Amostragem de toras de árvores de *Eucalyptus grandis* selecionadas para finalidades de serraria e energia

Paulo Eduardo Telles dos Santos[(1)], Osmir José Lavoranti[(1)], Laurindo Salante[(2)]

[(1)]Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, Km 111, Caixa Postal 319, CEP 83411-000, Colombo-PR. E-mail: peduardo@cnpf.embrapa.br, osmir@cnpf.embrapa.br [(2)]Planflora Mudas Florestais, Rodovia BR 153, Km 96, CEP 89700-000 Concórdia-SC. E-mail: planflora@concordia.psi.br

Resumo - A partir da avaliação de dez características tecnológicas de madeira de eucalipto para fins de serraria e energia, desenvolveu-se procedimento estatístico multivariado para se determinar a seqüência de toras a ser amostrada, de forma a representar acumuladamente toda a variação estatística presente na árvore e, com isso, estabelecer a intensidade adequada de amostragem. Neste estudo, foram utilizadas 40 toras oriundas de quatro árvores de *Eucalyptus grandis* aos 18 anos de idade procedentes de Concórdia, SC. Com o uso de técnicas de regressão multivariada de componentes principais e seleção por etapas, chegou-se à conclusão que amostrando-se apenas duas toras, correspondentes à primeira (0,05 m a 2,60 m) e quarta (8,85 m a 11,40 m) posições dentro da árvore, foi possível abranger 99,2 % de toda a variação inicialmente detectada. No caso de optar-se por utilizar apenas uma única tora, a indicação recaiu para a quarta tora da árvore, a qual representou 97,5 % de toda a variação contida nos dados originais. Para a referida população, o procedimento estatístico adotado evidenciou a possibilidade de se reduzir substancialmente os elevados gastos, de tempo e de recursos financeiros, associados a avaliações dessa natureza, sem comprometer a qualidade da informação estatística original contida em todas as toras que seriam convencionalmente amostradas.

Termos para indexação: Eucalipto, madeira serrada, metodologia de amostragem, regressão multivariada.

Log sampling of *Eucalyptus grandis* trees submitted to selection for sawn timber and energy purposes

Abstract - By the assessment of ten technological traits of eucalypt wood for sawn timber and energy purposes, it was developed a multivariate statistical procedure in order to determine the sequence of logs to be sampled, in such a way to represent all statistical variation contained within the tree and, accordingly, to establish the appropriate sampling intensity. In the present work, it was used a total of 40 logs from four trees of *Eucalyptus grandis* provenance Concórdia-SC aged 18 years. By using principal components regression analysis and stepwise selection techniques, it was showed that only two logs, corresponding to the first (0.05 m to 2.60 m) and fourth (8.85 m to 11.40 m) positions into the tree, contained 99.2 % of the total variation detected originally. In the case of adopting a single log, the recommendation was over the fourth log, which represented 97.5 % of the total amount of the original variation. For the referred population, the statistical procedure contributed substantially to reduce the high time-consuming and financial costs that are normally associated to studies oriented to this goal, without affecting the original statistical information exhibited by the whole group of logs that would be usually sampled.

Index terms: Eucalypt, sawn timber, sampling methodology, multivariate regression.

Introdução

O crescimento da população brasileira e da atividade econômica implica a busca de alternativas sustentáveis para a produção de matérias-primas. Nesse cenário, a madeira de eucalipto desempenha um papel crucial, pois o Brasil reúne vantagens excepcionais para o desenvolvimento dessa árvore, como abundância de áreas para fins silviculturais, condições de crescimento altamente favoráveis e conhecimentos tecnológicos reconhecidos internacionalmente.

Especificamente sobre a utilização da madeira de eucalipto pelas indústrias de produtos sólidos, as utilizações de destaque recentes são na fabricação de

móveis, peças estruturais, esquadrias e componentes de acabamento de interiores. Comparativamente a outros materiais, a madeira apresenta vantagens inigualáveis como alta resistência mecânica em relação ao peso, facilidade de manuseio, excelentes propriedades isolantes, longa durabilidade, excepcional versatilidade e agradável sensação despertada nos usuários em relação à aparência, tato e odor.

Em trabalho de melhoramento genético focado na obtenção de populações melhoradas e de clones comerciais, há necessidade de se avaliar árvores individuais considerando diversas características simultaneamente. Resultados de pesquisas realizadas com *Eucalyptus grandis* (SANTOS et al., 2003) demonstraram a possibilidade de se obter ganhos com a seleção de progênies para a melhoria das propriedades físicas e mecânicas da madeira, tendo em vista a existência de variabilidade genética e herdabilidades relativamente altas para a população estudada. Santos et al. (2004a) verificaram que as variações ao longo do perfil longitudinal do tronco das árvores, até a altura de 5,2 m, para diversas características tecnológicas de interesse para a produção de serrados, foram significativas e não seguiam um padrão único. Com base nesses resultados, fica evidente que a questão da amostragem para caracterização de árvores para fins de melhoramento é de importância primordial.

