

ANATOMÍA DE MADERAS COMERCIALES DE LA FAMILIA FABACEAE EN LA AMAZONIA BRASILEÑA

ANATOMY OF COMMERCIAL WOODS FROM THE FABACEAE FAMILY IN THE BRAZILIAN AMAZON

Joielan Xipaya dos Santos^{1,}*

<https://orcid.org/0000-0002-5480-4261>

Rafaela Stange¹

<https://orcid.org/0000-0001-6116-9019>

Helena Cristina Vieira²

<https://orcid.org/0000-0001-9008-5463>

Tawani Lorena Naide Acosta¹

<https://orcid.org/0000-0001-6171-0629>

Deivison Venicio Souza³

<https://orcid.org/0000-0002-2975-0927>

Graciela Inés Bolzon de Muñiz¹

<https://orcid.org/0000-0003-4417-0178>

Patricia Soffiatti⁴

<https://orcid.org/0000-0001-5634-7650>

Silvana Nisgoski¹

<https://orcid.org/0000-0001-9595-9131>



RESUMEN

El objetivo del estudio fue describir las características anatómicas macroscópicas y microscópicas de maderas perteneciente a la familia botánica Fabaceae para distinguir las especies, proporcionando información para evitar la comercialización ilegal en la Amazonía Brasileña. Se recolectaron muestras de madera en las comunidades extractivas “Verde para Siempre” en el Estado de Pará. Se extrajeron discos de la base de los árboles seleccionados y se elaboraron cubos de madera de 2,5 cm x 2,5 cm x 2,5 cm para realizar los análisis. La caracterización anatómica de las maderas siguió las normas de la Asociación Internacional de anatomistas de la madera. La identificación de la estructura anatómica macroscópica y microscópica de las muestras se

¹Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Paraná, Brasil.

²Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Ciência Florestal. Pernambuco, Brasil.

³Universidade Federal do Pará. Faculdade de Engenharia Florestal. Pará, Brasil. ⁴Universidade Federal do Paraná. Departamento de Botânica. Paraná, Brasil.

*Corresponding author: joilan87xipaya@gmail.com

Received: 03.04.2023 Accepted: 03.06.2025

realizó en las direcciones de corte de la madera: transversal, radial y tangencial. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico cuantitativo descriptivo utilizando el software estadístico R. Fue factible establecer diferencias significativas en la estructura anatómica, de los seis géneros estudiados: *Hymenolobium*, *Dipteryx*, *Ormosia*, *Enterolobium*, *Hymenaea* y *Pseudopiptadenia*. Los caracteres anatómicos más relevantes para la separación de especies fueron radios, parénquima axial, fibras y/o tilosis, resina y cristales en serie en las células del parénquima axial y/o radial. Esta información puede utilizarse para identificar especies en las zonas de gestión forestal y controlar la comercialización de la madera después de la tala.

Palabras clave: Anatomía de la madera, árboles tropicales, identificación de especies, taxonomía aplicada.

ABSTRACT

The objective of this study was to describe the macroscopic and microscopic anatomical characteristics of woods belonging to the Fabaceae botanical family in order to distinguish species, providing information to prevent illegal trade in the Brazilian Amazon. Wood samples were collected from the “Verde para Sempre” extractive communities in the state of Pará. Discs were extracted from the bases of the selected trees, and 2.5 cm x 2.5 cm x 2.5 cm wood cubes were made for analysis. The anatomical characterization of the wood followed the standards of the International Association of Wood Anatomists. The identification of the macroscopic and microscopic anatomical structure of the samples was performed in the wood cutting directions: transverse, radial, and tangential. The data obtained were subjected to a descriptive quantitative statistical analysis using the statistical software R. It was possible to establish significant differences in the anatomical structure of the six genera studied: *Hymenolobium*, *Dipteryx*, *Ormosia*, *Enterolobium*, *Hymenaea* and *Pseudopiptadenia*. The most relevant anatomical characters for species separation were rays, axial parenchyma, fibers and/or tyloses, resin and crystals in series in the axial and/or radial parenchyma cells. This information can be used to identify species in forest management areas and control timber marketing after cut.

Keywords: Wood anatomy, tropical trees, species identification, applied taxonomy.

INTRODUCCIÓN

La Amazonia brasileña es uno de los mayores productores de madera tropical del mundo, y la industrialización de la madera es una de las principales actividades económicas (Verissimo y Pereira 2014). Para mitigar la sobreexplotación y el riesgo de extinción de ciertas especies, se han establecido reservas extractivas (Resex), destinadas al uso sostenible de los recursos por parte de las comunidades locales (Brasil 2000). Las Resex en el Amazonas son alrededor del 22 % de las unidades de conservación totales en la región (MMA 2022), y es importante para las poblaciones locales la identificación correcta de especies que se pueden comercializar, realizada según las características anatómicas de la madera, ya que diferentes nombres vernáculos pueden indicar madera con valor comercial y propiedades también divergente, además de la variación en el volumen que se permite explotar.

La familia Fabaceae tiene la mayor diversidad y número de especies de la flora brasileña, estando entre las tres familias más diversas en todos los dominios fitogeográficos de Brasil, incluyendo 795 géneros y casi 20000 especies, siendo una de las tres mayores familias de plantas productoras de madera (Lewis *et al.* 2005). Cerca del 50 % de las especies son endémicas del país (Flora do Brasil 2020), siendo las especies de mayor relevancia económica jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) y cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) por su excelente calidad, trabajabilidad y resistencia al ataque de agentes xilófagos.

