

Avaliação da circularidade do fuste de Teca (*Tectona grandis*) em plantio adensado não desbastado

Tiago Marcilio Gomes Pinto¹; Tales Segura Santos¹; José Nivaldo Garcia¹

¹ Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba/SP, Brasil

Resumo: Com o declínio das madeiras de florestas naturais, as plantações de teca de curta rotação têm perspectivas promissoras, mas enfrentam desafios de qualidade, especialmente em árvores jovens. A circularidade da seção transversal de um tronco de árvore é uma medida da uniformidade da forma da seção. Idealmente, a seção transversal deve ser perfeitamente circular, o que indica que o tronco tem um crescimento uniforme em todas as direções. No entanto, desvios da circularidade são comuns e podem ser influenciados por vários fatores. O estudo realizado em Piracicaba, SP, com 750 árvores, revelou que o diâmetro do tronco é significativamente maior na base em comparação com alturas superiores, sem diferenças significativas entre as direções paralela e perpendicular à linha de plantio. A avaliação da circularidade mostrou uma tendência de diâmetro perpendicular maior, mas sem significância estatística, e maior variação na base do tronco.

Palavras-chave: Qualidade da madeira, ovalidade, seção transversal.

Assessment of the Circularity of Teak (*Tectona grandis*) Trunk in a Dense, Non-Thinned Plantation

Abstract: With the decline in natural forest timber, short-rotation teak plantations show promising prospects but face quality challenges, particularly in young trees. The circularity of a tree trunk’s cross-section measures the uniformity of its shape. Ideally, the cross-section should be perfectly circular, indicating uniform growth in all directions. However, deviations from circularity are common and can be influenced by various factors. A study conducted in Piracicaba, SP, with 750 trees revealed that trunk diameter is significantly larger at the base compared to higher elevations, with no significant differences between the parallel and perpendicular directions to the planting line. The circularity assessment showed a tendency for a larger perpendicular diameter, though not statistically significant, and greater variation at the trunk base.

Keywords: Wood quality, out-of-roundness, cross-section.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Tectona grandis*, popularmente conhecida como teca, é composta por árvores de grande porte, que podem atingir até 45 metros de altura total, 20 metros de altura de fuste e 2,5 metros de diâmetro, conforme descrito por Li e Olmstead (2017). Esse diâmetro significativo pode ocorrer em árvores com sapopemas, um tipo de raiz tabular que circunda o tronco, proporcionando maior sustentação, especialmente em árvores maduras. A teca é uma espécie mundialmente conhecida

por ter uma madeira de alto valor comercial, com alta resistência a fungos e uso em diversos setores, e também por ter um bom crescimento, tanto em altura como em diâmetro (MACEDO et al., 2005). A madeira de teca, muito valorizada no mercado internacional, em decorrência de suas propriedades tecnológicas excepcionais, tem seus faqueados, laminados (s sofisticados compensados e painéis) e produtos serrados usados em: mobiliários; produtos de maior valor agregado (PMVAs), dentre outros usos (KOLLERT; KLEINE, 2017).

Em vista do declínio da oferta de madeiras de florestas naturais, as perspectivas para as plantações de teca de curta rotação, no médio e longo prazo, são consideradas promissoras, sendo a qualidade da madeira produzida um fator relevante em termos de utilização final e desempenho no mercado (THULASIDAS; BAILLÈRES, 2017). A madeira de teca proveniente de plantações jovens, especialmente de desbastes, apresenta desafios para o mercado, devido à expectativa e exigência de qualidade por parte dos consumidores. No entanto, o aperfeiçoamento de suas propriedades pode ser alcançado por meio da seleção de indivíduos superiores via melhoramento genético, escolha de melhores locais de crescimento, e aplicação de técnicas adequadas de manejo das plantações e beneficiamento da madeira (KOLLERT; KLEINE, 2017). Essas estratégias são essenciais para países em desenvolvimento, onde a produção de teca representa um importante ativo econômico. No Brasil, é comum a comercialização e exportação de toras e blocos serrados "brutos" (*square cuts*) de teca para os Estados Unidos, Europa e Ásia. Diante dos usos mencionados e da alta demanda pela madeira de teca, torna-se essencial investigar e caracterizar essa madeira, pois até mesmo espécies madeireiras já consolidadas podem apresentar variações durante o crescimento, o que impacta diretamente na formação do lenho (Reis et al., 2023). Nesse contexto, a forma do fuste é uma característica qualitativa de grande importância ao se considerar o valor comercial das toras, bem como os índices de aproveitamento no desdobro em serraria. Essa característica pode ser influenciada, tanto positiva quanto negativamente, por diversos fatores, como o genótipo e o método de propagação (seja seminal ou clonal), o espaçamento de plantio e a densidade populacional, a adubação, a desrama, o desbaste, o ataque de insetos-pragas, a ocorrência de doenças, incêndios e ferimentos, a idade das árvores, a ação dos ventos, além das características do solo e do relevo nos ambientes de crescimento (Reis et al., 2023).