Vários trabalhos indicam a existência de relação direta e de ordem moderada a elevada entre a densidade básica (em alguns artigos, substituída pela massa específica ou pela densidade aparente) da madeira e as propriedades mecânicas (DELLA LUCIA; VITAL, 1983; LISBÔA, 1993; BHAT; THULASIDAS, 1997; SANTOS et al., 2004b; DIAS; LAHR, 2004; SCANAVACA JUNIOR ; GARCIA, 2004). Para a avaliação da maior ou menor propensão à ocorrência de defeitos oriundos de tensões de crescimento, a avaliação do encurvamento de peças de madeira obtidas da periferia das toras tem se mostrado apropriada como indicador do nível de tensão original da árvore, conforme relatado por Schacht et al. (1998) e por Santos et al. (2004b), ao estudarem clones de *Eucalyptus urophylla* e progênies de *Eucalyptus grandis*, respectivamente.

Considerando a multiplicidade de caracteres de importância para seleção de matrizes e / ou clones experimentais, o tempo necessário para as avaliações, os custos envolvidos, além das dificuldades inerentes à obtenção dos dados de campo, conduziu-se o presente trabalho com o objetivo de desenvolver uma metodologia de determinação de intensidade de amostragem de toras de árvores adultas de *Eucalyptus grandis* para fins de serraria e uso energético.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento do estudo foram avaliadas quatro árvores de *Eucalyptus grandis* da procedência geográfica Coffs Harbour e procedência de sementes Waterhoutboom – Lowveld Routine, África do Sul (25°00' latitude Sul; 31º00' longitude Leste; altitude 800 m; precipitação 1.500 a 1.600 mm/ano; temperatura média anual 19 °C), existentes em um talhão comercial da empresa Sadia, em Concórdia, SC (27°14' latitude Sul; 51º57' longitude Oeste; altitude 650 m; precipitação 1.800 mm/ano; temperatura média anual 20 °C).

A idade das árvores estudadas foi de 18 anos. Dentro do programa de resgate de material genético com vistas à indicação de clones potenciais, essas árvores foram submetidas a uma etapa de seleção fenotípica de campo com base em crescimento e caracteres silviculturais. Esses indivíduos foram resgatados geneticamente por meio de enxertos de material de copa, além de serem representativos do conjunto de 38 árvores pré-selecionadas dentro do programa de seleção clonal.

Após a derrubada com o uso de motosserra, foram mensuradas a altura total da árvore e a altura comercial (até o diâmetro de aproximadamente 20 cm). Os troncos das árvores, de comprimentos correspondentes ao limite do diâmetro comercial, foram posteriormente seccionados em toras de 2,55 m de comprimento, até serem obtidas 10 toras por árvore (numeradas de T1 a T10, correspondentes às posições desde a base até o topo do tronco). As toras (40 unidades) foram devidamente identificadas.

Durante a etapa de seccionamento do fuste, foram retirados discos de cerca de 5 cm de espessura justapostos à posição base e topo de cada tora, tendo-se ao final 11 discos por árvore (Figura 1). Tais discos foram posteriormente fracionados por meio de serra fita circular numa porção de cerca de 10 cm de largura na direção do diâmetro e utilizados para determinações tecnológicas de densidade básica (DB, em g/cm³), retração volumétrica (RETVOL, em %) e poder calorífico (PC, em kcal/kg) no Laboratório de Tecnologia da Madeira da *Embrapa Florestas*.

