

APLICABILIDADE DA ANÁLISE FATORIAL NA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE *Eucalyptus grandis*. Ruth Maria Bianchini de Quadros

¹, Antonio Francisco Jurado Bellote ² Etelvino Henrique Novotny ³ Itamar Bognola ² Alcides Cardoso ² Jair Mendes Marques ⁴. Universidade Federal do Paraná, Rua Bom Jesus, n. 650, 80.035-010, Curitiba-PR; EMBRAPA/CNPFloréstas, Cx. P. 319, 83.411-000, Colombo-PR, bellote@cnpf.embrapa.br; enovotny@bohr. química; Universidade Federal do Paraná, Depto.de estatística, Cx. P. 19081, ufpr.br; jairmm@ufpr.br.

Palavras chave: nutrição, solos, análise de fatores.

1 OBJETIVOS

No Estado de São Paulo-Brasil a produtividade do *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden até 3 anos de idade é bastante variável (aproximadamente 20 a 120 m³/ha.ano).

Para analisar esta produtividade, são usados diversos métodos como, sintomas visuais, análises do tecido da planta, análises de solo e ensaios biológicos. No entanto, as interpretações destes métodos são bastante variadas (níveis críticos, relação nutricional, DRIS, etc). Neste trabalho foi utilizada a Análise de Fatores para fazer esta interpretação, partindo do princípio que existe colineariedade entre algumas variáveis. Também será feita menção sobre a influência da classe de solo no crescimento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram demarcadas parcelas de 300 m² em talhões de plantios de *E. grandis* com 3 anos de idade, localizados em 17 municípios no Estado de São Paulo e coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-30 cm; amostras foliares e do suborizonte orgânico L_n (litter novo) em 5 classes de solo: Areia Quartzosa (AQ n = 47); Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LV n= 27); Latossolo Vermelho-Escuro textura média, argilosa e muito argilosa (LE n = 40); Cambissolo textura média, argilosa e muito argilosa (C n =25) e Podzólico Vermelho-Amarelo textura média e argilosa (PV n = 12) num total de 151 amostras, subdivididas por solo conforme número entre parênteses.

As coletas amostrais foram feitas durante o período de 22/02 a 18/03/1994 em plantios localizados nos seguintes municípios: Biritiba Mirim (23 ° 37'S, 46 ° 00'E), São José dos Campos (22 ° 59'S, 46 ° 00'E), São Luiz do Paraitinga (23 ° 09'S, 45 ° 16'E), Paraibuna (23 ° 31'S, 45 ° 39'E), Itararé (24 ° 10'S, 49 ° 13'E), Itatinga (23 ° 15'S, 48 ° 36'E), Angatuba (23 ° 17'S, 48 ° 28'E), Itapetininga (23 ° 33'S, 48 ° 15'E), São Miguel Arcanjo (23 ° 51'S, 47 ° 46'E), Pilar do Sul (23 ° 54'S, 47 ° 46'E), Mogi Guaçu (22 ° 07'S, 47 ° 03'E), Pedreira (22 ° 45'S, 46 ° 53'E), Itapira (22 ° 23'S, 46 ° 44'E), Brotas (22 ° 11'S, 48 ° 07'E), Altinópolis (21 ° 09'S, 47 ° 27'E), São Simão (21 ° 31'S, 47 ° 33'E) e Santa Rosa de Viterbo (21 ° 34'S, 47 ° 27'E).

Foram realizadas três Análises Fatoriais para 92 variáveis preditoras e 6 variáveis preditas, agrupadas da seguinte forma:

PRODUÇÃO: Altura Dominante (HDom), Altura Comercial, circunferência a altura do peito (CAP), Volume com casca, altura e diâmetro de copa.