O formato elíptico das seções transversais de toras é descrito por termos como não-circularidade, ovalidade ou desvio da circularidade (Biging, Wensel 1988). Esse desvio da forma circular do tronco pode causar perda de matéria-prima na indústria e erros no cálculo do volume do tronco e na avaliação das mudanças na qualidade e nas propriedades da madeira. Portanto, compreender e avaliar essa variação na circularidade e excentricidade do tronco é de interesse econômico (Mäkinen 1998). Além disso, o desvio da circularidade pode ser influenciado pela inclinação da árvore, pelo relevo e pelos ventos (Kellogg, Barber 1981).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

O material utilizado neste estudo foi proveniente de um plantio seminal de teca (*Tectona grandis*), implantado em 2005 na Estação Experimental "Luiz de Queiroz", localizada em Piracicaba, São Paulo. As sementes utilizadas foram originárias da região de Cáceres, Mato Grosso. O espaçamento adotado no plantio foi de 4,5 metros quadrados, organizado em um arranjo de 3 x 1,5 metros. A avaliação das árvores foi realizada em 2023, quando o plantio atingiu a idade de 18 anos, proporcionando um período significativo de crescimento e desenvolvimento para análises detalhadas de sua performance florestal. Em 2023, o plantio apresentava um índice de sobrevivência de 83%. No entanto, não foram realizados desbastes ao longo desses 18 anos, embora o manejo adequado, com intervenções planejadas, seja recomendado nas idades de 6, 10 e 15 anos, conforme indicado por Pelissari et al. (2014).

2.2 Coleta e análise de dados

Para conduzir a análise do diâmetro dos fustes, utilizou-se um total de 750 árvores, cujos diâmetros foram medidos utilizando-se uma suta, considerando as direções paralela e perpendicular à linha de plantio. As medições foram realizadas em três posições distintas ao longo da altura das árvores: base (0,1 m), altura do peito (1,3 m) e a 2 metros. A parte superior do tronco não é usada no cálculo do desvio da circularidade, pois a seção transversal do tronco se deforma devido à transição para os galhos da copa (Pfeifer, Winterhalder 2004). O experimento seguiu um delineamento fatorial 2 x 3, resultando em seis tratamentos, onde os fatores incluíam

a direção da medição (paralela ou perpendicular à linha de plantio) e a posição ao longo do fuste (base, peito, 2 m). Para garantir a independência das observações, foi selecionado aleatoriamente um único valor de diâmetro por árvore, resultando em 125 repetições para cada tratamento.

Além disso, a circularidade foi avaliada em cada uma das três posições de altura, calculando-se a razão entre o maior diâmetro e o menor diâmetro em cada posição. Neste caso, todas as 750 árvores foram incluídas nessa avaliação. O estudo também verificou a quantidade de árvores cujo maior diâmetro foi encontrado na direção paralela ou perpendicular à linha de plantio, permitindo uma análise mais detalhada sobre as variações na forma do fuste em função das condições dadas pelo arranjo de plantio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes ao teste de ANOVA das mensurações de diâmetro dos seis tratamentos avaliados se encontram na Tabela 1. Os valores das médias dos diâmetros medidos nas diferentes direções e posições do fuste estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente, e nos Gráficos 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. ANOVA do delineamento fatorial 3 x 2

