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura; **A** e **P** as leituras antes e depois da realização dos impactos (cm). A amostra deformada do solo para determinação da umidade gravimétrica (**UG**) será coletada no mesmo momento que o da resistência mecânica, com um trado de caneca, sendo quantificada em [kg kg⁻¹].

Segundo metodologia da EMBRAPA (1997), a densidade do solo (**DS**) será calculada pelo método do anel volumétrico [kg dm⁻³] e a densidade da partícula, pelo método do balão volumétrico [kg dm⁻³]. A porosidade total, em [m³ m⁻³], será calculada por:

$$PT = [1 - (DS/DP)] \dots \dots \dots (2)$$

Foi efetuada a análise de comparações de médias pelo teste t utilizando o Software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando se aplicou o teste F para os atributos físicos do solo para os tratamentos calcário, lama de cal+Oxyfertil e testemunha, verificou-se diferença significativa para 87% dos atributos estudados, os quais foram RP1, RP2, UG1, UG2, UV2, DS2, PT2, Areia1, Areia2, Silte1, Silte2, Argila1 e Argila2, com valores de F de 11,77;



11,92; 20,17; 39,92; 52,49; 31,90; 30,72; 39,14; 47,28; 4,79; 6,97; 77,24; 72,54, sendo todos significativos a 1% de probabilidade (Quadro 1).

O correu interação entre os tratamentos e as camadas avaliadas, os valores médios estão apresentados na Quadro 1. A resistência do solo a penetração (RP) agrega os efeitos da DS e da UG em condições do solo necessárias para o crescimento das raízes. Os resultados da avaliação da RP mostraram que o tratamento Lama de cal+oxyfertil foi o que apresentou maiores valores de RP em relação ao tratamento Calcário e a testemunha. Esses valores elevados foram devido ao cal+oxyfertil apresentar grânulos menores e mais reativos, fazendo com que preencham os espaços porosos do solo, aumentando assim a RP do solo, já em relação ao calcário, como apresenta grânulos maiores, grande maioria ficou na superfície do solo, demorando um tempo maior para reagir com o solo.

Com o aumento em profundidade ocorreu, simultaneamente, o aumento da RP, UG e DS. Em ambos os tratamentos, o aumento da RP ocorreu devido a utilização dos implementos agrícolas na área da presente pesquisa. Apesar da semelhança dos valores da RP na camada de 0,20-0,40 m, o valor da test obteve maior aumento em profundidade, de tal modo, o calcário e o cal+oxyfertil mostraram como bons condicionadores do solo, resultando em menores valores de DS e maior volume de PT.

Quadro 1: Teste F aplicado aos atributos físicos de um Neossolo quartzarênico nos tratamentos **calcário, lama de cal+oxyfertil e testemunha**

| Atributos | F calc | Médias | | |
|---------------------------------------|---------|----------|-----------------------|----------|
| | | Calcário | Lama de cal+oxyfertil | Test |
| RP1 (MPA) | 11,77** | 0,60 c | 2,98 b | 0,94 a |
| RP1 (MPA) | 11,92** | 2,87 c | 3,38 b | 3,88 a |
| UG1 (kg kg ⁻¹) | 20,17** | 0,03 c | 0,03 a | 0,03 b |
| UG2 (kg kg ⁻¹) | 39,92** | 0,03 b | 0,04 a | 0,04 a |
| UV2 (m ³ m ⁻³) | 52,49** | 0,04 b | 0,06 a | 0,06 a |
| DS2 (kg dm ⁻³) | 31,90** | 1,36 c | 1,45 b | 1,50 a |
| DP1 (kg dm ⁻³) | 1,32 | 2,70 a | 2,70 a | 2,69 a |
| DP2 (kg dm ⁻³) | 0,29 | 2,70 a | 2,70 a | 2,70 a |
| PT2 (m ³ m ⁻³) | 30,72** | 0,50 a | 0,46 b | 0,44 c |
| Areia1 (g kg ⁻¹) | 39,14** | 903,99 a | 888,90 c | 894,56 b |
| Areia2 (g kg ⁻¹) | 47,28** | 900,10 a | 883,56 c | 887,17 b |
| Silte1 (g kg ⁻¹) | 4,79** | 28,96 b | 31,91 a | 33,03 a |
| Silte2 (g kg ⁻¹) | 6,97** | 28,06 b | 31,36 a | 32,63 a |
| Argila1 (g kg ⁻¹) | 77,24** | 67,05 c | 79,19 a | 72,00 b |
| Argila2 (g kg ⁻¹) | 72,54** | 71,84 c | 85,08 a | 80,57 b |

(1) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Para a DS, houve diferenças entre os tratamentos, porém, os valores de DS na camada de 0,00-0,20 m, não possível realizar a amostragem devido ao solo apresentar 90 % de areia em sua composição e baixo teor de UG. O tratamento que teve maior DS foi a testemunha, onde mostra que nos outros tratamentos, a aplicação do calcário e do cal+Oxyfertil melhorou a qualidade física deste solo.

A umidade do solo UG e UV houve diferença estatística, na Tabela 1 observa-se que a diferença nas camadas do solo foi a partir da segunda casa decimal, mas ainda significativa ao F calculado. Com isso, mesmo tendo diferença entre os tratamentos, o solo estava abaixo da capacidade de campo, que segundo Kiehl (1979) relatou que a umidade volumétrica em si deve variar entre 0,33 e 0,22 m³ m⁻³, assim, mesmo a cultura do eucalipto ser bastante rústica, os valores baixos de UG e UV pode interferir no desenvolvimento e no objetivo final, que é o volume de madeira.

O fato do solo apresentar baixa UG e UV é devido a sua granulometria, pois conforme no Quadro 1, que em ambas as profundidades, os teores de Areia estão acima de 88,3 %. Solos com elevada porcentagem de areia secam rápido por serem muito porosos e permeáveis, chegando logo as camadas mais profundas. A granulometria não interfere apenas na parte física, como também na parte química e biológica do solo.

A densidade da partícula (DP) foi o único entre os tratamentos que não ocorreu diferença significativa, pois a DP e também a granulometria, não são influenciados pelo preparo da área, apenas com a ação do intemperismo, juntamente com o clima, relevo e material de origem, sendo de grande importância na formação dos solos.

CONCLUSÕES

Para os tratamentos Calcário e cal+oxyfertil, podem ser considerados como condicionadores do solo, pois foram os que apresentaram menores valores de DS e maiores valores de PT.

A testemunha foi o que teve maior aumento em profundidade da RP, mostrando que a aplicação dos calcário e Cal+oxyfertil reduziram os valores da RP do solo.

O calcário foi o que teve melhor resultado, pois teve menores valores de RP e DS, maiores valores de PT, porem teve os menores valores de umidade.



AGRADECIMENTOS

À FAPESP processo número: 2013/25329-5 e ao Incentivo à captação de recursos-FUNDUNESP processo número: 2333/002/14-PROPe/CDC pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. C.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; MECABÔC JUNIOR, J.; ALMEIDA, D. Influência da adição de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1775-1784, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia: relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; BATISTELLA, F.; GRAH, J. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose

em um solo altamente tamponado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1657-1665, 2009.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. *Scientia Forestalis*, 42:15-28, 2013.

RODRIGUES, C. M. Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda* L. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004, 109p.

ROSA FILHO, G. CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 33:283-293, 2009.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M.P.; MONTANARI, R.; SILVA, J.M.; SIQUEIRA, G.M.; ZAMBIANCO, E.C. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. *Bragantia*, 70:439-446, 2011.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15:229-35, 1991.