



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

PAULO ROBERTO SANTOS JOSINO

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H.C. Lima PARA
PRODUTOS DE CELULOSE**

**BELÉM
2023**

PAULO ROBERTO SANTOS JOSINO

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H.C. Lima PARA
PRODUTOS DE CELULOSE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Ciências Florestais.
Orientadora: Profa. Dra. Marcela Gomes da Silva

**BELÉM
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- J83q Josino, Paulo Roberto Santos Josino
QUALIDADE DA MADEIRA DE *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H.C. Lima PARA PRODUTOS DE CELULOSE / Paulo Roberto Santos Josino Josino. - 2023.
74 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2023.
Orientador: Prof. Dr. Marcela Gomes da Silva Da Silva
1. Bifurcação. 2. Tecnologia da madeira. 3. Celulose. 4. Biomateriais. I. Da Silva, Marcela Gomes da Silva, *orient.* II. Título

CDD 674.109811

PAULO ROBERTO SANTOS JOSINO

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H.C. Lima PARA
PRODUTOS DE CELULOSE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do
Curso de Mestrado em Ciências Florestais para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Ciências Florestais.
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marcela Gomes

Aprovado em 29 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



MARCELA GOMES DA SILVA
Data: 27/12/2023 08:43:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Marcela Gomes da Silva - Presidente
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Documento assinado digitalmente



THIAGO DE PAULA PROTASIO
Data: 26/12/2023 11:57:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Thiago de Paula Protásio – 1º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Documento assinado digitalmente



JULIANA LIVIAN LIMA DE ABREU
Data: 26/12/2023 14:29:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Juliana Livian Lima de Abreu – 2º Examinador
SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE - SEMAS

Documento assinado digitalmente



LINA BUFALINO
Data: 26/12/2023 15:31:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Lina Bufalino – 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças e pela oportunidade de ingressar e concluir este curso de pós-graduação na Universidade Federal Rural da Amazônia.

A minha mãe, por ter me incentivado ao longo dessa jornada, onde nos momentos mais difíceis estava comigo. Só peço a Deus que me dê a oportunidade de retribuir a benção que você é na minha vida.

A minha orientadora Dra. Marcela Gomes da Silva, e a Dra. Lina Bufalino, pela paciência, confiança, por todos os ensinamentos e orientações no desenvolvimento deste trabalho e entre outros também. Sempre serei grato pelo aprendizado proporcionado e pelas oportunidades.

Aos amigos que a Universidade Federal Rural da Amazônia me deu, muito obrigado pela motivação diária, pela união nos bons e maus momentos.

Ao programa de pós graduação em ciências florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia pela oportunidade e ao CNPq por todo o apoio financeiro para a realização do projeto.

À Embrapa Amazônia Oriental pela gestão e instalação da área experimental de *Tachigali vulgaris*, objeto de estudo desta dissertação.

Agradeço ainda, a Jari Celulose S.A. e Embrapa Amazônia Oriental pelo fornecimento da matéria-prima (madeira) utilizadas no estudo. E ao projeto “REDE BRASILEIRA DE PESQUISA EM CRESCIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA DA ESPÉCIE *Tachigali vulgaris* (TACHI BRANCO), PROVENIENTE DE PLANTIOS HOMOGÊNEOS, PARA GERAÇÃO DE BIOENERGIA NA AMAZÔNIA”, cadastrado na PROPED/UFRA sob o número PIPB146-2017.

Aos meus colegas do LTPF, Cássio, Suellem, Ítalo, Valéria, Lays pela ajuda em várias etapas do trabalho.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
2 OBJETIVO GERAL	13
2.1 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 A espécie <i>Tachigali vulgaris</i> – Características gerais	14
3.2 Influência da textura do solo nas propriedades da madeira	16
3.3 Influência da bifurcação dos fustes nas propriedades tecnológicas da madeira	17
3.4 Características anatômicas da madeira	18
3.5 Composição química da madeira	20
3.6 Nanofibras de celulose	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
4 QUALIDADE DA MADEIRA DE <i>Tachigali vulgaris</i> L. G. Silva & H.C. Lima PARA PRODUTOS DE CELULOSE	33
4.1 Introdução	33
4.2 Material e métodos	34
4.2.1 Área de estudo	34
4.2.2 Coleta e preparo dos materiais	35
4.2.3 Análise morfológica das fibras	37
4.2.4 Análise química da madeira	40
4.2.5 Análise estatística	44
4.3 Resultados e Discussão	44
4.3.1 Efeitos da bifurcação nas propriedades da madeira de <i>Tachigali vulgaris</i>	44
4.3.1.1 Textura de solo arenosa	44
4.3.1.2 Textura de solo argilosa	53
4.3.2 Efeitos da textura do solo nas propriedades da madeira de <i>Tachigali vulgaris</i>	59
4.3.2.1 Textura de solo arenoso x argiloso	59
4.4 Conclusão	65
4.5 Recomendações	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades da madeira e do carvão da espécie <i>Tachigali vulgaris</i>	15
Tabela 2 - Descrição dos tratamentos	36
Tabela 3 - Classificação referente ao coeficiente de flexibilidade	39
Tabela 4 - Classes do Índice de Runkel.....	40
Tabela 5 - Resumo da análise de variância para as características anatômicas da madeira do tachi-branco	45
Tabela 6 - Estatística descritiva das características morfológicas das fibras de madeira tachi-branco em função do tipo de fuste, para o solo do tipo arenoso.....	45
Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as características químicas da madeira do tachi-branco	50
Tabela 8 - Composição química das serragens in natura da espécie em estudo	50
Tabela 9 - Resumo da análise de variância para as características anatômicas da madeira do tachi-branco	53
Tabela 10 - Estatística descritiva das características morfológicas das fibras de madeira tachi-branco em função do tipo de fuste, para o solo do tipo argiloso	55
Tabela 11 - Resumo da análise de variância para as características químicas da madeira do tachi-branco	56
Tabela 12 - Composição química das serragens in natura da espécie em estudo	57
Tabela 13 - Estatística descritiva das características morfológicas das fibras de madeira tachi-branco em função do tipo de fuste, para os solos do tipo argiloso e argiloso	59
Tabela 14 - Dimensões das fibras de <i>Tachigali vulgaris</i> comparadas com outras espécies florestais	61
Tabela 15 - Composição química das serragens in natura da espécie em estudo	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição geográfica da espécie <i>Tachigali vulgaris</i> com divisão estadual e de biomas brasileiros	14
Figura 2 - Exemplos de bifurcação no fuste de <i>Tachigali vulgaris</i> do plantio experimental..	18
Figura 3 - Forma e disposição da celulose na parede celular	20
Figura 4 – Potencial de aplicações da nanocelulose.....	23
Figura 5 – Organograma de pesquisa	32
Figura 6 - Localização dos plantios experimentais de <i>T. vulgaris</i> em solos de textura arenosa (ARE) e argilosa (ARG), no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, Pará.....	35
Figura 7 - Organograma de amostragem das árvores e seccionamento dos discos.....	37
Figura 8 - Etapas do processo de maceração da madeira	37
Figura 9 - Mensuração das fibras	38
Figura 10 - Determinação do teor de extrativos totais da madeira.....	41
Figura 11 - Determinação do teor de cinzas da madeira	42
Figura 12 – Processo de obtenção do teor de holocelulose	43
Figura 13 - Processo de obtenção da Celulose	43
Figura 14 – Microfotografias da espécie <i>T. vulgaris</i>	44
Figura 15 - Índices de qualidade das fibras do solo arenoso	49
Figura 16 – Composição química das árvores em relação ao tipo de fuste	55
Figura 17 - Índices de qualidade das fibras do solo argiloso	56
Figura 18 - Composição química das árvores do solo argiloso	57
Figura 19 - Índices de qualidade das fibras do solo arenoso e argiloso	61
Figura 20 – Composição química do solo arenoso e argiloso	62

