

## **Avaliação fitossanitária de árvores nativas de *Copaifera sp.* por tomografia de impulso**

Bianca Cerqueira Martins<sup>1</sup>; João Vicente de Figueiredo Latorraca<sup>2</sup>

1. Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambientais e Florestais / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2. Laboratório de Tecnologia da Madeira / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**RESUMO:** A longevidade, as diferentes funções que desempenham nos ecossistemas e o potencial para suprimento de produtos não madeireiros, tornam as árvores objetos de grande interesse para a ciência. Árvores do gênero *Copaifera* L., as copaibeiras, são importantes para a fauna silvestre e para a indústria de fármacos, cosméticos e energia, desse modo, a queda de indivíduos pode gerar problemas ecológicos e econômicos. Esta pesquisa teve como objetivo verificar a integridade interna dos troncos de árvores de copaíba nativas. Foi realizada tomografia de impulso em 14 árvores vivas, nas seções transversais à 1,30 metros do solo, verificando-se o risco de queda dos indivíduos. Constatou-se a existência de árvores ocas e maciças, com diferentes diâmetros, apresentando risco de queda médio, alto ou baixo.

**Palavras-chave:** Tecnologia, Métodos não destrutivos, Recursos florestais, copaíba.

### **Phytosanitary Rating of native trees of *Copaifera sp.* by impulse tomography**

**ABSTRACT:** Tree longevity, the different functions they play in ecosystems and their potential for the supply of non-wood products, make them objects of great interest to science. Trees of the genus *Copaifera* L., the copaibeiras, are important for wildlife and for the drug, cosmetics and energy industry, so the fall of individuals can generate ecological and economic problems. This research had the objective of verifying the internal quality of copaíba native trees. Impulse tomography was performed in 14 live trees, in the cross sections at 1.30 meters from the ground, and the risk of falling of the individuals was verified. It was verified the existence of hollow and massive trees, with different diameters.

**Keywords:** Technology, Non-destructive methods, Forest resources, copaiba.

## **1. INTRODUÇÃO**

No território brasileiro estão distribuídas inúmeras populações de copaíba (*Copaifera* L.), gênero pertencente à família botânica Leguminosae, designada à nova subfamília Detarioideae (Azani et al., 2017). De acordo com Trindade et al. (2018), são árvores e arbustos, longevos, que vivem até cerca de 400 anos, de crescimento caracteristicamente lento, e podem atingir até 40 m de altura e 4 m de diâmetro à altura do peito (DAP). As

distribuições 0,22; 0,05; 0,31 árvore por hectare, foram encontradas por Newton et al. (2012) para *C. multijuga*, *C. guyanensi* e *C. paupera*, respectivamente, na floresta amazônica. As árvores do gênero produzem oleorresina, um extrativo da madeira, provido de propriedades químicas que estão sendo cada vez mais demonstradas (Trindade et al., 2018). De acordo com Araújo et al. (2018, p. 155), “...a exploração da Copaíba tem despertado interesse das empresas estrangeiras, pois as aplicações da matéria-prima geram produtos de alto valor agregado, como produtos farmacêuticos, cosméticos, vernizes e outros”.

A ciência florestal, dentre outras coisas, busca descrever as características físicas das árvores, seu funcionamento e interações e, assim, desenvolver métodos e técnicas para sua correta avaliação, com as mais variadas finalidades socioeconômicas (controle fitossanitário de árvores em situação de risco, suprimento de produtos madeireiros, não madeireiros, proteção ecológica, construção civil e outras). A o risco de queda das árvores é importante, tanto para o manejo florestal madeireiro quanto para o manejo florestal não madeireiro, do ponto de vista econômico e ecológico. No caso das copaibeiras, segundo Medeiros (2016), a identificação de ocos é importante para a determinação do tamanho da unidade de produção e das boas práticas de manejo. Com relação ao risco de queda, há como se prevenir o prejuízo que incide sobre a fauna que se alimenta das sementes dessas árvores, além de representar a supressão de uma matriz porta sementes.

O estudo das árvores tem sido facilitado pela aplicação de Métodos Não Destrutivos (MNDs) de análise, que permitem a avaliação da qualidade interna do lenho, para uma melhor utilização das mesmas (Castro, 2011; Arciniegas et al., 2014; Liu & Li, 2018). A tomografia de impulso, ou tomografia acústica (TA), cujo princípio é a propagação de ondas mecânicas de tensão a partir de choques de martelo (Carrasco et al., 2017) pode ser empregada para caracterizar árvores em diferentes aspectos. Várias pesquisas geraram resultados que demonstraram a boa equivalência entre a velocidade de propagação das ondas mecânicas e a representação gráfica das características físicas da madeira (Pereira et al., 2007; Castro, 2011; Perlin et al., 2015), revelando padrões da combinação entre densidade, umidade e anisotropia. Embora, as variações adaptativas do crescimento biológico (madeira) sejam mais complexas que a própria anisotropia (Arciniegas et al., 2014). O tomograma contém informações importantes sobre a estabilidade da seção transversal do tronco, e ilustra de modo consistente porções mecanicamente cooperantes (Rinn et al., 2004).