Fator de variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor de F	p-valor
Posição	2	3301	1650.4.5	103.061	<0.001***
Direção	1	3	60.8	3.799	0.0517
Posição#Direção	2	61	1.7	0.105	0.9001
Resíduos	745	11962	16.0		

Tabela 2. Teste Tukey para a média dos diâmetros nas diferentes posições do fuste

Posição	Média dos diâmetros (cm)
Base	20,8 a
Peito	16,1 b
2 m	15,5 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Gráfico 1. Boxplot dos diâmetros nas três posições avaliadas

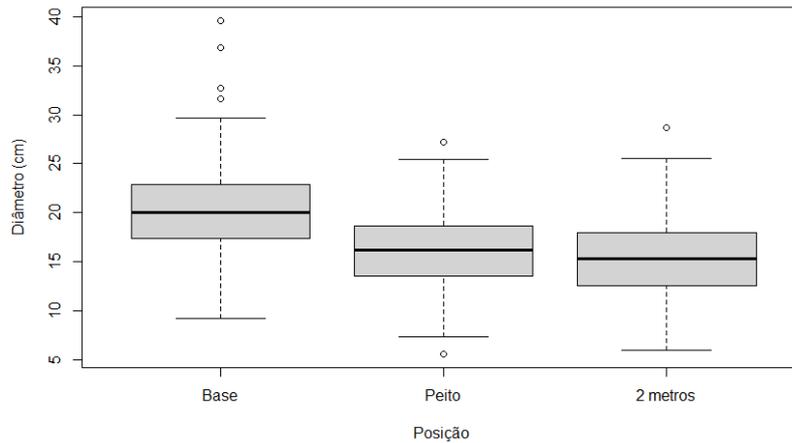
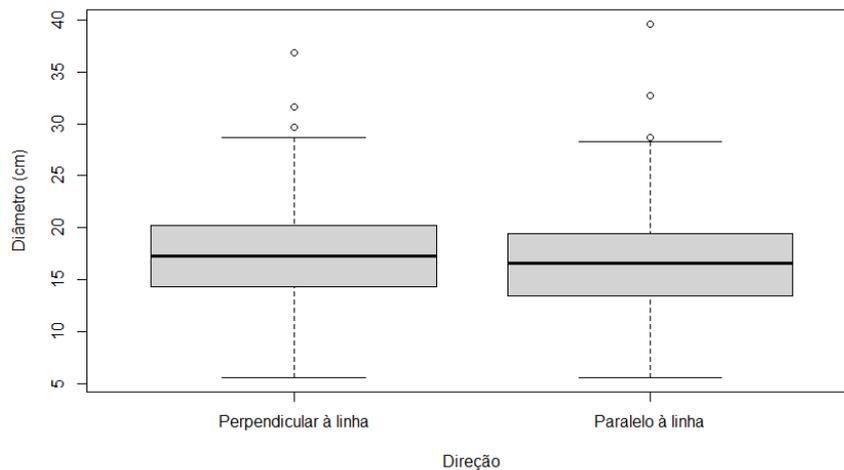


Tabela 3. Teste Tukey para a média dos diâmetros nas duas direções avaliadas

Direção	Média dos diâmetros (cm)
Perpendicular à linha	17,2 a
Paralela à linha	16,7 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Gráfico 2. Boxplot dos diâmetros nas duas direções avaliadas