RESUMO

A elevada dependência de madeiras de espécies dos gêneros *Eucaliptus* e *Pinus*, associada à busca por produtos de qualidade, incentiva a pesquisa de madeiras alternativas para a indústria de biomateriais. Nesse contexto, tornam-se necessárias avaliar as inúmeras características que influenciam direta ou indiretamente na qualidade da madeira para prever o seu uso correto, como os efeitos da bifurcação das árvores e dos tipos de solos. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da textura do solo e bifurcação dos fustes na qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris* para produtos de celulose. Foi realizada coleta de material em área de plantação experimental pertencente à empresa Jari Celulose S.A., localizada no município de Almeirim, na mesorregião do baixo Amazonas, Pará. Foram avaliadas 8 árvores não bifurcadas e 8 bifurcadas, das quais foram retirados discos na posição 0% ao longo da altura comercial. Foram avaliadas a morfologia das fibras e a composição química da madeira em solos com textura arenosa e argilosa e com a presença ou não de bifurcações. Os resultados demonstraram que as madeiras de árvores cultivadas em solos com textura arenosa apresentaram diferenças significativas no comprimento de suas fibras. As árvores não bifurcadas apresentaram valor médio de 690,41 μm e as árvores bifurcadas de 614,93 μm . A razão de aspecto foi superior para as árvores não bifurcadas. No entanto, outros índices de qualidade para a produção de celulose e papel foram melhores para as árvores bifurcadas. As árvores originárias do solo argiloso seguiram o mesmo padrão com o comprimento das fibras e a razão de aspecto superiores para as árvores não bifurcadas 753,15 μm e 60 μm , respectivamente. Igualmente as árvores do solo arenoso, os índices de qualidade foram mais relevantes para as árvores bifurcadas. As árvores não bifurcadas demonstraram menor teor de extrativos totais tanto para o solo arenoso (6% base massa seca – bms) quanto para o solo argiloso (1,45% bms). Já o teor de celulose foi superior para as árvores bifurcadas para os dois tipos de solo, arenoso (43,96% base massa livre de extrativos – bml) e argiloso (42,04% bml). Este estudo demonstra que a madeira de *Tachigali vulgaris* apresenta potencial para a indústria de biomateriais em função de suas características anatômicas e químicas da madeira. Dessa forma, pode-se utilizar a madeira para a realização de estudos futuros no desenvolvimento de produtos de celulose como papéis, nanopapéis e nanofibrilas para compósitos.

Palavras-chave: *Biometria de fibras; Celulose; Bifurcação; Extrativos.*

ABSTRACT

The high dependence on wood from species of the *Eucalyptus* and *Pinus* genera, combined with the search for quality products, is encouraging research into alternative woods for the biomaterials industry. In this context, it is necessary to evaluate the numerous characteristics that directly or indirectly influence the quality of wood to predict its correct use, such as the effects of tree bifurcation and soil types. The aim of this study was therefore to assess the effect of soil texture and stem bifurcation on the quality of *Tachigali vulgaris* wood for pulp products. The material was collected from an experimental plantation belonging to the company Jari Celulose S.A., located in the municipality of Almeirim, in the mesoregion of the lower Amazon, Pará. Eight non-bifurcated and eight bifurcated trees were evaluated, from which disks were taken at the 0% position along the commercial height. The morphology of the fibers and the chemical composition of the wood were evaluated in soils with sandy and clayey textures and with the presence or absence of bifurcations. The results showed that the wood from trees grown in soils with a sandy texture showed significant differences in fiber length. The non-bifurcated trees had an average value of 690,41 μm and the bifurcated trees 614,93 μm . The aspect ratio was higher for non-bifurcated trees. However, other quality indices for pulp and paper production were better for the forked trees. The trees from the clay soil followed the same pattern, with fiber length and aspect ratio being higher for the unbifurcated trees at 753,15 μm and 60 μm , respectively. Like the trees on the sandy soil, the quality indices were more relevant for the forked trees. The non-bifurcated trees showed lower total extractive content for both the sandy soil (6% dry mass basis - bms) and the clay soil (1,45% bms). On the other hand, the cellulose content was higher for the forked trees in both types of soil, sandy (43,96% based on extractive free mass - bml) and clay (42,04% bml). This study shows that *Tachigali vulgaris* wood has potential for the biomaterials industry due to its anatomical and chemical characteristics. In this way, the wood can be used for future studies in the development of cellulose products such as papers, nanopapers, and nanofibrils for composites.

Keywords: Fiber biometry; Cellulose; Bifurcation; Extractives.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Visando a diminuição do impacto ambiental ocorrente no mundo, tem-se buscado processos e produtos naturais que auxiliem nesse desenvolvimento. Com isso, a demanda de matérias-primas que associem esses aspectos e que sejam menos nocivas ao meio ambiente tem aumentado mundialmente. Diante disso, um dos maiores desafios dos dias de hoje é a diminuição do uso de derivados de combustíveis fósseis (OLIVEIRA, 2017).