Esta pesquisa teve como objetivo verificar a qualidade interna do tronco de árvores nativas de copaíba, por meio da tomografia de impulso.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O sítio das árvores estudadas, o Projeto de Assentamento Extrativista São Luís do Remanso, é uma localidade da região do Baixo Acre, município de Capixaba, estado do Acre, Colocação Estrangeiros I (latitude: 10°28'11.20"S; longitude: 67°55'9.69"O). Na região, a floresta aberta e com palmeiras recobre um relevo ondulado, que forma cursos d'água intermitentes.

A tomografia de impulso foi realizada em 14 árvores vivas, por meio do tomógrafo de pulso mecânico Arbotom® *Rinntech*, utilizando oito sensores, para produzir gráficos 2D no modelo de cor *rainbow* e gráficos de linhas (multipercurso). As imagens tomográficas foram obtidas na seção transversal à altura do peito (130 cm), em setembro de 2018. Os procedimentos seguiram o recomendado por Heidelberg (2005) e os métodos empregados por Castro (2011) e Perlin et al. (2015), adaptados. A presença de árvores ocas foi verificada por meio da extração de amostras do lenho, no sentido casca-medula, com trado de incremento *Pressler*, priorizando atingir regiões com menor e maior velocidade de propagação da onda mecânica (VPOM). O risco de queda foi determinado empregando a classificação de Rollo (2009). As análises estatísticas testaram a normalidade (*Shapiro Wilk*) e a hipótese de haver diferença significativa (*Kuskall Wallis e Mann Whitney*, 5 %) entre os parâmetros: diâmetro do tronco, altura total e VPOM. Avaliou-se, também, a correlação entre diâmetro e altura; diâmetro e VPOM; diâmetro e área afetada (%), por meio de Regressão Linear.

## 4. RESULTADOS

O levantamento abrangeu indivíduos que apresentaram características heterogêneas. Os DAP variaram entre 29,9 cm e 178,9 cm e as alturas totais entre 19,30 m e 33,80 m. As velocidades de propagação acústica médias variaram entre 353 m/s e 499 m/s, as mínimas entre 201 m/s e 263 m/s, entretanto, as velocidades máximas alcançaram uma grandeza entre 607 m/s e 1586 m/s. O alto risco de queda restringiu-se aos indivíduos ocos, exceto a árvore A15. Os indivíduos que apresentaram as maiores velocidades de propagação de ondas mecânicas (1586, 1207 e 1424 m/s) foram classificados como de baixo e médio risco de queda e não apresentaram oco. Das 14 copaibeiras, 36 % são ocas e os níveis mais críticos de risco de queda atingiram 30,3 %, 38,3 %, 40,7 % (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios dos diâmetros, alturas e das velocidades de ondas mecânicas do lenho do tronco de árvores de copaíba (*Copaifera* sp).

Árvore	Diâmetro do tronco (cm)	Altura (m)	Velocidade de onda mecânica (m/s)			Área afetada (%)	Risco de queda
			Média	Mínim	Máxima		

a							
A01	90,72	19,40	483,23 ± (329,22; 68,13)	208	1586	6,92	baixo
A02 <sub>a</sub>	43,93	28,00	440,00 ± (212,18; 48,22)	239	1207	8,17	baixo
A03	52,52	23,05	416,59 ± (112,12; 26,910)	202	819	12,13	baixo
A04	64,30	33,80	493,91 ± (297,68; 60,27)	228	1424	10,32	médio
A05	79,58	27,00	444,36 ± (154,31; 34,73)	209	798	6,14	baixo
A06 <sub>a</sub>	120,96	26,00	428,11 ± (133,95; 31,29)	222	693	38,27	alto
A07 <sub>a</sub>	178,89	22,00	499,81 ± (161,40; 32,29)	257	892	40,75	alto
A09	34,70	20,80	398,27 ± (84,38; 21,19)	222	633	6,97	baixo
A10	29,92	19,30	353,29 ± (135,55; 38,37)	215	720	3,95	baixo
A11	53,16	23,37	430,61 ± (95,72; 22,23)	243	673	7,61	baixo
A12 <sub>a</sub>	112,37	23,15	374,93 ± (86,49; 23,07)	259	607	30,27	alto
A13	66,21	20,30	404,34 ± (94,74; 23,43)	263	628	12,20	médio
A14	74,80	30,38	476,82 ± (188,44; 39,52)	263	891	2,92	baixo
A15 <sub>a</sub>	143,88	32,00	423,73 ± (157,08; 37,07)	201	849	8,02	baixo

Legenda: a = árvore oca. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão (m/s) seguido do coeficiente de variação (%); área afetada = área característica por apresentar velocidades de propagação de ondas mecânicas muito baixas.