La tala de árboles basándose en nombres populares puede acarrear algunos problemas, por ejemplo, el jatobá puede relacionarse con el género *Copaifera* L. o *Hymenaea* L., el angelim pedra con el género *Andira* Lam, el cumaru con el género *Dipteryx* Schreb. o *Stryphnodendron* Mart. (Flora do Brasil 2020). Las diferencias en las características anatómicas de la madera evaluadas después del corte pueden distinguir las especies, apoyando la correcta documentación para el transporte y el comercio.

En el Estado de Pará, entre las familias botánicas con más especies maderables comercializadas se encuentran las Fabaceae, predominando angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke), cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), louro cumarú (*Ormosia* sp.), fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) y timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes). Según el Ministerio de Medio Ambiente (MMA 2024), en 2023, angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) y cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) se encontraba entre las 10 especies más comercializadas siendo listadas cuando relacionadas con el origen de la gestión sostenible (Resex). Cuando la busca es en base a el nombre científico, la primera especie listada es cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), con nombres populares de cumarú, cumarú ferro o cumarú amarillo, y angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) fue el undécimo, con los nombres de angelim pedra, angelim o sucupira amarilla. Por otro lado, cuando el listado se produce con un nombre popular, maçaranduba es la primera, angelim pedra es la cuarta y cumarú ferro, el séptimo nombre, reforzando la importancia de una identificación correcta de las especies después de cortar la madera a través de su anatomía, principalmente porque en algunas situaciones la nomenclatura constante en los inventarios es incorrecta.

El proceso de identificación de la madera a través de su estructura anatómica es complejo e involucra pasos de descripción macroscópica y microscópica. En los análisis macroscópicos de la madera los caracteres están sujetos a alta variabilidad, por ejemplo, en función de diferentes condiciones de crecimiento del árbol, exposición al aire o radiación UV después de la tala (Bernal *et al.* 2011; Schmitz *et al.* 2020), y muchas veces, son suficientes para identificar una muestra de madera solo a nivel de género (Gasson 2011).

Los análisis microscópicos generalmente se basan en la lista de 163 caracteres anatómicos del Comité IAWA (1989) y, en general, permiten la identificación del conjunto completo de productos de madera, y también presentan algunas limitaciones como equipo de laboratorio para preparar y observar microsecciones de la muestra de madera desconocida que se va a identificar (Schmitz *et al.* 2020). Así, en la identificación microscópica se pueden analizar aspectos de la madera, tales como tipos de punteaduras, tipo de ornamentación de las paredes celulares, composición celular de los rayos, dimensiones de las células, presencia de inclusiones inorgánicas (cristales y sílices), entre otras características importantes, no solo para la identificación de la madera, sino también para su correcto uso (Botosso 2011).

La anatomía de la madera generalmente suele conservarse entre especies del mismo género, lo que dificulta distinguirlas; sin embargo, la anatomía de la madera es el único método para el cual esta discrepancia está bien caracterizada y está claro para cada especie si la identificación es especie o a género (Low *et al.* 2023). Se puede observar una alta variación dentro de la especie y dentro del sitio de las variables anatómicas de la madera, que muestran cómo los árboles pueden adaptarse o ajustarse a la variabilidad ambiental (Fichtler y Worbes 2012). Por tanto, para que sea posible una correcta identificación de la madera, es necesario disponer de colecciones de referencia estandarizadas (Gasson *et al.* 2020).

La identificación de especies amazónicas, comercializadas con nombres vernáculos similares, con base en la anatomía de la madera, aparece en estudios con especies de angelim (Ferreira *et al.* 2004), sucupira (Soares *et al.* 2014), laureles (dos Santos *et al.* 2022), entre otras, destacando la importancia de estos estudios para combatir el comercio ilegal de madera.

En el caso de maderas estrechamente relacionadas (comerciales), además de la variación del valor comercial de las especies, la identificación de la madera solo puede ser tan buena como el identificador y la colección de referencia utilizados (Schmitz *et al.* 2020). Debido a esto, el objetivo de este estudio fue describir las características anatómicas macroscópicas y microscópicas de seis maderas comerciales pertenecientes a la familia Fabaceae, obtenidas en una comunidad extractiva, en áreas de manejo forestal comunitario, basada en la nomenclatura popular, proporcionando así una base de datos para las poblaciones locales inspeccionen el comercio ilegal de bosques nativos en Brasil.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un Área de Manejo Forestal (AMF) perteneciente a dos comunidades extractivas, Paraíso y Arimum. Ambas comunidades están ubicadas en la Reserva Extractiva “Verde Para Sempre” en las coordenadas 01°55'45,4” S y 52°56'10,5” W, con un área total de 1289362,78 hectáreas, en Porto de Moz, Estado de Pará. La comunidad de Paraíso tiene autorizado un volumen de extracción anual de 2198,64 m³ (Autorización 7/2017) y la comunidad de Arimum está autorizada para extraer 4740,74 m³ (Autorización 9/2016).

El estudio fue aprobado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA 2024) y el Instituto Chico Mendes para la Conservación de la Biodiversidad (ICMBio) con el número 64485-1, registrado en el Sistema de Información de Autorización y Biodiversidad (SISBIO). Todas las especies analizadas se encuentran registradas en el Sistema de Gestión del Patrimonio Genético Nacional (SisGen) bajo el código A96552E.