Acompanhando as tendências globais que remodelam o setor florestal, os produtores brasileiros de celulose estão interessados em expandir suas operações no setor de bioeconomia (MARIANO, 2015). De acordo com Georgescu (2012), esse termo remete uma hipótese sobre os limites biofísicos do crescimento econômico. No entanto, o termo é utilizado atualmente por instituições de todo o mundo para designar setores econômicos organizados em torno de atividades industriais complementares que competem pelo acesso à biomassa. Portanto, o desenvolvimento da bioeconomia significa utilizar biomassa economicamente viável na indústria para estimular o crescimento econômico e, em última análise, tornar o ambiente mais verde (VIVIEN et al., 2019).

Logo, devido à grande preocupação com a conservação dos recursos oriundos das florestas visando suprir a demanda mundial de produtos madeireiros, fazem-se necessários a abertura de novos mercados para o setor florestal. No Brasil destacam-se as florestas plantadas com cerca de 10 milhões de hectares plantados (IBÁ, 2022). As espécies mais utilizadas nos plantios são do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, porém, ao longo dos últimos anos, tem-se buscado espécies nativas e exóticas que possam atender a demanda das indústrias para os mais diversos fins (SBS, 2019).

Dentre as possibilidades, a *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H.C. Lima, popularmente conhecida como tachi-branco, é uma espécie nativa de rápido crescimento com taxas de 4,5 m de incremento médio anual em altura (CARVALHO, 2005), com grande potencial para reflorestamentos na região amazônica (MARTORANO et al., 2018). Sua madeira é utilizada para os mais diversos fins, como nas indústrias de móveis, para revestimentos, produção de lâminas e construções leves. No entanto, seu principal destino tem sido plantios para a produção de lenha e carvão (ORELHANA, 2015).

A espécie possui ampla distribuição sendo encontrada em diferentes tipos de biomas do território brasileiro (CARVALHO, 2003; MARTORANO et al., 2018), o que demonstra sua capacidade de se adaptar a diferentes condições climáticas e solos pobres em nutrientes (CASTRO et al., 1998). Segundo Sousa et al. (2016), mesmo que espécies florestais se

adaptem a baixa disponibilidade de nutrientes e consigam se desenvolver, é necessário que se faça o manejo e a correção da fertilidade do solo corretamente em cultivos com tachi-branco para que aumente a produtividade dos sítios florestais. A adoção de fontes de nutrientes por meio da adubação orgânica ou mineral devem ser levadas em consideração como práticas de manejo (BIAGIOTTI et al., 2017).

Existe uma ampla variação de solo e clima em todo o território brasileiro, determinando uma gama de variedades na produção florestal (GONÇALVES et al., 2014). A textura do solo e a precipitação pluviométrica, por exemplo, podem influenciar no potencial produtivo dos reflorestamentos, agindo como fatores limitantes (RYAN, 2010; GONÇALVES et al., 2014; ROSIM et al., 2016).

Outro fator relevante para a qualidade da madeira é a bifurcação dos fustes, que resulta em nós e grãos entrecruzadas diminuindo sua resistência e uniformidade. A ocorrência de bifurcação dos fustes pode provocar a diminuição do teor de lignina e o aumento do teor de celulose no lenho, diminuindo sua qualidade de uso energética (SMILEY, 2003; KANE et al., 2008).

Além de alterar a forma do fuste e promovendo, assim, a variabilidade nas propriedades tecnológicas da madeira, a bifurcação pode afetar de forma negativa a colheita florestal, pois o maquinário apresenta melhor desempenho em plantios com árvores de apenas um fuste (DVORAK et al., 2007; MCEWAN et al., 2016).

Devido à grande necessidade de se reduzir o consumo de materiais que derivam de fontes não renováveis, assim como a busca pela inovação tecnológica do uso de novos materiais, pesquisas nesta área têm se intensificado cada vez mais. Como exemplo, tem-se as nanofibras de celulose (NFC), ainda pouco produzida em escala comercial, diferentemente da polpa da celulose que já é utilizada há tempos na indústria de papel (CHIROMITO, 2016).

Devido ao seu baixo custo, elevada disponibilidade, baixa densidade e biodegradabilidade as fibras lignocelulósicas podem também ser utilizadas como reforços mecânicos em compósitos, pois apresentam características que possibilitam a obtenção de uma matéria-prima com elevado potencial para a produção de produtos inovadores (LEE, 2014).

A madeira da espécie *Tachigali vulgaris* possui características comparáveis às aquelas tradicionalmente usadas no mundo para a produção de celulose, como exemplo, espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*. Árvores oriundas de um plantio experimental aos 11 anos de idade apresentaram madeira com densidade básica de 0,530 g/cm³ e poder calorífico de 4414 Kcal/kg (MORAES, 2012). Portanto, o tachi-branco pode ser uma alternativa para substituir

o eucalipto para produção de produtos à base de celulose.

Ainda não existem trabalhos e informações sobre as características da madeira de *T. vulgaris* para a produção de materiais celulósicos. Dessa forma, é imprescindível avaliar e conhecer o comportamento do crescimento da espécie *Tachigali vulgaris* em diferentes tipos de textura do solo, perfilhamento dos fustes e as implicações desses fatores com as características químicas e anatômicas da madeira, a fim de auxiliar na futura produção de biomateriais. Neste contexto, o presente estudo visou responder às seguintes perguntas:

- i. As propriedades tecnológicas da madeira do tachi-branco são influenciadas por diferentes tipos de solos?
- ii. As propriedades tecnológicas da madeira do tachi-branco são influenciadas por diferentes tipos de fustes?
- iii. Qual a qualidade da madeira do tachi-branco para a produção de produtos de celulose?
- iv. E, finalmente, qual tipo de árvore é a mais indicada para a polpação?

2 OBJETIVO GERAL

Com isso, o estudo tem como objetivo geral avaliar a influência da textura do solo e do tipo de fuste na qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris* com foco no futuro desenvolvimento de produtos de celulose.

2.1 Objetivos específicos

- Analisar as propriedades anatômicas e químicas da madeira de *T. vulgaris* provenientes de árvores de diferentes tipos de fustes;
- Verificar se há efeito do tipo de textura do solo sobre a qualidade da madeira de *T. vulgaris*.
- Caracterizar a madeira de *T. vulgaris* para o desenvolvimento de produtos de celulose.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A espécie *Tachigali vulgaris* – Características gerais

A espécie *Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima, popularmente conhecida como tachi-branco, carvoeiro, veludo, pau-pombo, angá ou cangalheiro, pertence à família das leguminosas, mais precisamente Fabaceae. Mesmo após a mudança na nomenclatura ainda é possível encontrar na literatura a espécie classificada com o antigo nome (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) que, por sua vez, foi incluso no gênero *Tachigali* (SILVA; LIMA, 2007). A espécie é intolerante à sombra e possui ampla distribuição geográfica ocorrendo na Amazônia, em matas de terra firme e em áreas de transição dos cerrados e cerradões (Figura 1).