A Figura 1 apresenta uma árvore (A07) e os seus respectivos tomogramas, indicando a presença e a localização da região oca do tronco. Neste caso, a representação na cor verde corresponde às reentrâncias do tronco resultantes da expansão das raízes, levemente tabulares, representando uma forma irregular.

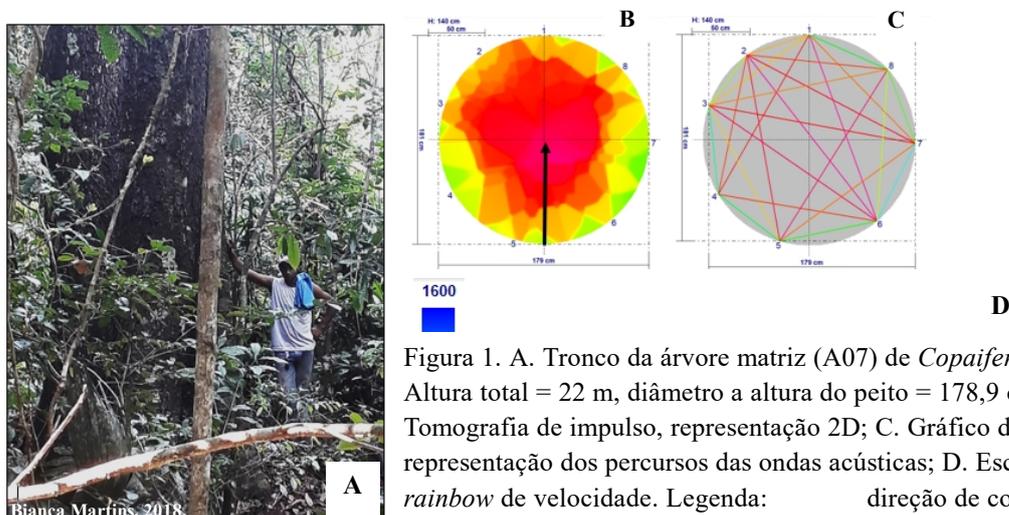


Figura 1. A. Tronco da árvore matriz (A07) de *Copaifera* sp. Altura total = 22 m, diâmetro a altura do peito = 178,9 cm; B. Tomografia de impulso, representação 2D; C. Gráfico de linhas, representação dos percursos das ondas acústicas; D. Escala *rainbow* de velocidade. Legenda: direção de coleta da

A comparação entre os tomogramas e as baguetas obtidas com o trado resultou em seis árvores ocas, três maciças e cinco que pareciam ser ocas, mas na realidade são maciças (Tabela 2).

Tabela 2. Equivalência entre a análise visual dos tomogramas, das baguetas obtidas com trado e da verificação do risco de queda de árvores de *Copaifera* sp.

Árvore	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A09	A10	A11	A12	A13	A14	A15
Risco de queda	B	B	B	M	B	A	A	B	B	B	A	M	B	B
Tomograma	P	P	P	P	P	P	P	Np	Np	Np	P	P	P	P
Trado	N	E	N	E	N	E	E	N	N	N	E	N	N	E

Legenda: risco de queda /B = baixo; M = médio; A = alto; tomograma/P = parece oca; Np = não parece oca; trado/N = não é oca; E = é oca.

## 5. DISCUSSÃO

De acordo com Spatz & Niklas (2013), a formação de cavidade em seção transversal, em alguns casos, pode ser compreendida como uma estratégia natural de “engenharia” evolutiva que capacita várias plantas para crescer verticalmente sem dobrar sob seu próprio peso, além disso, o limite crítico é atingido quando o espaço oco atinge 70% do interior.

A análise da qualidade do fuste das árvores foi favorecida pela verificação da constituição interna do tronco por meio do trado de incremento *Pressler*. A análise visual dos tomogramas promoveria, com relação ao risco de queda, nove acertos (risco baixo: P-E = 2; risco baixo: Np-N = 3; risco médio: P-E = 1; risco alto: P-E = 2) e cinco erros (risco baixo: P-N = 3; risco médio: P-N = 2). Os erros (35,7 %) podem ser ocasionados por fatores distintos como características anatômicas, teor de umidade, anisotropia e densidade. Cabe ressaltar que em um tomograma as cores não têm necessariamente correspondência com o grau de degradação, mas esse MND é o único a mostrar a expectativa de coesão das fibras da madeira, ilustrando de forma consistente porções mecanicamente cooperantes (Rinn et al., 2004), que são as regiões que apresentam as maiores velocidades.

