

Variação da densidade básica do lenho de eucalipto considerando os anéis anuais de crescimento

Paulo Fernando Trugilho¹; José Reinado Moreira da Silva¹; Isabela Laterza Ramos Chaves¹; Elvis Vieira dos Santos¹; Maria Kely Alves Gomes¹; José Tarcísio Lima¹

¹Departamento de Ciências Florestais, Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras/MG, Brasil

Resumo: Os anéis anuais são reflexos do crescimento da planta ao longo dos anos e, portanto, podem apresentar padrão de variação definido de dada característica no fuste, tanto longitudinalmente quanto radialmente. Os objetivos do estudo foram ajustar um modelo geral do padrão de variação radial e longitudinal da densidade básica (DB) da madeira de dois clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* com base nos anéis anuais de crescimento e obter o mapa de variação da DB dentro do tronco. Discos foram retirados em 13 posições longitudinais de amostragem para a individualização dos anéis e determinação da respectiva DB. A análise de regressão foi utilizada para definir o padrão de variação radial e longitudinal da DB. Os resultados mostraram que não foi possível estimar um modelo de regressão geral que represente o padrão de variação da DB, radial e longitudinalmente para ambos os clones. Os mapas de variação da DB permitem observar que os menores valores de DB se encontram nos primeiros anéis anuais de crescimento, mais próximos à medula, e nas maiores alturas no fuste das árvores, nos dois clones.

Palavras-chave: Variação radial, Variação longitudinal, Mapas de variação.

Variation in the basic density of eucalyptus wood considering annual growth rings

Abstract: Annual rings are reflections of the plant's growth over the years and, therefore, can present a defined pattern of variation of a given characteristic in the stem, both longitudinally and radially. This study aimed to adjust a general model of the pattern of radial and longitudinal variation of the basic density (BD) of the wood of two clones of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* based on the annual growth rings and obtain the BD variation map within of the stem. Discs were removed from 13 longitudinal sampling positions to individualize the rings and determine their BD. Regression analysis was used to define the pattern of radial and longitudinal variation of BD. The results showed that it was not possible to estimate a general regression model that represents the pattern of BD variation, radially and longitudinally, in both clones. The maps allow to observe that the lowest DB values are found in the first annual growth rings, closest to the pith, and at the highest heights in the tree stem, in both clones.

Keywords: Radial variation, Longitudinal variation, Variation maps.

1. INTRODUÇÃO

Das propriedades da madeira, a densidade básica (DB) é considerada das mais importantes para definir a sua qualidade. Muitos autores avaliaram a variação da densidade básica do tronco a partir de amostragens em posições relativas, tanto longitudinalmente quanto radialmente. A maioria dos resultados desses estudos mostrou diferentes padrões de variação, em que a DB pode variar de forma decrescente, crescente ou irregular considerando a altura ou o diâmetro da árvore. Entretanto, tais pesquisas não levaram em consideração a estrutura individualizada dos anéis anuais de crescimento da árvore.

A variabilidade das características dentro da estrutura dos anéis anuais de crescimento da árvore ainda é pouco explorada, entretanto pode ser determinante na definição de uso da madeira. Segundo Kimberly *et al.* (2017), os fatores climáticos, particularmente a temperatura e precipitação, afetam a DB do lenho, devido o seu impacto na produção de madeira no lenho inicial e tardio. Em estudo feito por Filipescu *et al.* (2014) a temperatura está positivamente associada com a proporção de lenho tardio e densidade média de madeira em diferentes espécies, ou seja, as variáveis ambientais influenciam a densidade e essas variáveis estão relacionadas a produção dos lenhos inicial e tardio, dentro dos anéis de crescimento.

As árvores impõem reações às variáveis ambientais que afetam seus inúmeros processos fisiológicos, os quais refletem na atividade dos meristemas e na anatomia do lenho. Fica expressa na estrutura do anel a formação dos elementos anatômicos devido à atividade cambial, que faz a árvore crescer em diâmetro, e a atividade do meristema apical, que faz a árvore crescer em altura. É nítida a importância dos anéis anuais de crescimento como partes integrantes da formação da árvore em altura e diâmetro, o que pode mostrar haver certo padrão de variação, pois os anéis estão dispostos tanto longitudinalmente quanto radialmente.