De acordo com diversas pesquisas realizadas nos últimos 40 anos, a madeira da espécie *Tachigali vulgaris* possui algumas características tecnológicas favoráveis, como densidade básica moderada aos seus sete anos de idade ($0,493 \text{ g cm}^{-3}$ a $0,633 \text{ g cm}^{-3}$) e, poder calorífico da madeira e poder calorífico do carvão vegetal de $4.479 \text{ kcal kg}^{-1}$ e $7.690 \text{ kcal kg}^{-1}$, respectivamente (TOMASELLI et al., 1983; FARIAS et al., 2016; ORELHANA et al., 2018). A madeira da espécie *Tachigali vulgaris* apresenta comportamento termoquímico durante a combustão e pirólise similar à madeira do gênero *Eucalyptus* (SILVA et al. 2021).

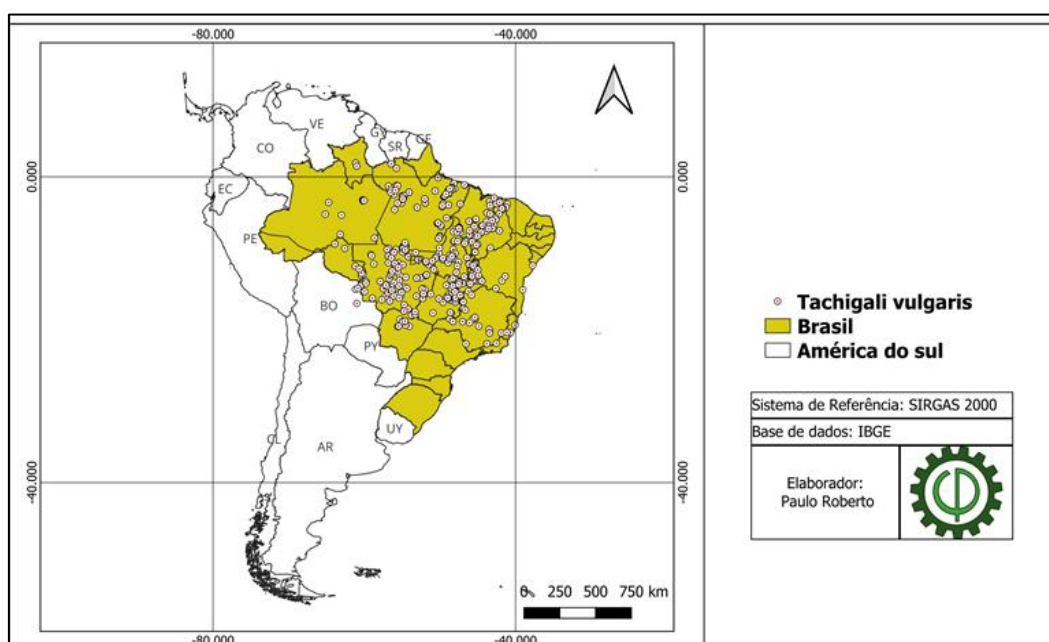


Figura 1: Distribuição geográfica da espécie *Tachigali vulgaris*. Fonte: REDE SPECIESLINK (2023).

De acordo com a Tabela 1, podemos observar algumas características da madeira em diferentes origens do material.

Tabela 1. Propriedades da madeira e do carvão da espécie *Tachigali vulgaris*

	Propriedades	Origem do material	
		Plantios	Floresta nativa
	Densidade básica (g/cm ³)	0,633	0,602
	Poder calorífico superior (kcal/kg)	4580	4390
Madeira	Massa seca (kg/árvore)	80,94	48,84
	Massa seca (tonelada/hectare)	109,8	-
	Fração de Parede das fibras (%)	45,20	68,5
	Teor de materiais voláteis (%)	83,84	78,61
	Teor de carbono fixo (%)	21,00	21,0
	Teor de cinzas (%)	0,49	0,39

Fonte: Tomasseli et al., 1993; Oliveira et al., 2008; Moraes al., 2023; Silva 2018, Ceretta 2021.

Por ser uma espécie pioneira, heliófila e semidecídua, ela favorece a sucessão secundária, pois apresenta rápido crescimento, produzindo uma grande quantidade de biomassa e intensa taxa de germinação de suas sementes no solo (CASTRO et al., 1998; STALLBAUN et al., 2016). A espécie apresenta tronco retilíneo e cilíndrico, podendo atingir de 8 a 15 m de fuste e altura total de 8 a 30 m, com DAP de 23 a 100 cm. Caracteriza-se também por apresentar casca com espessura de 10 mm, cor branca a acinzentada, com cicatrizes internamente com coloração arroxeadas. A dispersão de seus frutos e sementes ocorre de forma anemocórica e os vetores de polinização são dípteros e vespas (CARVALHO, 2005; RAMOS, 2019).

Segundo Brienza et al. (2011) há diversos estudos que comprovam que a espécie *Tachigali vulgaris* possui rápido crescimento e é uma ótima fonte de biomassa florestal, sendo muito utilizada para a produção do carvão vegetal. Outro aspecto é sua boa adaptação a diferentes tipos de solos incluindo os solos da Amazônia que são pobres e ácidos.

Devido alguns fatores como a sua boa capacidade em fixar nitrogênio, o seu crescimento rápido e sua elevada produção de serrapilheira, Martorano et al. (2018) indicaram a espécie para o uso em recuperação de áreas degradadas na Amazônia. Já Barcellos et al. (2005) indicaram que a espécie deve possuir algumas características necessárias para a produção de energia, como uma boa adaptação climática, elevadas produtividades e

características da madeira favoráveis como: teor de lignina, carbono fixo, materiais voláteis e cinzas.

3.2 Influência da textura do solo nas propriedades da madeira

O conjunto de fatores como os genéticos, a qualidade do solo e o ambiente são responsáveis pelo desenvolvimento das árvores, assim como pelo crescimento e a qualidade do seu material lenhoso. Os fatores genéticos possibilitam a associação da planta com certos microrganismos e dão resistência contra o ataque de pragas e doenças. No entanto, tem se dado maior consideração para a qualidade do solo e ambiente (COUTO e BRITO, 1990; CARVALHO et al., 1999).