SOLO: Teores de N, P, K, C, Ca + Mg, Na, pH, Al, H + Al, argila, silte, areia fina, areia grossa, S (soma de bases), CTC_{pH 7}, V % (saturação de bases) e v % (Saturação de bases da CTC efetiva = m % - 100 %) em todas as 4 profundidades avaliadas. Num total de 52

variáveis medidas e 16 calculadas

FOLIAR: Teores de N, P, K, C, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B, e Al em folhas maduras das copas das árvores e no suborizonte orgânico L_n. Num total de 24 variáveis.

Para a definição dos fatores, as variáveis foram padronizadas para evitar problemas com unidades e magnitude, assim como, influência indevida de uma variável com alta variância na estimativa dos pesos dos fatores. Em seguida testou-se os métodos de Máxima Verossimilhança e Componentes Principais e, como os resultados não foram discrepantes, utilizou-se o método dos Componentes Principais que proporcionou uma matriz de resíduos menor.

A escolha do número dos fatores foi baseada no método de KAISER (autovalores > 1) que proporcionou um menor número de fatores e fácil interpretação após a rotação varimax. A seguir obteve-se o coeficiente dos escores fatoriais.

Foram definidos 2 fatores (pesos > 0,60) para o grupo PRODUÇÃO que explicaram 88 % da variância; 11 fatores para o grupo SOLO (85 % da variância) e 9 fatores para o grupo FOLIAR (73 % da variância).

Um dos pressupostos deste método é a inexistência de correlação significativa entre as variáveis dentro do fator. Apenas entre fatores pode existir correlação.

De posse destas 22 novas variáveis ajustou-se um modelo matemático médio (para todos os solos). Para o ajuste da equação utilizou-se o método *Stepwise forward* do programa *STATISTICA*®, utilizando a tolerância mínima de 0,60.

Devido ao fato de algumas das análises foliares não terem sido efetuadas, perdeu-se 14 variáveis nas classes AQ (38 das 47 iniciais) e LE (35 das 40 iniciais) na análise de regressão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão demonstradas as médias de algumas variáveis por classe de solo e a média geral (todas as classes). A média geral foi obtida de 151 observações sendo que o número de observações por classe de solo encontra-se entre parênteses.

TABELA 1 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DE VARIÁVEIS DETERMINADAS EM PLANTIOS DE *E. grandis* EM SÃO PAULO.

solo	HDom (m)			CAP (cm)			Volume com casca (m ³)		
	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín
AQ (47)	16.5	20.2	11.1	42.4	49.8	33.0	0.11	0.18	0.05
LV (27)	18.4	21.9	13.7	43.8	50.8	33.3	0.13	0.19	0.06
LE (40)	19.4	22.6	16.5	45.8	55.2	37.0	0.14	0.25	0.10
C (25)	20.6	22.8	16.4	49.0	56.2	40.0	0.17	0.23	0.09
PV (12)	20.1	24.3	16.2	48.4	54.5	40.3	0.17	0.25	0.08
MÉDIA	18.5	24.3	11.1	45.1	56.2	33.0	0.14	0.25	0.05

Pode-se observar que nas classes de solo LE, C e PV, o crescimento médio do *E. grandis* está acima da média geral. Por outro lado, os valores mínimos atingidos para todas as variáveis na AQ e no LV foram menores que nos demais solos. Nestes classes, a produtividade mínima variou de 22 m³/ha.ano a 26 m³/ha.ano.

Na Tabela 2 estão demonstrados os fatores determinados e suas respectivas variáveis originais. Pode-se observar nesta Tabela que no FATOR PRODUÇÃO, os dois

fatores obtidos foram bastante distintos, e como deseja-se produzir madeira não interessa avaliar aspectos relativos ao desenvolvimento da copa, que em casos de plantios comerciais, podem ser mais dependentes do espaçamento, do que do próprio desenvolvimento da árvore como observa-se em condições naturais. No FATOR SOLO, chama atenção a distinção dos fatores Bases 0-5 cm e Bases 5-30 cm. Isto poderia indicar que conforme citado por literatura, os primeiros centímetros do solo são realmente os que sofrem maior influência de tratos culturais e ciclagem, e que esta influência provavelmente é menor ou atinge de uma maneira similar as demais profundidades. A não inclusão dos teores de K e Na nestes fatores poderia indicar que estes elementos apresentam pouca participação na Soma de Bases (S) e Saturação de Bases (V%), ou também, que como são íons facilmente lixiviados, o seu comportamento seria diferente de Ca e Mg que não lixiviam com facilidade.