Os padrões de variação podem ser obtidos a partir de modelos estatísticos, via a modelagem, que servem para prever o valor de uma dada característica, por exemplo, a densidade básica, de um anel anual em qualquer posição relativa ou fixa no tronco. Estes modelos precisam ser integrados em todo o tronco para obter o valor previsto e representativo para toda a árvore (Downes; Raymond, 1997). Segundo Dahlen *et al.* (2018) o desenvolvimento de modelos para prever a variação de uma propriedade da madeira não é importante apenas para entender melhor as mudanças

que ocorrem nas suas características, mas também porque oferece a oportunidade para incluir modelos de qualidade de madeira em sistemas de crescimento e produção. Os mesmos autores explicam que esses modelos devem incluir os efeitos da idade e/ou altura do solo da árvore, bem como as influências da silvicultura e/ou genética. Porém, não enfatizam a importância da estrutura individualizada dos anéis anuais de crescimento.

Dessa forma, os objetivos do estudo foram ajustar o modelo geral do padrão de variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira com base na informação contida no anel anual de crescimento da árvore e obter o mapa da variação da densidade básica da madeira dentro do tronco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Material e amostragem no fuste das árvores*

A coleta do material foi realizada no município de Luminárias, sul de Minas Gerais, situado a 1.141 metros de altitude e à latitude 21° 31' 34" Sul e longitude 44° 52' 53" Oeste. O clima da região é classificado como Clima Subtropical úmido (classificação climática de Köppen – Geiger: Cwa), com temperatura média de 19,4°C e pluviosidade média anual de 1470 mm.

Foram avaliados dois clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* com 10 anos de idade, crescendo sob espaçamento inicial de plantio de 3 m x 2 m. De cada clone foram amostradas três árvores de tronco retilíneo, das quais foram removidos discos de 3,0 cm de espessura em 13 posições longitudinais ao longo do fuste. As posições longitudinais consideradas foram a 0,3 m (base), 1,3 m (DAP) e a partir dessa posição a cada 2 metros até a altura de 23,3 m.

Os discos foram aplainados e preparados com lixas de 120, 220 e 320 grãos, segundo método padrão utilizado no Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Lavras, para facilitar a identificação dos anéis anuais de crescimento.

2.2 *Retirada das amostras e determinação da densidade básica*

Uma bagueta radial de 2,5 cm de espessura foi retirada por disco para facilitar a separação dos anéis anuais de crescimento. Com auxílio de bisturi cirúrgico os anéis

anuais de crescimento foram seccionados, devidamente identificados e saturados em água em recipiente que permitiu a aplicação de vácuo. Após a saturação dos anéis anuais de crescimento individualizados foi obtida a sua densidade básica utilizando o método do máximo teor de umidade (MTU), conforme a Equação 1.

$$DB = \frac{1}{\frac{M_{saturada}}{M_{seca}} - 0,346} \quad (1)$$

em que: DB= densidade básica do anel anual de crescimento (g cm^{-3}); Msaturada= massa saturada da amostra (g); Mseca = massa seca das amostras (g); 0,346 =constante.

2.3 Mapa de variação da densidade básica dentro do tronco

Os mapas de variação da densidade básica dos clones 1 e 2 foram obtidos utilizando o software SURFER 15. Os dados de densidade básica por anel de crescimento em cada posição longitudinal foram inseridos no programa. A ordem de entrada dos dados é, na primeira coluna foram anexados os valores que estariam no eixo X do mapa, ou seja, os anéis de anuais de crescimento, de 1 a 10, na segunda coluna os valores do eixo Y, as posições longitudinais no fuste, de 0,3m até 23,3m, e na terceira coluna (eixo Z) foram inseridos os valores de densidade básica obtidos por anel na sua posição longitudinal. O método de interpolação de Mínima Curvatura foi utilizado na geração dos mapas de densidade básica.

2.4 Análise estatística

A análise de regressão, modelos estatísticos lineares simples e múltiplos, foram usados para a modelagem da variação longitudinal e radial da densidade básica considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento. Foram testados 17 modelos de regressão para as variações longitudinal e radial. A seleção do melhor modelo de regressão foi com base na significância da regressão e de seus coeficientes, admitido α até 10%, coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), análise gráfica dos resíduos padronizados e coeficiente de variação do modelo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos estatísticos selecionados para descrever o padrão de variação longitudinal da densidade básica (DB) por anel anual de crescimento dos clones 1 e 2 estão, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2. Foi verificado que nenhum dos modelos testado representou o padrão de variação longitudinal da DB no 2º anel anual de crescimento do clone, enquanto que no clone 2 este comportamento ocorreu nos anéis 2º, 7º, 8º e 10º. Pode-se observar ainda que os anéis anuais de crescimento apresentaram diferentes formas e qualidade dos ajustes dos modelos lineares de variação longitudinal da DB, não sendo possível estabelecer um modelo único que represente a variação em todos os anéis nos dois clones avaliados.