Las especies fueron colectadas en dos censos forestales realizados en Unidades de Producción Anual (UPA-2016 y UPA-2017). Los árboles, de bosques nativos y edad desconocida, fueron seleccionados en función de la disponibilidad en cada zona legal de explotación. El muestreo consistió en: 1) selección de la especie (árbol); 2) corte del árbol y retirada de uno disco de madera de 5 cm de espesor, tomado 10 cm por encima del punto de corte; 3) retirada de una tira central del disco de madera de 5 cm de ancho, en el sentido corteza-médula; 4) las tiras de madera se seccionaron en cubos de madera maciza de 2,5 cm x 2,5 cm x 2,5 cm (largo, ancho y espesor), en número variable (11-20) en función de las dimensiones de las tiras de madera. Estos cubos se utilizaron para realizar análisis macroscópicos y microscópicos de la madera. La identificación de las especies se realizó en el Laboratorio de Anatomía y Calidad de la Madera (LANAQM) de la Universidad Federal de Paraná-UFPR. El muestreo de individuos abarcó toda la variación radial del tronco, sin separación entre duramen y albura. En total se elaboraron 101 cubos de madera maciza de siete especies (Tabla 1).

Tabla 1: Especies de la familia Fabaceae colectadas en Áreas de Manejo Forestal Comunitario (Paraíso y Arimum).

Nombre Común	Nombre Científico	Comunidad
Angelim pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	Paraíso
Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i>	Arimum
Louro cumarú	<i>Ormosia</i> sp.	Paraíso
Fava tamboril	<i>Enterolobium maximum</i>	Paraíso
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Paraíso
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Arimum
Timborana	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i>	Paraíso

La caracterización de la estructura macroscópica y microscópica de la madera siguió las normas de la International Association of Wood Anatomists (IAWA 1989) y Commercial Woods of Brazil (Coradin *et al.* 2010). La identificación de las muestras de madera mediante análisis de la estructura anatómica macroscópica se realizó en las direcciones de corte de la madera transversal, radial y tangencial.

Inicialmente, para estandarizar las superficies y realzar las características anatómicas, los cubos de madera se pulieron con lijas de grano 80, 600 y 1500. Se analizó la estructura anatómica con una lupa de 10 aumentos. Se realizó la descripción anatómica, verificando las características generales de la madera, tales como color, brillo, olor, resistencia al corte manual, presencia de camadas de crecimiento, parénquima axial (visibilidad y tipo), visibilidad de radios, y vasos (visibilidad, tipo, distribución y obstrucción).

Para los análisis microscópicos de la madera se prepararon probetas con dimensiones de 2,5 cm en las tres direcciones de corte de la madera: transversal, radial y tangencial. Se prepararon láminas permanentes con cortes de 24 µm de espesor para análisis y 30 mediciones de las siguientes características anatómicas: i) frecuencia de rayos; ii) altura de los rayos; iii); anchura de los rayos en número de células; iv) frecuencia de los vasos; v) diámetro del vaso. El material disociado se produjo por el método de Franklin (1945).

Para la obtención de imágenes y las mediciones de los elementos celulares se utilizó un microscopio estereoscópico marca Zeiss modelo Stereo Discovery-V12 con Software Axio Vision con escala micrométrica acoplado al lente. La evaluación de los resultados fue efectuada a través de la comparación de las especies dos a dos, debido a similitudes anatómicas o nombre popular.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico cuantitativo descriptivo utilizando el software estadístico R. Las características anatómicas microscópicas (altura y anchura de los radios, frecuencia y diámetro de los vasos) obtenidos de las muestras de madera se sometieron a la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y a la prueba de Bartlett para evaluar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas ($\alpha = 0,05$).

Para todas las variables, la distribución de los datos de la muestra no siguió la curva de normalidad y, por lo tanto, para garantizar los supuestos del análisis de varianza, se realizó la transformación de Box-Cox y logarítmica de las variables, pero no tuvo éxito. Por lo tanto, el enfoque alternativo fue realizar una prueba de comparación de medias no paramétrica (de tres o más grupos). Por lo tanto, se utilizó la prueba de Kruskal Wallis ($\alpha = 0,05$) implementada en el paquete “AgroR” (Shimizu *et al.* 2022) para evaluar la hipótesis de no diferencias entre grupos de especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características macroscópicas

Todas las especies presentaron olor y sabor indistintos. Las especies louro cumarú (*Ormosia* sp.), cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) y fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke) presentan duramen y albura indistintos o poco distinguidos por su color. *Hymenaea courbaril* presenta duramen y albura de color distinto, duramen marrón rojizo, albura que varía de blanco-rosado a grisáceo. Timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes) también tiene duramen y albura distintos, duramen de color marrón rojizo, albura que varía de marrón claro a marrón rosado claro. La textura es media en *Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes) variando de media a espesa en las demás especies, con aspecto fibroso atenuado (louro cumarú (*Ormosia* sp.) y cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.)) y acentuado angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke). El grano es irregular en louro cumarú (*Ormosia* sp.), cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) y timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes), variando de recto a irregular en jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) y fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke).

A partir del color del duramen como clave diferenciadora, las muestras fueron clasificadas em tres grupos macroscópicos (Figura 1): 1) pardusco (angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke), cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) y louro cumarú (*Ormosia* sp.)); 2) marrón rosado claro (fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke)); y 3) marrón rojizo (jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) y timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes)).