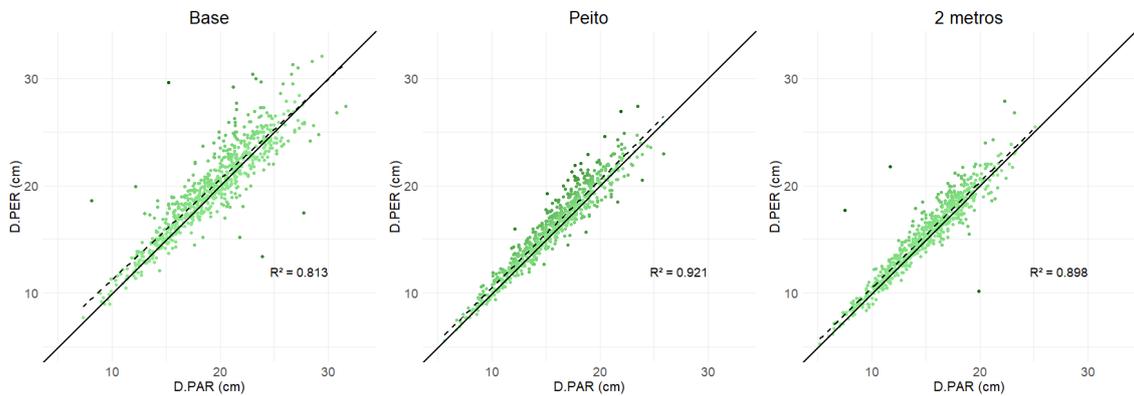


Os dados analisados revelaram uma diferença significativa no diâmetro do tronco em função da posição de medição ao longo da altura (base, peito, e 2 metros). Com um valor de p inferior a 0,001, as análises confirmam a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos diâmetros nas diferentes alturas avaliadas. O teste de Tukey indicou que o diâmetro do tronco é significativamente maior na base (B) quando comparado às medições realizadas a 1,3 m (peito) e a 2 metros de altura, sendo que não foram detectadas diferenças significativas entre os diâmetros medidos nas duas últimas posições.

Os resultados obtidos podem ser atribuídos ao crescimento mais robusto na base do tronco, possivelmente relacionado à necessidade de suporte estrutural da árvore. Em contraste, as medições realizadas a 1,3 m e 2 metros de altura não apresentam diferenças significativas entre si, sugerindo uma uniformidade no crescimento do diâmetro ao longo dessas alturas. A base do tronco apresenta maior variação na circularidade devido à formação de sapopemas e aos tratos culturais que estimulam o crescimento do lenho de forma desproporcional ao longo da altura do tronco. Já o efeito da direção da medição (paralela ou perpendicular à linha de plantio) apresenta um valor de p próximo ao limiar de significância (0,05), mas não atinge o nível de significância convencional. Isso sugere que, embora possa haver uma influência da direção sobre o diâmetro, esse efeito não é estatisticamente significativo ao nível de 0,05. Além disso, a interação entre posição e direção também não é significativa, com um valor de p de 0,3611, indicando que o efeito da posição na altura do tronco sobre o diâmetro não é influenciado pela direção da medição.

A avaliação da circularidade dos fustes de teca também foi realizada comparando-se graficamente os diâmetros medidos no sentido paralelo e perpendicular à linha de plantio. A análise mostrou uma leve tendência de que o diâmetro no sentido perpendicular seja maior, embora a análise estatística não tenha indicado uma diferença significativa entre as médias das duas direções. No gráfico, a linha preta contínua representa a circularidade perfeita, ou seja, uma razão 1:1 entre os diâmetros paralelo e perpendicular, que indica uma seção transversal perfeitamente circular. A linha tracejada, por sua vez, mostra a regressão linear ajustada aos dados. Observa-se que, para árvores com diâmetros menores, o diâmetro perpendicular tende a ser maior que o paralelo. Além disso, árvores dominantes, que são aquelas que ocupam posições superiores no dossel e têm menor competição, tendem a apresentar maior circularidade. Isso ocorre provavelmente porque, devido à menor competição, essas árvores desenvolvem fustes mais uniformes em termos de diâmetro, mantendo uma forma mais circular em comparação com árvores de menor diâmetro, que podem ser mais afetadas por fatores ambientais e biológicos que distorcem a forma do tronco.

Gráfico 3. Relação entre os diâmetros medidos nas duas direções



Para determinar o índice de circularidade, foi calculada a razão entre o maior e o menor diâmetro de cada árvore em diferentes alturas, identificando-se a direção (paralela ou perpendicular à linha de plantio) em que o maior diâmetro ocorreu. Um índice próximo a 1 sugere uma elevada circularidade, indicando que os diâmetros medidos são praticamente iguais. A base do tronco apresentou maior dispersão nos valores do índice, refletindo um desvio mais acentuado da circularidade nessa posição específica. A Tabela 4 apresenta a distribuição das árvores conforme o maior diâmetro observado em cada direção e posição avaliada ao longo do fuste.