Nesse sentido, deve-se entender como as condições dos locais de plantio influenciam na produtividade e qualidade da madeira, em que os atributos do solo são um dos fatores chave (GONÇALVES et al., 1997; SILVEIRA et al., 2001). Uma boa qualidade do solo se dá quando este possui capacidade de funcionar dentro um ecossistema e sustentar a sua produtividade biológica, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a saúde da fauna e flora (SILVA et al., 2020). Os atributos físicos, químicos e biológicos são os índices de qualidade do solo (FREITAS et al., 2012a; ROUSSEAU et al., 2013).

De acordo com estudos realizados por Gonçalves et al. (1990), dentre os atributos de um solo, as propriedades físicas estão mais relacionadas com o crescimento e a produtividade dos povoamentos florestais, principalmente com a capacidade de retenção e armazenamento de água. Dentre as propriedades físicas do solo existem alguns fatores que podem afetar o crescimento das plantas como a resistência à penetração das raízes, a textura, densidade, agregação das partículas, distribuição e o tamanho dos poros (LETEY, 1985). A textura é considerada a mais importante, sendo definida a partir da distribuição das classes de tamanho das partículas sólidas: areia, silte e argila (SOUSA et al., 2018).

A textura relacionada à qualidade do solo permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, proporcionando as trocas de gases com a atmosfera e raízes das plantas, de tal maneira que possibilite o crescimento radicular (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

O crescimento celular na zona cambial e na zona de células em alargamento está diretamente relacionado com o potencial hídrico do xilema (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1996; KRAMER, 1987). Dessa forma, o estresse hídrico dificulta a expansão das células do xilema. Em comparação com os solos argilosos, os solos de textura arenosa podem apresentar maior intensidade deste estresse hídrico (AUSSENAC, 1993), portanto, a qualidade da

madeira depende desta variável (POLGE, 1973).

Madeiras de *Pinus taeda* L. proveniente de sítios com textura argilosa apresentaram menor densidade básica e menores teores de holocelulose e celulose (RIGATTO et al., 2004). O mesmo foi constatado por Tsoumis e Panagiotidis (1980) que, encontraram menores valores de densidade básica da madeira proveniente de sítios com textura de solo mais argilosa.

Deste modo, nota-se que a textura do solo pode interferir no seu crescimento e nas propriedades tecnológicas da madeira. Com isso, é imprescindível estudar a relação deste parâmetro e o comportamento da espécie *Tachigali vulgaris* permitindo novos conhecimentos sobre os atributos do solo exigidos por esta espécie.

3.3 Influência da bifurcação dos fustes nas propriedades tecnológicas da madeira

A bifurcação é um processo biomecânico em que surgem fustes secundários a partir de um fuste central (principal), formando dois ou mais troncos com diâmetros normalmente semelhantes (JUNGNIKL et al., 2009; SLATER et al., 2014). Existem diversas teorias sobre as causas da formação das bifurcações. No entanto, o real motivo ainda é desconhecido, porém diversos autores relatam que esse processo está relacionado a causas genéticas e ambientais provocadas por ataque de pragas e doenças (RESENDE; FANTINI JÚNIOR, 2001; ENNOS; VAN CASTEREN, 2010).

Fatores morfológicos como a bifurcação do tronco podem contribuir para as alterações que ocorrem no desenvolvimento da madeira. Uma modificação importante é a formação de madeira de reação. A madeira de reação possui, alto teor de celulose e baixo teor de lignina em comparação com a madeira normal (SALIBA, et al., 2001). Geralmente, as madeiras que possuem madeira de reação apresentam uma densidade relativamente menor (VIDAURRE et al., 2013).

Boschetti et al. (2015), ao avaliarem as características anatômicas para produção de celulose de um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com troncos inclinados pelos ventos, constataram que a variabilidade no tamanho das fibras e vasos na madeira de reação contribuiu para a redução na qualidade da madeira de troncos inclinados para obtenção de polpa celulósica.

A presença de bifurcações é uma grande problemática uma vez que ela afeta diretamente a qualidade da madeira, pois a partir dela ocorre a formação de grãos irregulares e nós. Com isso, a sua resistência é altamente afetada e assim restringe a sua utilização para determinados fins (SMILEY, 2003; KANE et al., 2008).

Anatomicamente, devido a necessidade de suporte para os demais fustes, os fustes

secundários possuem padrão de grã irregulares para garantir maior resistência mecânica na região da junção entre eles. Conforme o ângulo de inclinação das bifurcações se torna mais elíptico suas propriedades morfológicas tendem a serem alteradas (DOMEC; GARTNER, 2001; BUCKLEY et al., 2015; SLATER; ENNOS, 2015).

Além disso, a bifurcação afeta o processo de colheita florestal, pois as máquinas utilizadas nesta operação são mais eficientes em plantios com árvores de um único fuste (DVORAK et al., 2007; MCEWAN; MAGAGNOTTI; SPINELLI, 2016).

Dependendo do local em que a bifurcação ocorra ela vai limitar o uso dos fustes. Quando a bifurcação ocorre na copa, apesar de não ser o ideal, não vai ocasionar problemas para a sua utilização, ao contrário de quando a bifurcação ocorre na base (DOBNER JÚNIOR et al, 2013).

Em estudos realizados por Rosário (2019), sobre a densidade básica da madeira de árvores de *Tachigali vulgaris*, foi verificado valor médio de 7,18% inferior das árvores bifurcadas comparadas às árvores não bifurcadas, característica desfavorável para a produção de carvão vegetal, (Figura 2).



Figura 2. Exemplos de bifurcação no fuste de *Tachigali vulgaris* do plantio experimental. Fonte: Lima (2023)

Portanto, avaliar como a bifurcação do tronco das árvores de *T. vulgaris* afeta a anatomia e a densidade da madeira é essencial para decisões sobre o uso da espécie para produção de biomateriais.

3.4 Características anatômicas da madeira

A madeira é um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células e tecidos com propriedades e funções vitais específicas para o desenvolvimento e crescimento da planta, tais como: condução de líquidos, transformação, sustentação do vegetal, armazenamento e

transporte de substâncias nutritivas (BOTOSSO, 2009). As células são dispostas no sentido radial, e longitudinal e conhecer as suas características morfológicas e químicas é imprescindível para a identificação adequada das espécies, além de distinguir aquelas que são semelhantes e seu uso correto (NEVES, 2012).

Segundo Trugilho et al. (1996), existem variações nas composições químicas, físicas e anatômicas entre as espécies e variações dentro de uma mesma espécie, devido à idade, fatores genéticos e ambientais. Há também diferenças entre cerne e alburno e, madeira de início e fim de crescimento.