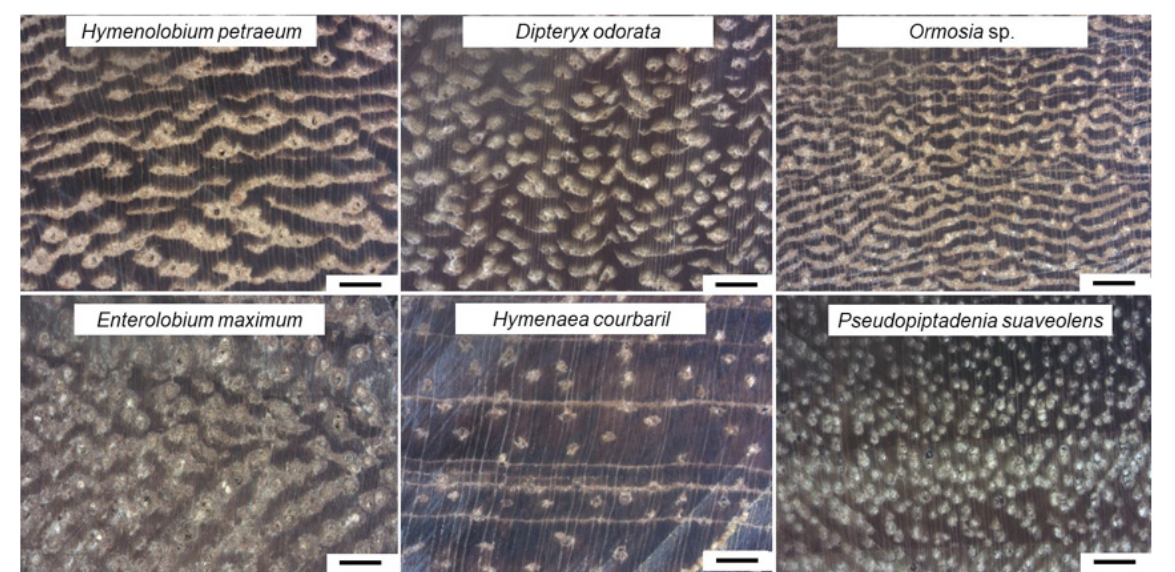


Figura 1: Imágenes macroscópicas de la madera de especies de la familia Fabaceae estudiadas. (Barra de escala = 1000 μm).

Características microscópicas

Cualitativamente, todas las muestras de madera analizadas mostraron porosidad difusa, placa de perforación simple y punteaduras entre vasos alternas.

Louro cumarú (*Ormosia* sp.) versus cumarú (*Dipteryx odorata* Aubl.)

Los caracteres anatómicos microscópicos de ambas especies fueron similares. Louro cumarú (*Ormosia* sp. - Figura 1a, Figura 1b, Figura 1c) y cumarú (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. - Figura 2d, Figura 2e, Figura 2f) tiene anillos de crecimiento poco diferenciados debido al engrosamiento de la pared de la fibra; vasos con porosidad difusa, solitarios y múltiples radiales de 2-3, obstruidos por resina (Figura 2a, Figura 2d), placa de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas; parénquima axial aliforme y confluyente en tramos cortos y largos, formando bandas (Figura 2a, Figura 2d); fibras de paredes gruesas y no septadas.

Cristales prismáticos en serie presentes en las células del parénquima axial, indicado por la flecha azul (Figura 2b) en *Ormosia* sp. y cristales prismáticos aislados en cumarú (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.).

Louro cumarú (*Ormosia* sp.) tiene radios homogéneos y/o heterogéneos, con una fila marginal de células cuadradas (Figura 2b), uni a triseriados, en su mayoría biseriados y no estratificados (Figura 2c); cumarú (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) tiene radios homogéneos (Figura 2e), en su mayoría uniseriados, biseriados solo en las regiones del parénquima axial, y estratificados (Figura 2f).

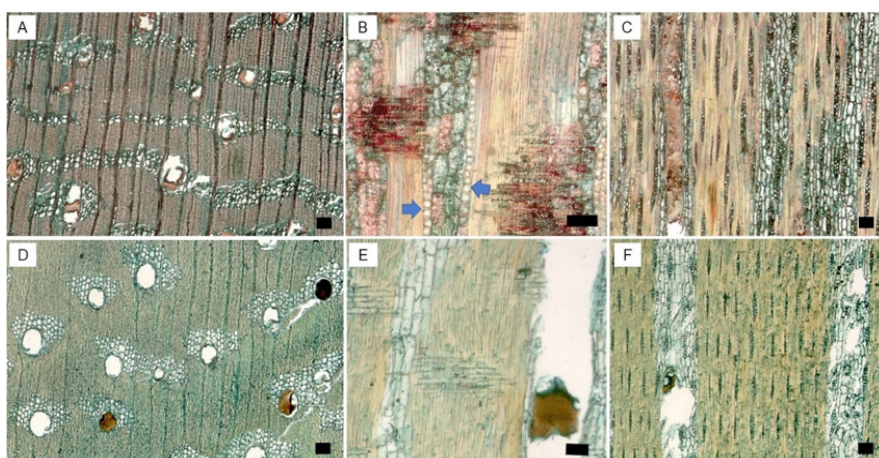


Figura 2: Imágenes microscópicas de *Ormosia* sp. - (A-C) y *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. (D-F). Sección transversal (A, D), sección radial (B, E), sección tangencial (C, F). Flecha azul: cristales en el parénquima. (Barra de escala = 100 μ m).

Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) versus fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke)

Las muestras de angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke - Figura 3a, Figura 3b, Figura 3c) y fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke - Figura 3d, Figura 3e, Figura 3f) tienen vasos con porosidad difusa, solitarios (Figura 3a, Figura 3d) y múltiples radiales de 2-3, obstruidos por resina o tilos, placa de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas.

Los anillos de crecimiento son indistintos o distintos por una fina banda de parénquima axial en angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) y diferenciados por engrosamiento de la pared de fibras en fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke). Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) tiene parénquima axial aliforme y confluyente con secciones cortas y largas (formando bandas delgadas y/o líneas marginales); radios heterogéneos, con células procumbentes en el cuerpo del radio con 1-2 capas de células marginales cuadradas o verticales (Figura 3b), triseriados y biseriados con irregular estratificación en la región del parénquima axial (Figura 3c); fibras de paredes gruesas, no septadas; cristales prismáticos en serie presentes en las células del parénquima axial.

Fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke) (Figura 3d, Figura 3e, Figura 3f) tiene parénquima axial vasicéntrico, aliforme y confluyente en tramos cortos (Figura 3d), eventualmente formando bandas; radios homogéneos (Figura 3e), uniseriados y multiseriados, de 1 a 3 células de ancho, no estratificados (Figura 3f); fibras con paredes medianas y septadas.

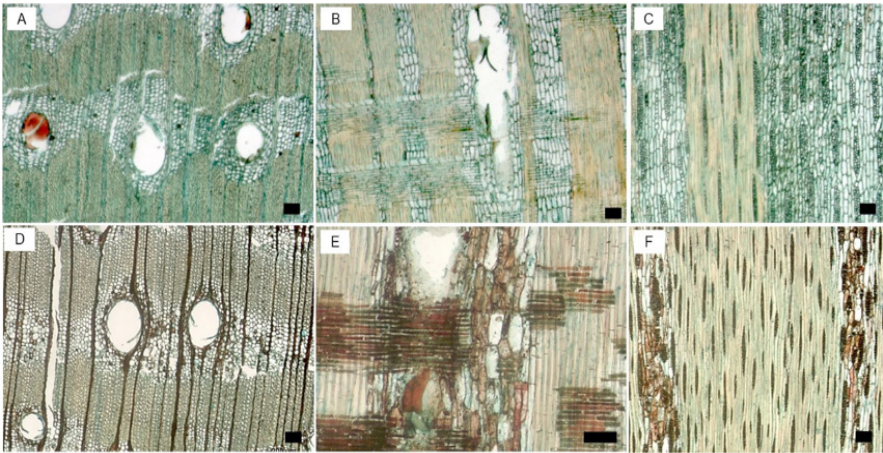


Figura 3: Imágenes microscópicas de *Hymenolobium petraeum* Ducke (A-C) y *Enterolobium maximum* Ducke (D-F). Sección transversal (A, D), sección radial (B, E), sección tangencial (C, F). (Barra de escala = 100 µm).

Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) versus timborana (*Piptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes)

Las especies presentaron vasos con porosidad difusa, solitarios y múltiples radiales de 2-3 y hasta 4 (Figura 4a, Figura 4d), obstruidos por oleo resina en jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) y 7 con poca frecuencia, obstruidos por tilides en timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes); placa de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas; fibras no septadas, paredes medias a gruesas; cristales prismáticos presentes en las células del parénquima axial y radial.

Los anillos de crecimiento resultaron diferenciados por el parénquima marginal (jatobá - *Hymenaea courbaril* L.) y debido al engrosamiento de la pared de fibras (timborana - *Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes).

Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) tiene parénquima axial marginal (Figura 4a) de 3-10 células de anchura, unilateral, aliforme, eventualmente confluyente y timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes) presenta parénquima axial escaso, vasicéntrico/unilateral, aliforme con aletas cortas, eventualmente confluentes. Los radios fueron homogéneos, con células marginales procumbentes diferentes al cuerpo del radio (Figura 4b), multiseriados de 2-6, no estratificados (Figura 4c) en jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) y homogéneos (Figura 4e), en su mayoría uniseriados, no estratificados (Figura 4f) en timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes).

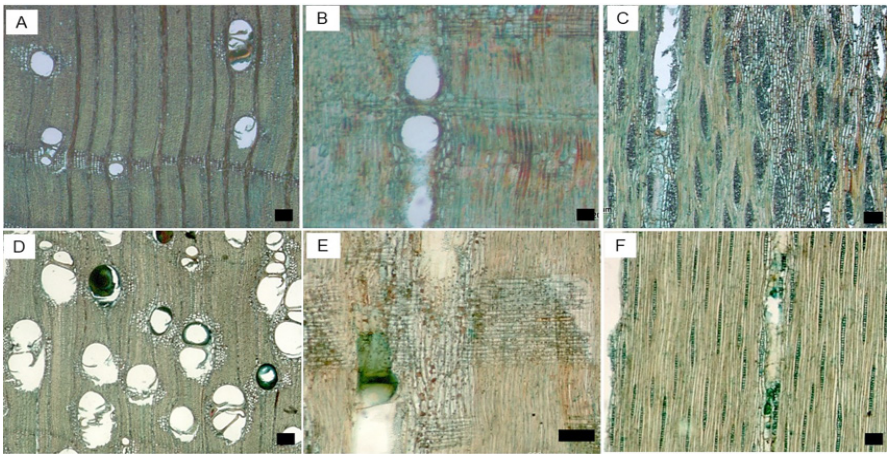


Figura 4: Imágenes microscópicas de *Hymenaea courbaril* L. (A-C) y *Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes (D-F). Sección transversal (A, D), sección radial (B, E), sección tangencial (C, F). (Barra de escala = 100 µm).

En relación a las dimensiones celulares (Tabla 2) algunas variaciones fueron observadas. En relación al número de radios por milímetro, cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) y fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke) mostraron valores significativamente más altos y estadísticamente iguales entre sí, mientras que las maderas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) presentaron las cantidades más bajas. La altura de los radios fue mayor para angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) y louro cumarú (*Ormosia* sp.) y menor para cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.). Por otro lado, jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) y angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) mostraron mayores anchos de radio y timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes) radios menos anchos. Timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes) presentó el mayor número de vasos por milímetro cuadrado. En cuanto al diámetro de vaso, la especie fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke) presentó el mayor promedio, y cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) y louro cumarú (*Ormosia* sp.) los valores de menor diámetro fueron estadísticamente iguales entre sí (Tabla 2).