Gráfico 4. Índices de circularidade para cada posição

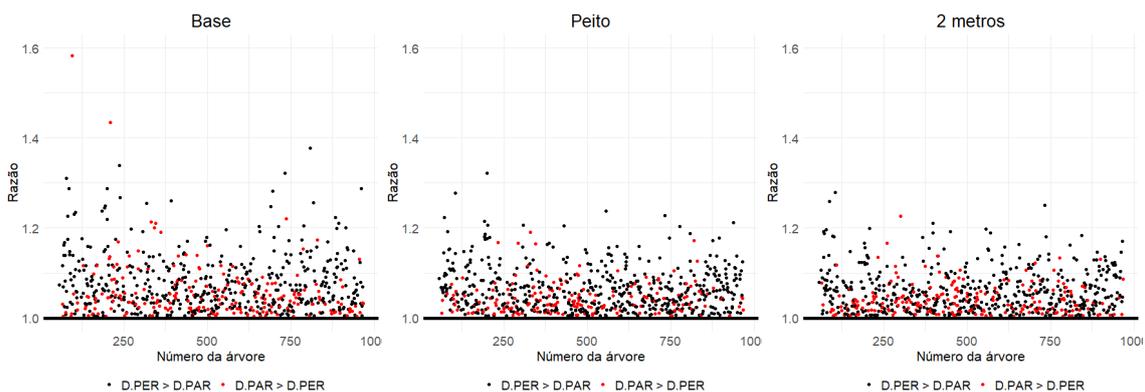


Tabela 4. Quantidade de árvores conforme o maior diâmetro observado

		Posição em relação à altura do fuste		
		Base	Peito	2 metros
Direção em relação à linha de plantio	Paralela	258	222	250
	Perpendicular	467	503	475

4. CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- Existe diferença significativa apenas para o diâmetro da base em relação às outras posições na altura do fuste.
- Não existe diferença significativa entre o diâmetro nas direções paralela e perpendicular à linha de plantio.
- O número de árvores com diâmetro maior no sentido perpendicular à linha de plantio é maior que o número de árvores com diâmetro maior no sentido paralelo à linha de plantio, para todas as posições.

5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Azarias Machado de. *Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto*. 1992. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.
- ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; et al. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.
- BIGING, G. S.; WENSEL, L. C. The effect of eccentricity on the estimation of basal area and basal area increment of coniferous trees. **Forest Sciences**, v. 34, p. 621–633, 1988.
- KELLOGG, R. M.; BARBER, F. J. Stem eccentricity in coastal western hemlock. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 11, p. 714–718, 1981.
- KOLLERT, W.; KLEINE, M. (Ed.). *The global teak study: analysis, evaluation, and future potential of teak resources*. Vienna, Austria: IUFRO, 2017. 107 p. (IUFRO World series, v. 36).
- LI, B.; OLMSTEAD, R. G. Two new subfamilies in Lamiaceae. **Phytotaxa**, v. 313, n. 2, p. 222-226, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.313.2.9>.
- MACEDO, R. L. G. et al. Desenvolvimento inicial de *Tectona Grandis* L.f. (Teca) em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 61-69, jan./abr. 2005.
- MÄKINEN, H. Effect of thinning and natural variation in bole roundness in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). **Forest Ecology and Management**, v. 107, p. 231–239, 1998.
- PELISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, A. A. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 1, p. 127–145, 2014.
- PFEIFER, N.; WINTERHALDER, D. Modeling of tree cross sections from terrestrial laser scanning data with free-form curves. In: *Proceedings of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Processing Methods for Applied Analysis of Laser-Scanner Data*. Freiburg, 3-4 October. Freiburg: Institute for Forest Growth, Institute for Remote Sensing and Landscape Information Systems, Albert Ludwigs University, p. 78–81, 2004.
- REIS, C. A. F.; SANTOS, A. M.; MORAES, A. C. Caracterização da espécie *Tectona grandis* L. f. (teca). In: *Teca (Tectona grandis L. f.) no Brasil*. Brasília: Embrapa, 2023. p. 14-44.
- THULASIDAS, P. K.; BAILLÈRES, H. Wood quality for advanced uses of teak from natural and planted forests. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (Ed.). *The global teak study: analysis, evaluation, and future potential of teak resources*. Vienna: IUFRO, 2017. p. 73-81.