A fibra é o principal componente do xilema, compreendendo até 80% volume. Segundo Silva (2011), a determinação das dimensões da fibra é importante na avaliação da qualidade da madeira. Isso porque pode fornecer um diagnóstico das características futuras do produto.

Para Thomaz (2019), a relação entre as dimensões das fibras é mais importante que os seus valores individuais e pode, assim, determinar a qualidade da madeira para produção de celulose e papel. Para avaliar a madeira destinada à fabricação de papel, utiliza-se a relação entre as dimensões das fibras (comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lúmen) e índices como índice de Runkel, razão de aspecto ou índice de enfiletamento, índice de Mulsteph, índice de Boiler, coeficiente de flexibilidade e fração de parede (NISGOSKI et al., 2012).

O índice de Runkel e a espessura da parede são indicadores relacionados à rigidez da fibra (CASTELO, 2007) e dependem diretamente das propriedades da celulose e do papel, pois o grau de rigidez da fibra afeta as propriedades mecânicas do papel (FOELKEL et al., 1975). O coeficiente de flexibilidade e a razão de aspecto determinam a flexibilidade das fibras e também são importantes na produção de celulose e papel (CASTELO, 2007).

3.5 Composição química da madeira

As fibras são elementos celulares constituídos de lúmen e parede celular. Os lúmens são os espaços vazios que ficam após a perda do protoplasto e a parede celular é composta por duas paredes, uma primária e outra secundária. Esta última possui subdivisões que são as subcamadas S1, S2 e S3. Os constituintes químicos amorfos da parede celular são a lignina e as hemiceluloses, enquanto a celulose ocorre na forma de microfibrilas que por sua vez são estruturas semicristalinas (CARVALHO et al., 2009; AGUIAR; FERRAZ, 2011). As microfibrilas possuem regiões amorfas onde suas cadeias estão orientadas de forma ramificada e as unidades de celulose que compõem as microfibrilas estão unidas por ligações

glicosídicas do tipo β -1-4. (YAHYA et al., 2018), (Figura 3).

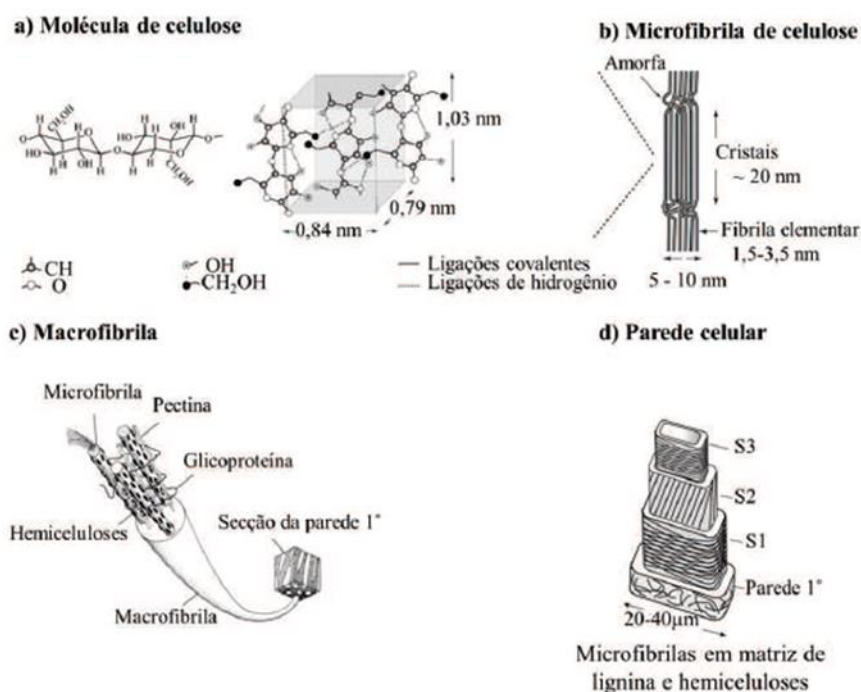


Figura 3. Forma e disposição da celulose na parede celular. Fonte: Adaptado de Ali e Gibson (2012).

As hemiceluloses são macromoléculas formadas por polissacarídeos de baixo peso molecular, como as xilanas, mananas e arabianas sendo a xilose o principal componente das hemiceluloses das angiospermas e apesar deste componente químico ser similar a celulose, o seu diferencial é apresentar cadeias laterais ramificadas constituídas de ácido acético, pentoses e ácidos hexurônicos que são responsáveis pela solubilidade das hemiceluloses em água e/ou álcalis (MENEZES; BARRETO, 2015).

A lignina é um polímero amorfo derivado de unidades fenilpropanóides, sendo suas estruturas precursoras o álcool cumarílico, coniferílico e o sinapílico. Esta substância está presente na parede celular e na lamela média dos vegetais possuindo um elevado número de interligações e sendo bem resistente à hidrólise ácida e alcalina, além de vários complexos enzimáticos (YAHYA et al., 2018).

A celulose, junto com outros constituintes não celulósicos estão presentes na formação das fibras vegetais, sendo o seu principal componente. Trata-se do biopolímero mais abundante da terra e é quase inesgotável (BARRAGÁN, 2019).

Devido a sua enorme disponibilidade e por ser um composto biodegradável, a celulose torna-se muito importante, pois ela substitui os materiais tradicionais derivados do petróleo que são agressivos e poluem o meio ambiente (JUIKAR; VIGNESHWARAN, 2017).

As características dos elementos celulares assim como a sua constituição química podem apresentar variações que influenciam no desenvolvimento de novos produtos, como no caso da nanofibras de celulose e os filmes lignocelulósicos (OLIVEIRA et al., 2019; BUFALINO et al., 2015).

A celulose é considerada a principal matéria-prima para a produção do papel. A polpa composta por celulose proveniente da madeira representa aproximadamente 50% do peso seco, além de lignina, hemiceluloses e extrativos (BAJPAI, 2018), possibilitando a produção de diversos produtos (EK et al., 2009). Portanto, para produzir celulose, a madeira deve passar por um processo de polpação que remove a maior parte da lignina por meio da degradação molecular e libera as fibras de celulose da madeira (EK et al., 2009).

Compósitos são misturas de matrizes poliméricas e reforços, variando em origem, forma e dimensões, e na maioria dos casos são utilizados para reduzir o volume ou melhorar as propriedades mecânicas dos polímeros utilizados. Compósitos à base de celulose possuem produção de cerca de $1,5 \times 10^{12}$ toneladas/ano (KLEMM et al., 2005). A celulose é o biopolímero mais abundante na Terra. Renovabilidade, baixo custo e alta resistência são apenas algumas das propriedades que tornam este material adequado para substituição total ou parcial de materiais não renováveis em compósitos (BERGLUND e PEIJS, 2010).