Pearson (Tabela 2). Observou-se apenas uma

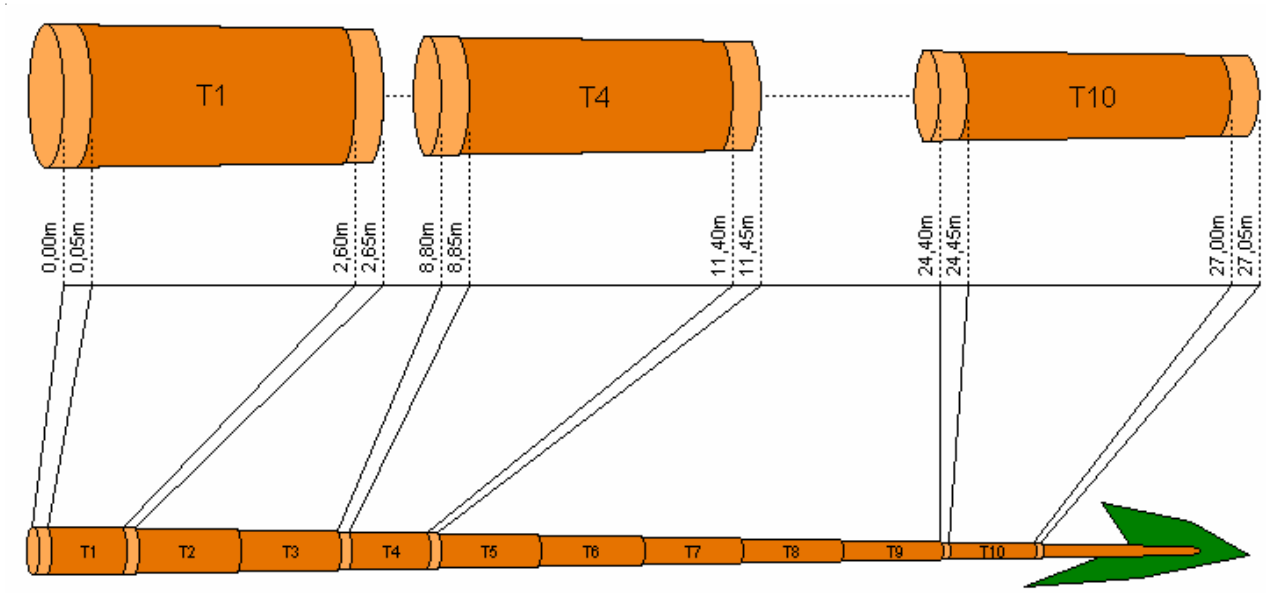

Figura 1. Representação esquemática das posições relativas das toras e dos discos das árvores estudadas.

Antes do desdobro, foram avaliados os diâmetros sem casca, diâmetros do cerne, rachaduras e deslocamentos da medula nas duas extremidades de todas as toras. Procedeu-se à marcação, por meio de um gabarito de acrílico transparente, na extremidade correspondente à posição topo da tora, do contorno do pranchão radial a ser obtido para fins de avaliação de propriedades mecânicas através de corpos-de-prova.

A serraria utilizada para o desdobro das toras foi dotada de uma serra de fita simples. O esquema de corte foi paralelo à casca, fazendo-se as rotações da tora necessárias, com vistas à obtenção das peças pré-definidas nessa operação.

O procedimento de desdobro permitiu obter uma peça radial de madeira de cerca de 2,5 polegadas de espessura, suficiente para acomodar a variação esperada no sentido medula-casca e também para permitir a obtenção dos corpos-de-prova nas dimensões preconizadas pelas normas técnicas.

Além da prancha central, também foram obtidas e separadas as primeiras tábuas comerciais de 1 polegada de espessura de cada tora para fins de avaliação de rachaduras no estado verde, encurvamento e presença de defeitos (nós, ataque de insetos, kino e apodrecimento), formando um conjunto de 40 peças. Todas as peças permaneceram apoiadas na borda até o refilamento e encerramento das avaliações.

As quarenta pranchas radiais foram encaminhadas às instalações do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET) - UNIPLAC, para a realização das análises tecnológicas previstas, quais sejam: flexão estática - módulo de resistência (MOR-F, em kgf/cm^2) e módulo de elasticidade (MOE-F, em kgf/cm^2), compressão paralela - módulo de resistência (MOR-CO, em kgf/cm^2) e cisalhamento paralelo - módulo de resistência (MOR-CIS, em kgf/cm^2).

Os detalhes relevantes dos procedimentos metodológicos adotados são descritos a seguir.

Deslocamento da Medula (DM, em cm) - a partir da determinação do comprimento do maior e menor raios na direção do maior diâmetro, e ainda dos comprimentos dos dois raios perpendiculares a esse eixo, estabeleceu-se uma expressão entre essas quatro medidas que propiciou a medida do deslocamento da medula. O deslocamento da medula médio da tora foi fornecido pela média dos deslocamentos das extremidades, segundo a eq. (1), proposta por Lima (2005).

$$DM = R_{maior} - R_{médio} \quad (1)$$

Em que:

R_{maior}: valor da maior distância entre a medula e a periferia da tora (cm);

$R_{médio}$: valor médio obtido a partir dos raios maior, menor e os perpendiculares ao maior eixo (cm).

Densidade Básica e Retração Volumétrica - A partir do segmento do disco, foram obtidas amostras seqüenciais ao longo do comprimento, contendo dimensões nominais de 2 cm x 2 cm x 3 cm (direções

radial, tangencial e longitudinal, respectivamente) para atender esses dois propósitos simultaneamente. Para densidade básica, o método empregado foi o da balança hidrostática. Para a retração volumétrica (%), foi utilizado o método das variações dimensionais no estado saturado e completamente seco, nas direções longitudinal (Rl), radial (Rr) e tangencial (Rt), aplicando-se posteriormente a fórmula Rv = Rt + Rr + Rl + RtRr + RtRl + RrRl para a determinação da retração volumétrica (Rv). O cálculo final do valor médio da densidade básica e da retração volumétrica levou em consideração todas as amostras disponíveis, considerando que o número de amostras variou em função do diâmetro do disco e da disponibilidade de amostras íntegras do ponto de vista físico e sem defeitos aparentes.