Tabla 2: Dimensiones celulares de la madera das especies de la familia Fabaceae colectadas en Áreas de Manejo Forestal Comunitario (Paraíso y Arimum).

Especie	Estadística	Radios/ mm	Ancho radios (µm)	Largura radios (µm)	Vasos/m m²	Diámetro vasos (µm)
<i>Ormosia</i> sp.	Mín.	3	206,82	25,92	3	73,51
	Promedio	4,60 cd	346,03 a	25,92 b	4,70 b	111,50 e
	Máx.	7	569,12	25,92	8	146,19
	DE	1,19	85,56	1,01	1,18	20,29
<i>Dipteryx odorata</i>	Mín.	6	130,67	11,88	3	54,04
	Promedio	8,43 a	164,09 e	23,52 bc	4,47 b	115,50 e
	Máx.	12	202,09	31,09	7	167,4
	DE	1,55	18,29	4,36	0,94	26,8
<i>Hymenolobium petraeum</i>	Mín.	4	201,01	19,47	1	127,47
	Promedio	5,67 b	336,61 a	40,42 a	2,17 d	191,77 b
	Máx.	7	442,65	66,31	4	262,53
	DE	0,92	51,35	12,26	0,83	36,34
<i>Enterolobium maximum</i>	Mín.	5	128,58	11,88	1	167,39
	Promedio	7,77 a	236,53 d	21,44 c	2,80 d	225,12 a
	Máx.	12	346,82	38,88	4	295,69
	DE	1,68	59,06	7,19	0,81	34,99
<i>Hymenaea courbaril</i>	Mín.	2	163,24	14,04	2	84,3
	Promedio	4,17 d	303,64 b	46,11 a	3,53 c	147,18 c
	Máx.	8	482,28	80,5	7	216,87
	DE	1,01	70,98	13,78	1,46	26,31
<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i>	Mín.	3	151,5	9,96	3	87,47
	Promedio	5,12 c	271,52 c	17,30 d	6,82 a	136,29 d
	Máx.	8	386	31,32	11	254,88
	DE	1,17	56,05	4,37	2,21	34,12

Letras iguales en cada característica anatómica (columna) indican que no hay diferencia entre especies según la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$). mín. = mínimo; Máx. = máximo; promedio = promedio; DE = desviación estándar.

Las dimensiones celulares de las especies estudiadas están dentro de los valores de referencia citados en las descripciones de Mainieri y Chimelo (1989), compiladas por Richter y Dalwitz (2000). Los valores del diámetro tangencial de los vasos, la frecuencia de los vasos y la altura de los radios obtenidos para el angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) fueron más bajos que los descritos por Muñoz *et al.* (2016) evaluando muestras del diámetro a la altura del pecho de diferentes especies comercializadas como angelim provenientes del estado de Mato Grosso (Brasil) y similares a otras muestras de la región amazónica avaladas por Ferreira *et al.* (2004). Para jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), el diámetro promedio de los vasos y la altura de radio son más bajas que las descritas por Mamoňová y Reinprecht (2020).

Para *Ormosia* sp., los valores de frecuencia de rayos resultaron similares, la altura de los rayos fue mayor y el diámetro de los vasos es menor que los observados por Loureiro y Lisboa (1979) en seis especies del género colectadas en el Estado de Amazonas.

La madera de cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) tiene valores promedio de diámetro de los vasos, altura y frecuencia de los radios dentro del rango de valores citados por Mainieri y Chimelo (1989) para madeira del estado do Pará, y valores promedio de diámetro de los vasos superiores, y de altura de radio inferiores a los descritos por Mamoňová y Reinprecht (2020). En comparación con la madera del estado de Mato Grosso (Nisgoski *et al.* 2012), los valores promedio de diámetro y frecuencia de los vasos fueron similares y los valores de altura del radio resultaron menores.

En muchas situaciones, el tamaño de los vasos está altamente correlacionado con las dimensiones del árbol y la exposición al sol, y las condiciones climáticas generales tienen una gran influencia en las fibras y parénquima (Fichtler y Worbes, 2012)

Las maderas de especies pertenecientes a la familia Fabaceae, en general, presentan vasos con porosidad difusa, placa de perforación simple, parénquima axial paratraqueal, radios homogéneos y/o heterogéneos y fibras medianamente abundantes (Baas *et al.* 2000, Wheeler *et al.* 2007, Paula y Alves 2007). Hoadley (1990) señala que las maderas de las especies tropicales son muy similares en relación a las características anatómicas macroscópicas y microscópicas, especialmente para el parénquima axial paratraqueal, porosidad difusa y textura (media a gruesa).

En este estudio, se observó la aparición de anillos de crecimiento distintos para las especies de fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) y timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. Grimes) y ligeramente distintos o indistintos para angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke), cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) y louro cumarú (*Ormosia* sp.).

Marcelo-Peña *et al.* (2020) han reportado que el análisis de anillos de crecimiento de árboles es tradicionalmente posible en biomasa con fuerte estacionalidad, y describieron una asociación entre el parentesco filogenético y el nivel de distintividad en los anillos de crecimiento, observando que las especies caducifolias de bosques tropicales estacionalmente secos, estaban asociadas con anillos de crecimiento distintos y delimitados principalmente por parénquima marginal, mientras que los anillos de crecimiento indistintos estaban asociados con árboles siempreverdes de bosques húmedos premontanos y amazónicos de tierras bajas en Perú.