O nanopapel de celulose é um filme feito apenas de nanofibras de celulose e possui uma densa rede reticulada e altas propriedades mecânicas devido às ligações de hidrogênio e às interações de van der Waals (SEHAQUI, 2011). Os nanopapéis são flexíveis, apresentando baixo coeficiente de expansão térmica e de transferência de calor (PURANDARE et al., 2014).

3.6 Nanofibras de celulose

A partir da biomassa vegetal dois tipos de celulose podem ser extraídos, as nanofibras de celulose que possuem dimensões abaixo de $1 \mu\text{m}$ e os nanocristais de celulose que são um tipo de nanowhiskers (BARRAGÁN, 2019). As dimensões dos nanocristais vão depender de alguns fatores como a origem do substrato de celulose e as condições de hidrólise, formando estruturas que se assemelham a bastões (DUFRESNE, 2013).

As fibras lignocelulósicas vem sendo bastante estudadas pelas indústrias visando à produção de produtos biodegradáveis. Este material está presente em diversas espécies e sua obtenção pode ser feita de diferentes partes da planta como o fruto, caule, folhas e sementes (MUELLER; KROBJILOWSK, 2003; SILVA et al., 2009; RAABE et al., 2015;

MOTLOUNG, 2019).

As nanofibras de celulose são materiais que ocorrem de forma natural e renovável, são altamente cristalinas e uniformes (HENTZE, 2010). Segundo Bufalino et al. (2015) as nanofibras de celulose possuem estruturas alongadas com diâmetros em escala nanométrica ocorrendo a partir da desintegração da parede celular das fibras.

Um dos meios de obtenção das nanofibras de celulose é um processo mecânico realizado por um moinho chamado grinder, em que as nanofibras são individualizadas por meio de forças de cisalhamento, pois elas quebram as suas ligações de hidrogênio (SIRÓ; PLACKETT, 2010).

A partir do advento de novas tecnologias e do estudo nanotecnológico, diversas áreas têm se beneficiado incluindo a engenharia de biomateriais. O interesse pelas nanofibras de celulose partiu a partir do isolamento da celulose, em que se aliam as propriedades das fibras vegetais em uma escala nanométrica. É crescente o interesse na utilização de suas propriedades, no entanto, há diversos fatores que precisam ser investigados, passando pela sua forma de produção, inclusão de materiais e suas alternativas de uso a serem exploradas (SOUZA, 2010).

As nanofibras de celulose têm diversas finalidades como, por exemplo, reforços de compósitos (LOPES et al., 2018). Características como a alta razão de aspecto, grau de cristalinidade e o módulo de Young das nanofibras de celulose colaboraram diretamente na melhoria das características do compósito (BESBES et al., 2011).

Outra forma de utilização das nanofibras é realizado através da sua suspensão formando filmes nanocelulósicos constituídos integralmente por celulose, produzidos por secagem após o seu processo de filtração (BUFALINO et al., 2015).

Diversos estudos comprovam que os filmes obtidos a partir das nanofibras de celulose tem diversas finalidades como para a produção de papéis eletrônicos (ZHANG et al., 2010), revestimento de papéis comuns (MIRMEHDI et al., 2018), embalagens biodegradáveis com alta resistência mecânica e baixa permeabilidade (SCATOLINO et al., 2017; AULIN; STRÖM, 2013) e podem ser usados como substratos para células solares (EICHHORN et al. 2010), (Figura 4).



Figura 4. Potencial de aplicações das nanofibras de celulose. Fonte: Stylo Urbano

Os biopolímeros e plastificantes propiciam o aumento da permeabilidade e consequentemente, diminuem a resistência mecânica dos filmes. Uma das estratégias possíveis é encontrar materiais de reforço que, quando adicionados na formulação dos filmes, possam melhorar essas propriedades, destacando-se a utilização de fibras naturais ou lignocelulósicas (SOBRAL, 2011).

A avaliação das propriedades anatômicas e químicas da madeira, aliada à compreensão dos efeitos da textura do solo e tipo de fuste, podem fornecer informações importantes para o entendimento da qualidade de espécies nativas potenciais para a geração de produtos de celulose. Dessa forma, o estudo das propriedades tecnológicas da madeira de *T. vulgaris* é fundamental pra predizer o seu uso correto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A.; FERRAZ, A. Mecanismos envolvidos na biodegradação de materiais lignocelulósicos e aplicações tecnológicas correlatas. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1729–1738, 2011.
- APPEZZATO, G. B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa-UFV, 2006. Cap.2, p. 32-58.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- AULIN, C.; STRÖM, G. Multilayered alkyd resin/nanocellulose coatings for use in renewable packaging solutions with a high level of moisture resistance. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 52, n. 7, p. 2582-2589, 2013.
- AUSSENAC, G. Déficits hydriques et croissance des arbres forestiers. **Forêt Entreprise**, n. 89, p. 40-47, 1993.
- BAJPAI, P. *Biotechnology for pulp and paper processing*. Singapore: **Springer**, 2018.
- BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades da resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.
- BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MÜLER, M. D.; COUTO, L. O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para a produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 2 p. 141-158, 2005.
- BARRAGÁN, E. U. P.; GUERRERO, C. F. C.; ZAMUDIO, A. M.; CEPEDA, A. B. M.; HEINZE, T.; KOSCHELLA, A. Isolation of cellulose nanocrystals from *Typha domingensis* named southern cattail using a batch reactor. **Fibers and Polymers**, Altamira (MEX), v. 20, n. 6, p. 1136-1144, 2019.
- BERGLUND, L. A., AND PEIJS, T. Cellulose biocomposites – from bulk moldings to nanostructured systems. **MRS BULLETIN**, V. 35, p. 201-207, 2010.
- BESBES, I.; VILAR, M. R.; BOUFI, S. Nanofibrillated cellulose from alfa, *eucalyptus* and pine fibres: preparation, characteristics and reinforcing potential. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 3, p. 1198-1206, 2011.
- BIAGIOTTI, GABRIEL et al. Fertilização potássica na implantação de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Jonhson. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 45, n. 113, p. 129-137, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/174716>>.
- BOSCHETTI, W. T. N.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; DUDECKI, L. Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 50, n. 6, p. 459-467, 2015.
- BOTOSO, P. C. Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento [recurso eletrônico] / Paulo Cesar Botosso. - Dados eletrônicos. - Colombo: **Embrapa Florestas**, 2009.
- BRIENZA JÚNIOR, S.; OLIVEIRA, R. P.; DENICH, M.; VLEK, P. L. G. Plantio de árvores de crescimento rápido para recuperação de áreas agrícolas na Amazônia Oriental brasileira:

avaliações de sobrevivência e produções de milho e mandioca. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.31, n. 68, p. 347-353, 2011.