Rachaduras de Extremidades de Tábuas Verdes (RETV, em cm) - a partir da primeira tábua útil de cada tora, mediu-se o comprimento da rachadura mais longa paralela ao eixo da tábua, em ambas as extremidades. O valor final correspondeu à soma dos comprimentos das rachaduras.

Flecha do Encurvamento (FLE-ENC, em mm) - a flecha do encurvamento (empenamento longitudinal da face) foi medida na condição verde por meio de uma linha de náilon esticada entre as extremidades da peça e medindo-se a distância no ponto central da mesma, após ter sido refilada em serra circular na largura de 10 cm. A flecha propriamente dita corresponde ao afastamento existente entre o ponto central da peça (face côncava), tomado perpendicularmente em relação ao fio de náilon, o qual definiu a posição original não deformada.

Propriedades Mecânicas - as propriedades mecânicas foram determinadas a partir de corpos-de-prova obtidos da prancha central, consistindo das seguintes avaliações: 1) Flexão estática - consistiu na aplicação de carga em um corpo-de-prova colocado sobre dois pontos de apoio. Esse teste foi realizado seguindo a norma técnica COPANT 30 (COMISIÓN..., 1972). Os corpos-de-prova testados tinham a dimensão de 2 cm x 2 cm x 30 cm (direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente) e isentos de defeitos. O material confeccionado foi submetido ao teste na máquina universal de ensaios. Os resultados gerados foram a tensão máxima de resistência (módulo de resistência) e, a partir do intervalo de deformação elástica da madeira, o módulo de elasticidade correspondente; 2) Compressão paralela - foi realizada a compressão axial de corpos-de-prova de madeira com dimensões de 5 cm x 5 cm x 15 cm (direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente), com velocidade controlada, até sua ruptura, valor este equivalente ao módulo de resistência. Esse ensaio seguiu as orientações da Norma Técnica NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997); 3) Cisalhamento paralelo - os testes de avaliação da tensão máxima de resistência da madeira (módulo de resistência), quando submetidas ao esforço de deslizamento paralelo das fibras, foram feitos em corpos-de-prova com 5 cm x 5 cm de secção transversal e 5 cm de altura de cisalhamento. Esse ensaio também foi realizado segundo as instruções contidas na Norma Técnica NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997).

Poder Calorífico - a determinação do poder calorífico das amostras foi feita com base nas instruções contidas nos manuais da "Parr Instrument Co.", fabricante da bomba calorimétrica de oxigênio. A amostra de controle foi preparada em ácido benzóico na forma de pastilha, com auxílio de uma prensa. Para as amostras da madeira, partiu-se do segmento de disco, por meio da retirada de duas cunhas delgadas opostas, as quais foram posteriormente convertidas em palitos de aproximadamente 0,5 cm de lado por 3 cm de comprimento. Cada uma dessas frações de madeira foi seca inicialmente ao ar e posteriormente em estufa até peso constante. Após secagem, as amostras passaram em moinho, sendo retirada serragem suficiente para a formação da pastilha, a qual foi pesada em balança analítica de precisão antes de ser colocada na bomba calorimétrica propriamente dita para a realização da leitura.

Análise Estatística - Com base em avaliações efetuadas para dez variáveis de importância tecnológica para a qualificação da madeira objetivando a obtenção de produtos sólidos e geração de energia pela combustão direta, associadas à questão da praticidade e economicidade das operações de campo, serraria e laboratório, adotou-se procedimentos multivariados de regressão de componentes principais e seleção por etapas (*The stepwise regression procedure*) para se encontrar a intensidade adequada de amostragem de toras, sem detrimento de perda na qualidade da informação estatística.

Segundo Johnson & Wichern (1998), a análise multivariada apresenta três objetivos principais: eliminar os ruídos presentes nos dados; sumarizar os dados e revelar a estrutura dos mesmos. Destacam-se como

pontos positivos dessa técnica a capacidade de lidar com muitas variáveis aleatórias, simultaneamente; a capacidade de proporcionar informações que permanecem invisíveis nos dados originais e a aplicabilidade em muitos campos do conhecimento humano.

As técnicas de análise multivariadas são estatisticamente mais complexas, além de, muitas vezes, necessitarem de *softwares* específicos para o seu desenvolvimento, ou mesmo uma programação computacional. Por outro lado, os resultados gerados permitem que as interpretações mostrem-se mais coerentes com a realidade do material experimental (LAVORANTI, 2003).