Alves y Angyalossy-Alfonso (2000) afirman que esta característica no debe usarse sola como criterio para separar especies, debido a influencias ambientales. Callado *et al.* (2013) también coincidieron en que la estacionalidad es un factor que influye directamente en el desarrollo de las especies tropicales y, por tanto, en delimitación de anillos de crecimiento, debido a la falta de estaciones bien definidas.

Sólo la especie fava tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke) presentó fibras del tipo septadas. Wheeler *et al.* (2007) afirmaron que las especies con fibras septadas son más comunes en las regiones tropicales, especialmente en el hemisferio sur. Alves y Angyalossy-Alfonso (2002), investigando varias especies de árboles brasileños (n = 491), informaron que el 56 % de las muestras de madera con fibras septadas procedían de las regiones norte y noreste de Brasil.

En este estudio, la mayoría de las especies presentaron parénquima axial paratraqueal, aliforme confluyente, y/o marginal y unilateral. Las especies de latitudes tropicales se caracterizan por una mayor abundancia de parénquima axial paratraqueal, en comparación con las de climas templados, que comúnmente presentan parénquima escaso. Sin embargo, existe dificultad para evaluar las ventajas o desventajas funcionales de los diferentes patrones de distribución del parénquima axial en varios ecosistemas (Baas 1982).

CONCLUSIONES

Las características anatómicas microscópicas de la madera permiten distinguir las especies de la familia Fabaceae con nombres vernáculos similares, después de la tala en reservas extractivas.

Características como parénquima axial, composición o estratificación de los radios, espesura de la fibra y presencia de septos, distribución de cristales en las células de parénquima axial y/o radial se constituyen como claves para respaldar diagnóstico del uso de la anatomía de la madera para la distinción de las especies estudiadas.

La madera de *H. petraeum* presentó radios heterogéneos, a diferencia de las otras que presentaron rayos homogéneos; *H. courbaril* presentó parénquima axial marginal, y las demás especies presentaron parénquima axial aliforme confluyente losangular y/o vasicéntrico unilateral; y *E. maximum* fue la única especie con fibras septadas.

Las descripciones anatómicas después de cortar el árbol, evitan la comercialización errónea de una especie, especialmente en situaciones de confiabilidad en el inventario, apoyando la trazabilidad de productos maderables.

Author contributions

J. X. D. S.: Redacción - borrador original, redacción - revisión y edición, administración de proyectos, metodología, conceptualización. R. S.: Redacción - revisión y edición, metodología, conceptualización. H. C. V.: Software, conservación de datos, redacción - revisión y edición. T. L. N. A.: Redacción - revisión y edición, metodología, conceptualización. D. V. S.: Software, recopilación de datos, redacción - revisión y edición. G. I. B. D. M.: Supervisión. P. S.: Supervisión. S. N.: Validación, supervisión

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) en el marco del proyecto 168194/2022-8; y la Coordinación de Mejora del Código Financiero del Personal de Educación Superior (CAPES) 001.

REFERENCIAS

Alves, E.S.; Angyalossy-Alfonso, V. 2000. Ecological trends in wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. *IAWA Journal* 21(1): 3-30. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000233>

Alves, E.S.; Angyalossy-Alfonso, V. 2002. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. *IAWA Journal* 23(4): 391-418. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000311>

Baas, P. 1982. Systematic, phylogenetic, and ecological wood anatomy - history and perspectives. In: *New perspectives in wood anatomy*. Springer: Dordrecht, Países Bajos, pp. 23-58. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2418-0_2

Baas, P.; Wheeler, E.; Chase, E.M. 2000. Dicotyledonous wood anatomy and the APG system of angiosperm classification. *Botanical Journal of the Linnean Society* 134(1-2): 3-17. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2000.tb02343.x>

Bernal, R.A.; Coradin, V.; Camargos, J.; Costa, C.; Pissarra, J. 2011. Wood anatomy of Lecythidaceae species called tauari. *IAWA Journal* 32(1): 97-112. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000046>

Botosso, P.C. 2011. Identificação Macroscópica de Madeira: guia prático e conceitos básicos para seu reconhecimento. Embrapa Florestas: Colombo, Brasil. 65p. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/894373>

Brasil. 2000. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Diário Oficial da União: Brasília, Brasil. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm

Callado, C.H.; Roig, F.A.; Tomazello-Filho, M.; Barros, C.F. 2013. Cambial growth periodicity studies of South American woody species - a review. *IAWA Journal* 34(3): 213-230. <https://doi.org/10.1163/22941932-00000019>

Coradin, V.T.R.; Camargos, J.A.A.; Pastore, T.C.M.; Christo, A.G. 2010. Madeiras Comerciais Brasileiras: Chave de identificação interativa baseada em caracteres gerais e macroscópicos. Serviço Florestal Brasileiro: Brasília, Brasil. https://keys.lucidcentral.org/keys/v4/madeiras_comerciais_do_brasil/index_pt.html

Dos Santos, J.X.; Vieira, H.C.; Naide, T.L.; Souza, D.V.; Stygar, M.; Muñiz, G.I.B.; Soffiatti, P.; Nisgoski, S. 2022. Anatomical traits of “louros” wood from the Brazilian Amazon for wood identification. *Journal of Tropical Forest Science* 34(4): 415-425. <https://doi.org/10.26525/jtfs2022.34.4.415>

Ferreira, G.C.; Gomes, J.I.; Hopkins, M.J.G. 2004. Estudo anatômico das espécies de Leguminosae comercializadas no estado do Pará como “angelim”. *Acta Amazonica* 34(3): 387-398. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000300005>

Fichtler, E.; Worbes, M. 2012. Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. *IAWA Journal* 33(2): 119-140. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000084>

Flora do Brasil. 2020. Fabaceae en Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br>

Franklin, G.L. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature* 155(3924): 51. <https://doi.org/10.1038/155051a0>

Gasson, P. 2011. How precise can wood identification be? Wood anatomy’s role in support of the legal timber trade, especially CITES. *IAWA Journal* 32(2): 137-154. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000049>

Gasson, P.E.; Lancaster, C.A.; Young, R.; Redstone, S.; Miles-Bunch, I.A.; Ree, G.; Guillery, R.P.; Parker-Forney, M.; Lebow, E.T. 2020. WorldForestID: Addressing the need for standardized wood reference collections. *Plants People Planet* 3: 130-141. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10164>

Hoadley, R.B. 1990. *Identifying wood: accurate results with simple tools*. Taunton Press: Newtown, USA. 248p.