TABELA 2 VARIÁVEIS GERADAS PELA ANÁLISE DE FATORES

FATORES	VARIÁVEIS ORIGINAIS
FATOR PRODUÇÃO 1 Madeira	altura dominante, altura comercial, circunferência a altura do peito e volume com casca
FATOR PRODUÇÃO 2 Copa	diâmetro e altura de copa verde
FATOR SOLO 1 Areia fina	areia fina nas profundidades de 0 a 30 cm
FATOR SOLO 2 Bases 0-5 cm	Ca+Mg ⁽¹⁾ , pH _{CaCl2} ⁽¹⁾ , S e V % e v %
FATOR SOLO 3 Bases 5-30 cm	Ca+Mg, S, V % e v %
FATOR SOLO 4 Carga bipolar*	Al ⁽¹⁾ , H+Al ⁽²⁾ , argila, silte, CTC _{pH 7} e areia grossa
FATOR SOLO 5 Na	Na ⁽¹⁾ de 0 a 30 cm
FATOR SOLO 6 K 10-30 cm	K ⁽¹⁾ 10-30 cm
FATOR SOLO 7 P	Fósforo disponível ⁽¹⁾ 10-30 cm
FATOR SOLO 8 pH	pH _{CaCl2} 5-30 cm
FATOR SOLO 9 K 0-10 cm	K ⁽¹⁾ 0-10 cm
FATOR SOLO 10 P	Fósforo disponível ⁽¹⁾ 5-10 cm
FATOR SOLO 11 C e N	Carbono ⁽³⁾ e Nitrogênio ⁽⁴⁾ 0-30 cm
FATOR FOLIAR 1 Proteína	Nitrogênio ⁽⁴⁾ , Fósforo, Zinco e Cobre foliares ⁽⁶⁾
FATOR FOLIAR 2 K	K foliar ⁽⁶⁾ e no suborizonte L _{n1} ⁽⁶⁾
FATOR FOLIAR 3 Cátions ácidos foliares	Ferro e Alumínio foliares ⁽⁶⁾
FATOR FOLIAR 4 Cátions ácidos L _n	Ferro e Alumínio no suborizonte orgânico L _n ⁽⁶⁾
FATOR FOLIAR 5 Ca	Cálcio foliar ⁽⁶⁾ e no suborizonte L _n ⁽⁶⁾
FATOR FOLIAR 6 Boro e Carbono	Carbono ⁽³⁾ e Boro foliar ⁽⁶⁾
FATOR FOLIAR 7 Mg	Magnésio foliar ⁽⁶⁾ e no suborizonte L _n ⁽⁶⁾
FATOR FOLIAR 8 C	Carbono no suborizonte L _n ⁽⁶⁾
FATOR FOLIAR 9 Mn	Manganês foliar ⁽⁶⁾ e no suborizonte L _n ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ BLOISE *et al.* (1979); ⁽²⁾ QUAGGIO (1983); ⁽³⁾ PAVAN *et al.* (1992); ⁽⁴⁾ TEDESCO *et al.* (1985); ⁽⁵⁾ EMBRAPA (1979); ⁽⁶⁾ Extraídos por Digestão Via Seca (HILDEBRAND, 1977).

* areia grossa foi inversamente proporcional as demais variáveis= fator bipolar

Nos FATORES FOLIARES 2, 5, 7 e 9, ressalta-se a associação entre os teores foliares de K, Ca, Mg e Mn, respectivamente e seus teores no suborizonte orgânico L_n. Da mesma forma é interessante a inclusão num mesmo fator de Fe e Al (FATOR 3 e 4), C e B (FATOR 6) e N, P, Zn e Cu (FATOR 1). Estes fatores podem ajudar a entender o processo de ciclagem destes elementos.