Visando eliminar os ruídos presentes aos dados (JOHNSON; WICHERN, 1998), as respostas esperadas ($\hat{Y}_{ij}$) para cada um dos dez caracteres (DB, RETVOL, PC, MOR-F, MOE-F, MOR-CO, MOR-CIS, DM, RETV e FLE-ENC,) foram preditas por:

$$\hat{Y}_{ij} = \overline{Y}_{i\bullet} + \overline{Y}_{\bullet j} - \overline{Y}_{\bullet\bullet} + \sum_{k=1}^{p} \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk}$$

Em que:

$\overline{Y}_{i\bullet}$: é a média da árvore i (i =1, 2, ..., 4);

$\overline{Y}_{\bullet j}$: é a média da tora j (j = 1,2, ..., 10);

$\overline{Y}_{\bullet\bullet}$: é a média geral;

λ_k : é o k-ésimo valor singular (escalar) da matriz de resíduos, cujo elemento genérico é estimado por $\hat{\varepsilon}_{ij} = Y_{ij} - \overline{Y}_{i\bullet} - \overline{Y}_{\bullet j} + \overline{Y}_{\bullet\bullet}$;

γ_{ik} : é o elemento correspondente a i-ésima árvore no k-ésimo vetor singular coluna da matriz $\hat{\varepsilon}_{ij}$;

α_{jk} : é o elemento correspondente a j-ésima tora no k-ésimo vetor singular linha da matriz $\hat{\varepsilon}_{ij}$;

p : é o número de eixos significativos na decomposição por valores singulares (DVS) da matriz $\hat{\varepsilon}_{ij}$ (λ_k >1);

Os termos λ_k, γ_{ik} e α_{jk} foram obtidos por DVS da matriz $\hat{\varepsilon}_{ij}$:

$$\hat{\varepsilon}_{ij} = USV' \begin{cases} U: \text{é a matriz com os vetores singulares} - \text{coluna } \gamma_{ik} \\ S: \text{é a matriz com os valores singulares } \lambda_k \\ V': \text{é a matriz com os vetores singulares} - \text{linha } \alpha'_{jk} \end{cases}$$

Os valores preditos foram ponderados através do volume real de cada tora e padronizado pela distribuição normal padrão e, posteriormente, submetidos à análise de componentes principais.

A importância de cada componente principal foi estabelecida em função da variância contida em cada um deles, onde reside a sua capacidade de explicação da estrutura de variância e covariância. No presente trabalho utilizaram-se dois critérios: retenção das componentes principais que acumularam uma porcentagem da variabilidade total superior a 70 % e, retenção de acordo com o critério de Kaiser (1958), e que apresentaram ao mesmo tempo autovalores iguais ou superiores a 1 (um).

Os componentes principais que atenderam aos critérios anteriores foram submetidos ao estudo de regressão. Os modelos foram ajustados através do procedimento "Stepwise" do SAS® (*Statistical Analysis System*). Na seleção do melhor modelo foram considerados: coeficientes de determinação (R^2_{Aj}) superior a 0,99 e erro quadrático médio inferior a 5 %. Os modelos foram validados através da análise de resíduos (MONTGOMERY; PECH, 1997).

Resultados e Discussão

A análise univariada das dez variáveis originais, tendo "árvore" e "posições" como variáveis independentes, identificou diferenças significativas para posições (valor-p<0,0001) para DB e RETV (Tabela 1). Estes resultados reforçaram a necessidade de se identificar a melhor posição de amostragem de forma multivariada.

Tabela 1. Quadrado médio e nível de significância de dez propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* procedência Concórdia, SC, avaliadas aos 18 anos de idade.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado médio/nível de significância									
		MOR-F	MOE-F	MOR-CO	MOR-CIS	DB	RETVOL	PC	DM	RETV	FLE-ENC
Árvore	3	24.977,49	588,98	10.484,70	710,55	0,0151	7,2403	0,4232	0,5449	5.719,61	125,00
Posição	9	29.074,72 ns	343,19 ns	2.325,98 ns	260,83 ns	0,0020 **	3,0967 ns	0,0168 ns	0,7063 ns	1.760,56 **	99,99 ns
Erro	27	17.546,51	382,41	1.212,07	188,79	0,00047	1,6807	0,0287	0,5132	549,54	86,81

ns: não significativo; **: valor-p<0,0001

MOR-F: módulo de resistência, flexão estática (kgf/cm^2); MOE-F: módulo de elasticidade, flexão estática (kgf/cm^2); MOR-CO: módulo de resistência, compressão paralela (kgf/cm^2); MOR-CIS: módulo de resistência, cisalhamento paralelo (kgf/cm^2); DB: densidade básica (g/cm^2); RETVOL: retração volumétrica (%); PC: poder calorífico (kcal/kg); DM: deslocamento da medula (cm); RETV: rachaduras de extremidades de tábuas verdes (cm) e FLE-ENC: flecha do encurvamento (mm).