Tabela 1. Modelos selecionados de variação longitudinal da densidade básica dos anéis anuais de crescimento do clone 1.

ANEL	MODELO AJUSTADO	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1º	$Y_i = 451,335 - 56,4027 PL + 15,3244 PL^2 - 1,01469 PL^3$	5,48	98,57**	96,41
3º	$Y_i = 522,155 + 20,1516 PL^{0,5} - 5,58786 PL$	4,67	48,40*	36,93
4º	$Y_i = 533,647 + 6,41280 \frac{1}{PL^{1,7}}$	5,03	52,92*	48,63
5º	$Y_i = 562,770 - 0,0904188 PL^2$	4,53	61,79*	58,32
6º	$Y_i = 593,965 + 14,3931 PL - 3,12768 PL^{1,5}$	5,98	52,41**	42,90
7º	$Y_i = 592,027 - 0,460406 PL^{1,5}$	8,68	65,82**	62,71
8º	$Y_i = 551,335 + 69,9009 PL^{0,5} - 7,5319 PL^{1,5} + 1,01621 PL^2$	6,41	81,05**	74,73
9º	$Y_i = 583,740 + 31,1191 PL^{0,5} - 7,81347 PL$	5,77	75,44*	70,52
10º	$Y_i = 612,405 + 20,1266 PL - 2,22992 PL^2 + 0,05974 PL^3$	5,95	85,98*	81,30

* e ** = Significativo a 1% e 5% de significância, respectivamente; CV = Coeficiente de variação; R² = Coeficiente de determinação; R²_{ajust} = Coeficiente de determinação ajustado; Y_i = Densidade básica estimada; PL = Posição longitudinal (m).

Tabela 2. Modelos selecionados de variação longitudinal da densidade básica dos anéis anuais de crescimento do clone 2.

ANEL	MODELO AJUSTADO	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1º	$Y_i = 403,882 + 0,596122 PL^2$	4,99	76,57*	70,71
3º	$Y_i = 611,183 - 12,4605 PL + 1,00472 PL^2 - 0,0291271 PL^3$	4,28	81,20*	74,15
4º	$Y_i = 691,673 - 178,286 PL^{0,5} + 81,5175 PL - 10,6735 PL^{1,5}$	4,52	72,69*	63,59
5º	$Y_i = 601,036 - 17,5813 PL + 2,19809 PL^2 - 0,0670884 PL^3$	3,91	74,18*	65,57
6º	$Y_i = 587,130 + 31,3111 PL^{0,5} - 4,20135 PL$	4,72	28,07**	13,68
9º	$Y_i = 631,784 - 0,0485704 PL^2$	4,86	18,48***	11,06

*, ** e *** = Significativo a 1%, 5% e 10% de significância, respectivamente; CV = Coeficiente de variação; R² = Coeficiente de determinação; R²_{ajust} = Coeficiente de determinação ajustado; Y_i = Densidade básica estimada; PL = Posição longitudinal (m).

Nas Tabelas 3 e 4 estão os modelos estatísticos selecionados para descrever o padrão de variação radial da densidade básica por posição longitudinal de amostragem dos clones 1 e 2, respectivamente.

Tabela 3. Modelos selecionados de variação radial da densidade básica por posição longitudinal do clone 1.

PL (m)	MODELO AJUSTADO	CV	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 251,454 + 230,849 A^{0,5} - 38,0823 A$	7,36	93,07*	91,09
1,3	$Y_i = 170,880 + 263,886 A^{0,5} - 37,7315 A$	7,52	91,10*	88,56
3,3	$Y_i = 230,105 + 167,296 A^{0,5} - 3,53933 A^{1,5}$	6,62	98,34*	97,87
5,3	$Y_i = 350,231 + 99,9870 A^{0,5}$	8,43	87,12*	85,51
7,3	$Y_i = 383,069 + 87,4765 A^{0,5}$	7,38	85,36*	83,53
9,3	$Y_i = 345,443 + 96,9259 A^{0,5}$	7,09	89,35*	88,02
11,3	$Y_i = 310,093 + 188,100 A^{0,5} - 27,4826 A$	6,83	94,40*	92,54
13,3	$Y_i = 414,045 + 69,3029 A^{0,5}$	6,58	75,63*	72,15
15,3	$Y_i = 434,821 + 62,3376 A^{0,5}$	9,20	50,62*	43,57
17,3	$Y_i = 466,938 + 26,8859 A^{1,5} - 7,59786 A^2$	6,18	69,77*	59,70
19,3	$Y_i = 445,080 + 54,5373 A^{0,5}$	6,32	66,07*	60,42
21,3	$Y_i = 494,996 + 14,4414 A$	3,47	85,96*	83,62
23,3	$Y_i = 512,423 + 12,5360 A$	6,26	45,93*	35,11