IAWA. 1989. List of microscopic features of hardwood identification. *IAWA Bulletin* 10(3): 219-332. <https://www.researchgate.net/publication/294088872>

Lewis, G.P.; Schrire, B.; Mackinder, B.; Lock, M. (Eds.) 2005. *Legumes of the World*. Royal Botanic Gardens: Kew, Inglaterra. 592p. <https://doi.org/10.1017/S0960428606190198>

Loureiro, A.A.; Lisboa, P.L.B. 1979. Anatomia do lenho de seis espécies de *Ormosia* (Leguminosae) da Amazônia. *Acta Amazonica* 9(4): 731-746. <https://doi.org/10.1590/1809-43921979094731>

Low, M.C.; Schmitz, N.; Boeschoten, L.E.; Cabezas, J.A.; Cramm, M.; Haag, V.; Koch, G.; Meyer-Sand, B.R.V.; Paredes-Villanueva, K.; Price, E.; Thornhill, A.H.; Van Brusselen, J.; Zuidema, P.A.; Deklerck, V.; Dormontt, E.E.; Shapcott, A.; Lowe, A.J. 2023. Tracing the world’s timber: verification technologies. *IAWA Journal* 44(1): 63-84. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10097>

Mainieri, C.; Chimelo, J.P. 1989. Fichas de características de madeiras brasileiras. IPT/DIMAD: São Paulo, Brasil. 418p.

Marcelo-Peña, J.L.; Roig, F.A.; Goodwin, Z.A.; Tomazello-Filho, M. 2020. Characterizing growth rings in the trees of Perú. *Dendrochronologia* 62: 125728. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125728>

Mamoňová, M.; Reinprecht, L. 2020. The impact of natural and artificial weathering on the anatomy of selected tropical hardwoods. *IAWA Journal* 41(3): 333-355. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10028>

MMA. 2022. Ministério do Meio Ambiente. Painel Unidades de Conservação Brasileiras.

MMA. 2024. Ministério do Meio Ambiente. Industrialização e Comércio de Produtos Florestais.

Muñiz, G.I.B.; Carneiro, M.E.; Batista, F.R.R.; Schardosin, F.Z.; Nisgoski, S. 2016. Wood and charcoal identification of five species known as “angelim”. *Maderas. Ciencia y tecnología* 18(3): 505-522. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000045>

Nisgoski, S.; Muñiz, G.I.B.; França, R.F.; Batista, F.R.R. 2012. Anatomia do lenho carbonizado de *Copaifera cf. langsdorfii* e *Dipteryx odorata*. *Ciência da Madeira* 3(2): 66-79. <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/4038>

Paula, J.E.; Alves, J.L.H. 2007. *Madeiras Nativas do Brasil: Anatomia; Dendrologia; Produção*. Cinco Continentes: Porto Alegre, Brasil. 438p.

Richter, H.G.; Dallwitz, M.J. 2000. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. <http://delta-intkey.com/wood/index.htm>

Schmitz, N. H.; Beeckman, C.; Blanc-Jolivet, L.; Boeschoten, J.W.B.; Braga, J.A.; Cabezas, G.; Chaix, S.; Crameri, B.; Degen, V.; Deklerck, E.; Dormontt, E.; Espinoza, P.; Gasson, V.; Haag, S.; Helmling, M.; Horacek, G.; Koch, C.; Lancaster, F.; Lens, A.; Lowe, S.; Martínez-Jarquín, J.A.; Nowakowska, A.; Olbrich, K.; Paredes-Villanueva, T.C.M.; Pastore, T.; Ramanantoandro, A.R.; Razafimahatratra, P.; Ravindran, G. Rees, L.F.; Soares, N.; Tysklind, M.; Vlam, C.; Watkinson, E.; Wheeler, R.; Winkler, A.C.; Wiedenhoef, V.Th.; Zemke, V.; Zuidema, P. 2020. Overview of current practices in data analysis for wood identification. Global Timber Tracking Network: European Forest Institute and Thünen Institute. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21518.79689>

Shimizu, G.D.; Marubayashi, R.Y.P.; Gonçalves, L.S.A. 2022. AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences. R package version 1.2.7. <https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html>

Soares, W.F.; Melo, L.E.L.; Lisboa, P.L.B. 2014. Anatomia do lenho de cinco espécies comercializadas como “sucupira”. *Floresta e Ambiente* 21(1): 114-125. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.042>

Verissimo, A.; Pereira, D. 2014. Produção na Amazônia florestal: características, desafios y oportunidades. *Parcerias Estratégicas*: Brasília, Brasil. 216p. https://seer.cgee.org.br/parcerias_estrategicas/article/view/760/696

Wheeler, E.A.; Baas, P.; Rodgers, S. 2007. Variations in dicot wood anatomy: A global analysis based on the insidewood database. *IAWA Journal* 28(3): 229-258. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001638>