As inter-relações entre as variáveis, livre de ruídos, foram avaliadas através da matriz de correlação de Pearson (Tabela 2). Observou-se apenas uma correlação forte (r>0,9) e significativa, entre MOR-F e MOE-F, porém, o teste de multicolinearidade mostrou-se não significativo. Assim, todas as variáveis foram submetidas à análise de componentes principais.

Os componentes principais obtidos a partir das dez variáveis selecionadas apresentaram autovalores que variaram de 0,0086 a 7,0211 (Tabela 3). Na literatura, vários critérios auxiliam na tomada de decisão com relação ao número de componentes principais a ser retido ou considerado na análise. Neste trabalho utilizaram-se apenas os dois primeiros componentes principais, que acumularam uma porcentagem da variabilidade total superior a 83 %. Verificou-se que esses componentes principais apresentaram autovalores superiores a 1 (um) e foram retidos para análise de regressão. Assim, as 10 variáveis estudadas por tora foram substituídas por estes dois componentes, com perda de apenas 16,82% de informação sobre a variância total, na qual supõe-se a existência em grande parte de ruído.

Comparando-se os modelos apresentados na Tabela 4, verificou-se que os modelos são praticamente os mesmos com e sem intercepto. A exceção ocorreu apenas na substituição das toras T7 e T6 pelas toras T3 e T5 nos modelos com cinco e sete toras, respectivamente.

Foram selecionados os modelos 2 e 9, adotando-se os critérios de erro quadrático médio inferior a 5 % e de coeficiente de determinação ajustado superior 0,99, com e sem intercepto, respectivamente. Estes modelos mostraram-se significativos a 1% de probabilidade para todos os coeficientes, além de apresentarem alta precisão na estimativa dos componentes principais, distribuição de erros homocedásticos e independentes e distribuição normal (Modelo 2: Shapiro Wilks, W = 0,98 e valor-p = 0,8872 e Modelo 9: Shapiro Wilks, W = 0,94 e valor-p = 0,1691).

Com base nos resultados apresentados, a amostragem das toras T1 e T4 de cada árvore representa praticamente toda a variação naturalmente encontrada nas quatro árvores estudadas, para as dez variáveis analisadas. A simplificação da amostragem em 80% representa economia de tempo e recursos financeiros, sem perda de qualidade da informação estatística gerada. No caso de se optar pela utilização de apenas uma tora por árvore, a indicação recai sobre a tora T4. Ainda assim, tem-se um coeficiente de regressão múltiplo ajustado da ordem de 0,98, significando alta representatividade dessa tora com relação à variação original existente e que antecedeu a aplicação dos procedimentos estatísticos na amostra completa. O tempo necessário e os custos, nesse caso, se reduziriam ainda mais.

Os valores médios das variáveis originais, considerando-se todas as toras, as médias ajustadas livre de ruídos para a tora 4 e para as toras 1 e 4 são apresentados na Tabela 5.

Observa-se que os valores médios da tora 4 e toras 1 e 4 não diferiram, pelo teste t de Student, dos valores médios originais. Este resultado reforça a indicação dessas toras como modeladoras dos dados originais para todas as variáveis.

Conclusões

1ª) A análise estatística multivariada por meio de regressão de componentes principais e seleção de variáveis por etapas mostra-se apropriada para atender as finalidades do estudo, ao indicar modelos simplificados

Tabela 2. Correlação de Pearson e valor-p, acima e abaixo da diagonal principal, respectivamente, de dez propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* procedência Concórdia, SC, avaliadas aos 18 anos de idade.

Variáveis	MOR-F	MOE-F	MOR-CO	MOR-CIS	DB	RETVOL	PC	DM	RETV	FLE-ENC
MOR-F	1,0000	0,9431	0,3222	0,2613	0,3327	-0,1767	0,0891	0,0605	-0,1229	0,1056
MOE-F	<0,0001	1,0000	0,3027	0,2945	0,2840	-0,1187	0,0176	0,0297	-0,1019	0,0930
MOR-CO	0,0426	0,0577	1,0000	0,3970	0,6792	-0,4419	-0,0221	0,0233	0,1498	0,3860
MOR-CIS	0,1033	0,0651	0,0112	1,0000	0,3728	-0,0344	0,0622	0,2604	0,0641	0,1008
DB	0,0359	0,0758	<0,0001	0,0178	1,0000	-0,2019	0,1135	0,0937	-0,2072	0,3152
RETVOL	0,2753	0,4659	0,0043	0,8331	0,2115	1,0000	-0,0556	0,2676	-0,2330	-0,4474
PC	0,5844	0,9140	0,8926	0,7032	0,4855	0,7334	1,0000	-0,3997	-0,0072	0,3715
DM	0,7106	0,8555	0,8866	0,1046	0,5652	0,0950	0,0106	1,0000	-0,1409	-0,3906
RETV	0,4498	0,5317	0,3564	0,6943	0,1995	0,1479	0,9647	0,3858	1,0000	0,1690
FLE-ENC	0,5166	0,5684	0,0139	0,5359	0,0476	0,0038	0,0183	0,0127	0,2971	1,0000