PL = Posição longitudinal; * = Significativo a 1% de significância; R² = Coeficiente de determinação; R²_{ajust} = Coeficiente de determinação ajustado; A = Anel anual de crescimento; CV = Coeficiente de variação (%); Y_i = Densidade básica estimada.

Tabela 4. Modelos de variação radial da densidade básica por posição longitudinal do clone 2.

PL (m)	MODELO AJUSTADO	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = -551,966 + 1535,27A^{0,5} - 678,653 A + 100,075 A^{1,5}$	5,69	93,18*	89,77
1,3	$Y_i = -199,386 + 923,28 A^{0,5} - 360,766 A + 47,7578 A^{1,5}$	6,36	85,68*	78,50
3,3	$Y_i = 247,382 + 169,627 A - 26,9476A^2 + 1,41665 A^3$	6,58	90,36*	85,54
5,3	$Y_i = 234,535 + 239,979 A^{0,5} - 35,5312 A$	6,75	77,96*	71,66
7,3	$Y_i = -119,147 + 833,117 A^{0,5} - 338,752 A + 47,8543 A^{1,5}$	6,05	89,52*	84,28
9,3	$Y_i = 362,936 + 115,776 A - 18,8505 A^2 + 1,01132 A^3$	5,76	84,03*	76,04
11,3	$Y_i = 341,522 + 152,666 A - 28,0643 A^2 + 1,67109 A^3$	6,31	74,86*	59,77
13,3	$Y_i = 372,290 + 178,278 A^{0,5} - 26,8751 A$	6,23	81,06*	74,74
15,3	$Y_i = 470,509 + 62,2855 A^{0,5}$	5,16	75,88*	72,44
17,3	$Y_i = 328,211 + 202,401 A^{0,5} - 33,7120 A$	7,31	57,95*	43,94
19,3	$Y_i = 515,922 + 38,9207 A^{0,5}$	5,44	42,89*	33,38
21,3	$Y_i = 321,342 + 234,822 A^{0,5} - 44,9831 A$	6,50	61,91*	46,67
23,3	$Y_i = 472,659 + 60,4506 A^{0,5}$	5,21	67,68*	61,22

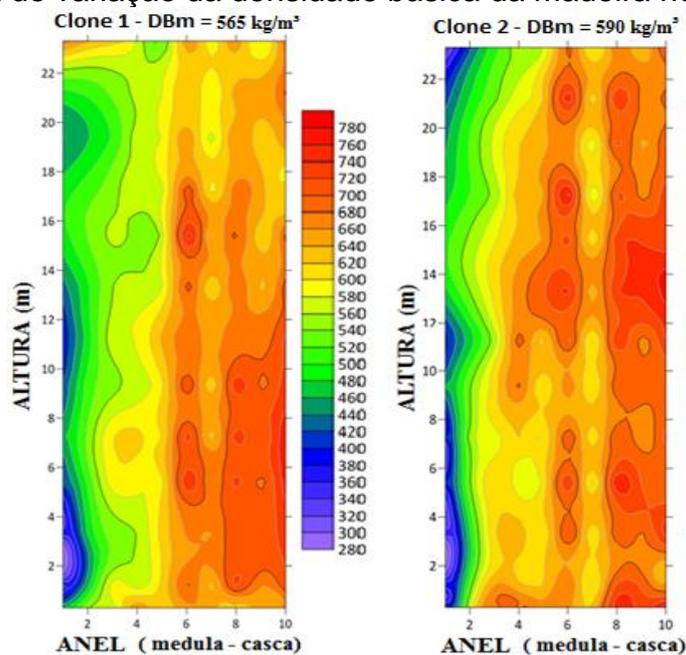
PL = Posição longitudinal; * = Significativo a 1% de significância; R² = Coeficiente de determinação; R²_{ajust} = Coeficiente de determinação ajustado; A = Anel anual de crescimento; CV = Coeficiente de variação; Y_i = Densidade básica estimada.