O modelo matemático desenvolvido para avaliar o crescimento médio de *E. grandis* com base na Análise de Fatores tem como variável predita o FATOR

PRODUÇÃO 1 Madeira, e os Fatores SOLO e FOLIAR como preditoras. O resultado da análise está demonstrado abaixo.

Média geral (n = 137)	B	p	R = 0.725 R² = 0.525	Erro padrão = 0.6922
Intercepto	0,075908	0,201871		
Fator FOLIAR 2 K	0,496406	0,000000		
Fator SOLO 4 Carga bipolar	0,322791	0,000000		
Fator FOLIAR 7 Mg	0,210050	0,000628		
Fator FOLIAR 8 C	-0,204919	0,000977		

Observa-se neste modelo que 3 fatores influenciaram positivamente o crescimento e apenas um negativamente.

Pela interpretação do Fator K, pode-se inferir primeiramente que tanto os teores foliares como no suborizonte L_n são dependentes entre si. A mesma interpretação vale para o Fator Mg. Os valores originais médios destes dois nutrientes (Mg foliar= 0,28 ug/g; Mg L_n = 0,17 ug/g; K foliar= 0,67 ug/g e K L_n = 0,23ug/g) demonstram que sua diminuição no suborizonte orgânico em relação às folhas favoreceu o crescimento.

O Fator Carga bipolar foi o que englobou maior número de variáveis, tanto com relação a textura, como retenção de cátions (Tabela 2). Chama-se atenção para o caráter bipolar deste fator, ou seja, quanto maior a fração areia grossa, menor o conteúdo das demais variáveis. Isto poderia indicar o efeito negativo da fração areia grossa na retenção de água e nutrientes. Fica demonstrada também, a associação entre as propriedades físicas e químicas dos solos no crescimento do Eucalipto. Pela análise dos dados originais (dados não mostrados) pode-se comprovar ainda, que a inclusão dos teores de Al^{3+} e $H + Al$ neste fator, deve-se ao fato de que de uma maneira geral, o Eucalipto cresce em solos onde a maior parte da CTC é formada por estes cátions, já que todos os solo analisados são provenientes de rochas ácidas.

A influência negativa do Fator C, poderia indicar que a decomposição do *litter* esteja afetando o crescimento. A inclusão deste fator, comprova que é importante analisar não só as folhas maduras da copa, como também os horizontes orgânicos formados por estas no piso florestal.

Como este modelo representa o crescimento médio do Eucalipto sem distinção de classe de solo, o seu resultado poderia indicar as variações químicas e físicas destes solos e sua influência na composição química foliar e dos horizontes orgânicos e, desta maneira não ter significado específico por classe de solo. Um exemplo disto pode ser visualizado no modelo abaixo proposto para o LV.

Regressão 3= LV (n = 27)	B	p	R = 0.858 R² = 0.740	Erro padrão= 0.736
Intercepto	-0.328163	0.012039		
Fator SOLO 1 Areia fina	-0.269263	0.001609		
Fator FOLIAR 4 Cátions ácidos L_{n1}	-0.605970	0.000341		
Fator FOLIAR 6 Carbono e Boro	0.26872	0.041133		

Como pode-se observar neste modelo, os fatores que afetaram o crescimento no LV são distintos dos fatores que o afetaram de uma maneira média. Ressalta-se também, a inclusão do Fator Areia fina, indicando que a variação deste fator nesta classe de solo é prejudicial ao crescimento.

4 CONCLUSÕES

Com base nestes resultados pode-se concluir que a Análise Fatorial associada à Análise de Regressão pode ser um método alternativo para avaliar a produtividade do *E. grandis*. No entanto, a Análise Fatorial deve levar em consideração a classe de solo.

A Análise Fatorial permitiu reduzir o número de variáveis, agrupando as que apresentam um comportamento semelhante, facilitando desta forma a discussão.