MOR-F: módulo de resistência, flexão estática (kgf/cm^2); MOE-F: módulo de elasticidade, flexão estática (kgf/cm^2); MOR-CO: módulo de resistência, compressão paralela (kgf/cm^2); MOR-CIS: módulo de resistência, cisalhamento paralelo (kgf/cm^2); DB: densidade básica (g/cm^2); RETVOL: retração volumétrica (%); PC: poder calorífico (kcal/kg); DM: deslocamento da medula (cm); RETV: rachaduras de extremidades de tábuas verdes (cm) e FLE-ENC: flecha do encurvamento (mm).

Tabela 3. Componentes principais e autovetores de dez propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* procedência Concórdia, SC, avaliadas aos 18 anos de idade.

Componentes Principais				Autovetores		
Número	Autovalor	% da Variância	% Acumulada	Variáveis	Componente 1	Componente 2
1	7,0212	0,7021	0,7021	MOR-F	0,4168	0,2657
2	1,2966	0,1297	0,8318	MOE-F	0,4008	0,2815
3	0,7101	0,0710	0,9028	MOR-CO	0,4530	-0,0372
4	0,5040	0,0504	0,9532	MOR-CIS	0,3014	0,2085
5	0,2779	0,0278	0,9810	DB	0,4181	0,0833
6	0,0786	0,0079	0,9888	RETVOL	-0,2884	0,3404
7	0,0570	0,0057	0,9945	PC	0,1238	-0,3409
8	0,0257	0,0026	0,9971	DM	-0,0418	0,5279
9	0,0202	0,0020	0,9991	RETV	0,0163	-0,2967
10	0,0086	0,0009	1,0000	FLE-ENC	0,3069	-0,4468

MOR-F: módulo de resistência, flexão estática (kgf/cm^2); MOE-F: módulo de elasticidade, flexão estática (kgf/cm^2); MOR-CO: módulo de resistência, compressão paralela (kgf/cm^2); MOR-CIS: módulo de resistência, cisalhamento paralelo (kgf/cm^2); DB: densidade básica (g/cm^2); RETVOL: retração volumétrica (%); PC: poder calorífico (kcal/kg); DM: deslocamento da medula (cm); RETV: rachaduras de extremidades de tábuas verdes (cm) e FLE-ENC: flecha do encurvamento (mm).

Tabela 4. Seleção de modelos lineares múltiplos, por componentes principais, para avaliação de propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* procedência Concórdia, SC, avaliadas aos 18 anos de idade.

Modelos selecionados por "Stepwise"	F	Erro	CV(%)	R^2_{Aj}
1 - CP_i =f(I,T4)	1.541,35	0,0740	9,99	0,9753
2 - CP_i =f(I,T1,T4)	2.818,26	0,0413	5,57	0,9923
3 - CP_i =f(I,T1,T4,T8)	2.952,39	0,0312	4,21	0,9956
4 - CP_i =f(I,T1,T4,T8,T2)	19.946,10	0,0104	1,40	0,9995
5 - CP_i =f(I,T1,T4,T8,T2,T7)	38.579,30	0,0067	0,90	0,9998
6 - CP_i =f(I,T1,T4,T8,T2,T7,T9)	43.314,30	0,0057	0,78	0,9998
7 - CP_i =f(I,T1,T4,T8,T2,T7,T9,T6)	INFINITO	0,0000	0,00	1,0000
8 - CP_i =f(T4)	4.858,06	0,0790	10,67	0,9918
9 - CP_i =f(T1,T4)	6.619,89	0,0480	6,48	0,9970
10 - CP_i =f(T1,T4,T8)	9.964,71	0,0320	4,32	0,9987
11 - CP_i =f(T1,T4,T8,T2)	14.490,60	0,0229	3,10	0,9993
12 - CP_i =f(T1,T4,T8,T2,T3)	22.000,60	0,0167	2,25	0,9996
13 - CP_i =f(T1,T4,T8,T2,T3,T9)	33.275,80	0,0123	1,67	0,9998
14 - CP_i =f(T1,T4,T8,T2,T3,T9,T5)	INFINITO	0,0000	0,00	1,0000

CP_i: componente principal i (i = 1 e 2); I: intercepto; T_j: tora j (j = 1, 2, ...10); F: valor da estatística F de Snedecor, significativo com valor-p<0,0001; Erro: erro quadrático médio; CV(%): coeficiente de variação em porcentagem; R^2_{Aj}: coeficiente de regressão múltiplo ajustado.