A abordagem por anel anual de crescimento não é muito frequente na literatura, geralmente os estudos se restringem a avaliar seções ou posições longitudinais de amostragem no fuste das árvores, por exemplo, Mello (2015), Zaque *et al.* (2018), Bello *et al.* (2024), e Dorwu *et al.* (2024), em diferentes esquemas de amostragem.

Pelas Tabelas 3 e 4 pode-se observar que os modelos de variação radial apresentaram melhores ajustes que os longitudinais, especialmente nas três alturas mais basais. Nas maiores alturas o ajuste dos modelos foi de menor magnitude, exceto a para a altura de 21,3 m no clone 1 (Tabela 3).

A Figura 1 mostra o mapa de variação interna média da densidade básica considerando a altura no fuste (m) e a estrutura dos anéis anuais de crescimento para os clones 1 e 2. No clone 1, verifica-se que os maiores valores de densidade básica ocorreram do 6° ao 10° anel anual de crescimento e distribuídos nas posições longitudinais do fuste, porém mais intensamente nas posições mais basais até os 12 metros de altura.

Figura 1. Mapa de variação da densidade básica da madeira nos clones 1 e 2.



Para o clone 2, apesar dos maiores valores de densidade básica terem ocorrido também do 6° ao 10° anel anual de crescimento, é possível observar maior intensidade até alturas superiores a 15m, além de poucos locais com baixos valores de densidade básica, dispersos nos últimos anos. Este fato foi determinante para que o clone 2 possua, na média, densidade básica maior que a do clone 1.

4. CONCLUSÃO

Os resultados permitem concluir que:

- Não foi possível estabelecer um modelo de regressão geral que represente o padrão de variação da densidade básica, tanto radial como longitudinal, nos dois clones;
- Os mapas obtidos permitem observar que os menores valores de DB se encontram nos primeiros anéis anuais de crescimento, os mais próximos à medula, e nas maiores alturas no fuste das árvores, nos dois clones;
- Em um mesmo anel anual de crescimento se percebem variações na magnitude da DB ao longo da altura da árvore.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo apoio recebido para a realização da presente pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

BELLO, R.L.; BARROS JUNIOR, U.O.; MARCELINO, P.R.C. *et al.* Variação base-topo da densidade da madeira jovem de *Corymbia* para produção de carvão vegetal. *In*: CHAVES, I.L.S. *et al.* **O Papel das frentes às mudanças climáticas**. [livro eletrônico]. Jerônimo Monteiro: Ed. dos Autores, 2024. p.645-652.

DAHLEN, J.; AUTY, D.; EBERHARDT, T.L. Models for Predicting Specific Gravity and Ring Width for Loblolly Pine from Intensively Managed Plantations, and Implications for Wood Utilization, USA. **Forests**. v.9, n. 6, p. 292 – 312, 2018.

DORWU, F.K.; MENSAH, P.; ANTWI, K. *et al.* Influence of age and trunk positions on physico-mechanical properties of *Anthocleista grandiflora* Gilg wood. **Revista Matéria**. v.29, n.2, p.e20240037, 2024.

DOWNES, G.M.; RAYMOND, C.A. Variation in wood density in plantation eucalypts. *In*: DOWNES, G.M. *et al.* **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Australia: CSIRO, 1997. p.88-99.

FILIPESCU, C.N.; LOWELL, E.C.; KOPPENAAAL, R.; *et al.* Modeling regional and climatic variation of wood density and ring width in intensively managed Douglas-fir, Canada. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 44, n. 3, p. 220–229, 2014.

KIMBERLY, M.O.; MCKINLEY, R.B.; COWN, D.J. *et al.* Modelling the variation in wood density of New Zealand-grown Douglas-fir. New Zealand. **New Zealand Journal of Forestry Science**. v.47, n.15, p.1-15, 2017.

MELO, R.R. Radial and longitudinal variation of *Pinus taeda* L. wood basic density in different ages. **Revista de Ciências Agrárias**. v.58, n.2, p.192–197, 2015.

ZAQUE, L.A.M., FERREIRA, M.D., MELO, R.R. Variação radial e longitudinal da massa específica básica da madeira de *Araucaria angustifolia* com diferentes idades. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v.38, p.e201601368, 2018.