Admitiu-se a normalidade dos dados das variáveis estudadas, os *p*-valores obtidos foram: diâmetro = 0,292; altura = 0,245, VPOM = 0,794. Existe uma diferença significativa entre as medianas das amostras, entre os diâmetros e alturas totais (*p*-valor =  $1,268E-05$ ) e entre os diâmetros e as VPOM (*p*-valor =  $6,685E-06$ ). Identificou-se haver correlação linear positiva direta ( $R^2 = 0,1628$ ) entre diâmetro e altura, e entre diâmetro e VPOM ( $R^2 = 0,3856$ ). Sendo o diâmetro a variável independente, VPOM e altura as variáveis dependentes. Entretanto, verificou-se que, em ambos os casos, essas são correlações fracas. Constatou-se ser significativa a correlação entre diâmetro e percentual de área afetada ( $R^2 = 0,5101$ ; *p*-valor = 0,0041).

## 6. CONCLUSÃO

Neste sítio as copaibeiras constituem uma população com indivíduos heterogêneos em relação a diâmetro e altura, apresentando risco de queda médio, alto ou baixo.

A análise visual dos tomogramas aliada a verificação de risco de queda demonstrou haver uma expectativa de acerto aceitável (+ 60 %) da integridade interna dos troncos das árvores, além disso, se trata de um MND rápido e de fácil aplicação.

## 7. AGRADECIMENTOS: Universidade Federal do Acre; CAPES; Núcleo de Pesquisa

em Qualidade e Anatomia da Madeira (NPQM).

## 8. REFERÊNCIAS

- Araújo LO, Fernandes RF, Antenor MC, Andrade JS, Galdino SM, Barros Filho MML. Mapeamento tecnológico da copaíba: Análise prospectiva no Brasil e no mundo. *Cad. Prospec* 2018, 11 (1):146-157.
- Arciniegas A, Prieto F, Brancheriau LC, Lasaygues P. Revisão da literatura da tomografia acústica e ultra-som em árvores em pé. *Árvores* 2014; 28: 1559-1567.
- Azani N, Babineau M, Bailey CD, Banks H, Barbosa AR, Pinto RB, et al. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. *TAXON* 2017; 66 (1): 44–77.
- Carrasco EVM, Souza M de F, Pereira LRS, Vargas CB, Mantilla JNR. Determinação do módulo de elasticidade da madeira em função da inclinação das fibras utilizando tomógrafo acústico. *Matéria (Rio J.)* 2017; 22 (supl. 1).
- Castro VR de. Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. Et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.) [Dissertação]. Piracicaba: Área de concentração Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2011.
- Liu L, Li G. Acoustic tomography based on hybrid wave propagation model for tree decay detection. *Computers and Electronics in Agriculture* 2018; (151): 276–285.
- Medeiros RS. Estudo da anatomia do lenho e dendrocronologia de árvores de *Copaifera multijuga* Hayne na Amazônia brasileira e sua relação com o manejo e extração de oleorresina [Tese]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2016.
- Newton P, Watkinson AR, Peres CA. Spatial, temporal, and economic constraints to the commercial extraction of a non-timber forest product: Copaíba (*Copaifera* spp.) Oleoresin in Amazonian Reserves. *Economic Botany* 2012; 66(2): 165–177.
- Pereira LC, Tomazello Filho M., Polizel JL, Silva Filho D. Tomografia de impulso para avaliação do interior do lenho de árvores. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização urbana* 2007; 2(2).
- Perlin LP, Juliani MA, Valle A, Pinto RC de A. Fundamentação matemática da tomografia ultrassônica na avaliação da integridade de elementos estruturais em madeira. *Cerne* 2015; 21(3): 503-509.
- Rinn F, et al. Statische Hinweise im Schall-Tomogramm von Bäumen. *Stadt und Grün* 2004; (7): 41-45.
- Rollo FMA. Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze. [Dissertação]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo; 2009.
- Spatz HC, Niklas KJ. Modes of failure in tubular plant organs. *American Journal of Botany* 2013, 100(2):1–7.
- Trindade R da, Silva JK da, Setzer WN. *Copaifera* of the Neotropics: A review of the Phytochemistry and Pharmacology. *Int. J. Mol. Sci.* 2018, (19):1511.