Tabela 5. Médias originais, tora 4 e toras 1 e 4 e teste t de Student (valor-p) para os contrastes de médias, de dez propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* procedência Concórdia, SC, avaliadas aos 18 anos de idade.

Estatísticas	MOR-F	MOE-F	MOR-CO	MOR-CIS	DB	RETVOL	PC	DM	RETV	FLE-ENC
Médias Originais (MO)	860,3208	98.115,0000	445,4278	123,2412	0,4805	18,1562	4.415,2750	1,7955	48,7300	18,2250
Desvio Padrão (MO)	144,0950	19.729,5284	46,7032	15,7488	0,0443	1,5603	237,5046	0,7546	35,0244	9,6330
Média Tora 4 (T4)	869,7667	101.104,3000	452,5272	122,9166	0,4748	18,2176	4.328,8750	1,9069	47,1000	18,6750
Desvio Padrão (T4)	127,9132	19.052,9249	46,3897	10,9133	0,0288	0,5302	262,2258	0,9244	32,3486	9,1296
Média Toras 1 e 4 (T1eT4)	868,8883	99.344,8333	451,7622	123,5658	0,4861	18,1931	4.440,2000	1,8969	50,5100	17,7750
Desvio Padrão (T1eT4)	141,9023	19.245,0433	45,0832	19,7428	0,0560	1,4842	231,1872	0,7880	33,4971	10,3294
Valor-p (MO vs T4)	0,8049	0,5780	0,5802	0,9344	0,6055	0,9034	0,2046	0,6915	0,8623	0,8629
Valor-p (MO vs T1eT4)	0,8280	0,8193	0,6183	0,9452	0,6704	0,9303	0,7668	0,6305	0,8854	0,8683

MOR-F: módulo de resistência, flexão estática (kgf/cm^2); MOE-F: módulo de elasticidade, flexão estática (kgf/cm^2); MOR-CO: módulo de resistência, compressão paralela (kgf/cm^2); MOR-CIS: módulo de resistência, cisalhamento paralelo (kgf/cm^2); DB: densidade básica (g/cm^2); RETVOL: retração volumétrica (%); PC: poder calorífico (kcal/kg); DM: deslocamento da medula (cm); RETV: rachaduras de extremidades de tábuas verdes (cm) e FLE-ENC: flecha do encurvamento (mm).

de amostragem com alta confiabilidade e precisão;

2ª) A amostragem das toras T1 e T4 de cada árvore contém praticamente toda a variação naturalmente encontrada para as dez características tecnológicas analisadas, com coeficiente de determinação de 99,2 %;

3ª) A amostragem de uma única tora, representada pela tora T4, apresenta coeficiente de determinação de 97,5%, diferindo em apenas 1,7 % em relação ao modelo que contempla duas toras, significando que o uso desse limite é condizente para as dez variáveis analisadas;

4ª) A simplificação da amostragem em termos de quantidade de toras destinadas às análises tecnológicas da madeira representa economia de tempo e recursos financeiros no estudo das árvores da população.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração do pesquisador Washington Luiz Esteves Magalhães, da *Embrapa Florestas*, e do Professor Eduardo Bittencourt, da Universidade do Planalto Catarinense, pelas orientações técnicas efetuadas durante a fase de obtenção e preparo inicial das amostras de madeira para a realização das análises laboratoriais.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

BHAT, K. M.; THULASIDAS, P. K. Physical and mechanical properties of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus tereticornis* grown in Kerala. **Indian Forester**, Dehradun, v. 123, p. 297-302, 1997.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 30: 1-006**: maderas: método de determinación de la flexión estática. Caracas, 1972.

DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. Propriedades físicas da madeira de três regiões do tronco de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 71-75, 1983.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 102-113, 2004.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, Greensboro, v .23, p. 187-200, 1958.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Madison: Prentice Hall International, 1998. 816 p.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem "bootstrap" no modelo AMMI**. 2003. 166 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LIMA, I. L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LISBÔA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. Curitiba, 1993. 275 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MONTGOMERY, D. C.; PECH, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 672 p.

SANTOS, P. E. T.; GARCIA, J. N.; GERALDI, I. O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 142-151, 2004a.

SANTOS, P. E. T.; GERALDI, I. O.; GARCIA, J. N. Estimativas de parâmetros genéticos de propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 54-64, 2003.

SANTOS, P. E. T.; GERALDI, I. O.; GARCIA, J. N. Estimatives of genetic parameters of wood traits for sawn timber production in *Eucalyptus grandis*. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 27, n. 4, p. 567-573, 2004b.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 120-129, 2004.

SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENCOVSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 54, p. 55-68, 1998.

Recebido em 05 de dezembro de 2006 e aprovado em 10 de março de 2007