BUCKLEY, G.; SLATER, D.; ENNOS, A. R. Angle of inclination affects the morphology and strength of bifurcations in hazel (*Corylus avellana* L.). **Arboricultural Journal**, v. 37, n. 2, p. 99-112, 2015.

BUFALINO, L.; DE SENA NETO, A. R.; TONOLI, G. H. D.; FONSECA, A. de S.; COSTA, T. G.; MARCONCINI, J. M.; COLODETTE, J. L.; LABORY, C. R. G.; MENDES, L. M. **Cellulose**, v. 22, n. 6, p. 3657-3672, 2015.

CARVALHO, A. P.; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E. B.; MACHADO, S. A.; POTTER, R. O.; FASOLO, P. J.; FERREIRA, C. A.; BARTOSZECK, A. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 39, p. 51-66, 1999.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 627 p.

CARVALHO, P. E. R. Taxi-branco. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 11 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 111).

CARVALHO, W.; CANILHA, L.; FERRAZ, A.; MILAGRES, A. M. F. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2191–2195, 2009.

CASTRO, A. W. V. et al. Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de tachi-branco (*Sclerolobium paniculatum*, Vogel). **Acta Amazonica**, v. 82, n. 2, p. 141-146, 1998.

CASTRO, A. W. V.; FARIAS NETO, J.T.; CAVALCANTE, E. S. Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Acta Amazônica**, v. 28 n. 2, p. 141-146, 1998.

CERETTA, R. P. S. **Influência do espaçamento, posição radial e tipo de fuste na anatomia do lenho do tachi branco (*Tachigali vulgaris*) em plantações experimentais na Amazônia**. Orientador: Thiago de Paula Protásio. 2021. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1808>.

CHIROMITO, E. M. S. **Preparação de placas rígidas de polpa celulósica e de nanofibras de celulose com polímeros acrílicos** / Emanoele Maria Santos Chiromito; orientador Antônio José Felix de Carvalho. São Carlos, 2016.

COUTO, H. T. Z.; BRITO, J. O. Produtividade de plantações no Nordeste brasileiro. **Revista Instituto de pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)**, v. 3, n. 10, p. 71-83, 1990.

DOBNER JÚNIOR, M.; VAGAES, T. C.; HIGA, A. R. Aproveitamento do germoplasma de *Cryptomeria japonica* da estação experimental de Rio Negro, PR, visando a produção de sementes. **FLORESTA**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 363 - 372, 2013.

DOMEC, J. C.; GARTNER B. L. Cavitation and water storage capacity in bole xylem segments of mature and young Douglas-fir trees. **Trees**, v. 15, p. 204–214, 2001.

DUFRESNE, A. Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. **Materials today**, v.16, n. 6,

p. 220-227, 2013.

DVORAK, W. S. E.; KIETZKA, G. R.; HODGE, A.; NEL, G. A. D.; SANTOS, A. N.D. C.; GANTZ. Assessing the potential of *Pinus herrerae* as a plantation species for the subtropics. **Forest Ecology and Management**, v. 242, n. 2, p. 598 – 605, 2007.

EK, Monica; GELLERSTEDT, Göran; HENRIKSSON, Gunnar (Ed.). Pulping chemistry and technology. **Walter de Gruyter**, 2009.

ENNOS, A. R.; VAN CASTEREN, A. Transverse stresses and modes of failure in tree branches and other beams. **Proceeding of the Royal Society B**, v. 277, p. 1253–1258, 2010.

EVERT, R. F. Anatomia das plantas de Esau: meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento / Ray F. Evert: coordenação e tradução de Carmen Regina Marcati. – São Paulo: **Blucher**, 2013.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p. 417-428, 2012.

GEORGESCU, R. N., 2012. **O decrescimento: entropia, ecologia e economia**. São Paulo, Brasil: Senac.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; BEHLING, M.; ALVES, J. M.; PIZZI, G. T.; ANGELI, A. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 411-419, 2014.

GONÇALVES, J.L.M., BARROS, N.F., NAMBIAR, E.K.S., NOVAIS, R.F., 1997. Soil and stand management for short-rotation plantations, in: Nambiar, E.K.S., Brown, A.G. (Eds), Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. **Australian Centre for International Agricultural Research**, Camberra, Australia, pp. 379–417.

GONÇALVES, J. L. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; COUTO, H. T. Z. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no estado de São Paulo. **IPEF**, n. 43-44, p. 24-39, 1990.

HENRIKSSON, M. **Cellulose nanofibril networks and composites**. 2008. 51p. (Tese de doutorado).

HENTZE, H.P. From nanocellulose science towards applications. Helsinki: VTT – Technical Research Center of Finland, 2010. Disponível em: https://www.vtt.fi/Documents/NFCApplications_HPH.pdf.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório, 2022.

JUIKAR, S. J.; VIGNESHWARAN, N. Extraction of nanolignin from coconut fibers by controlled microbial hydrolysis. **Industrial Crops and Products**, Mumbai (IND), v.109, p. 420 – 425, 2017.

JUNGNIKL, K.; GOEBBELS, J.; BURGERT, I.; FRATZL, P. The role of material properties for the mechanical adaptation at branch junctions. **Trees**, v. 23, n. 3, p. 605-610, 2009.

- KANE, B.; FARRELL, R.; ZEDAKER, S. M.; LOFERSKI, J. R.; SMITH, D. W. Failure mode and prediction of the strength of branch attachments. **Arboriculture and Urban Forestry**, v. 34, n. 5, p. 308-3016, 2008.
- KLEMM, D., HEUBLEIN, B., FINK, H. P., E BOHN, A. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 44, n. 22, p. 3358-3393, 2005.
- KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of Woody Plants**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1996. 411 p.
- KRAMER, P.J. The role of water stress in tree growth. **Journal of Arboriculture**, Champaign,. v. 13, n. 2, p. 33-38, 1987.
- LEE, K. Y. et al. On the use of nanocellulose as reinforcement in polymer matrix composites. **Composites Science and Technology**, vol. 105, pp. 15-27, 2014.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p. 277-294, 1985.
- LIMA, R. **Crescimento de Pinus taeda L. em diferentes espaçamentos**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2010, 120 p.
- LIMA, M.D.R., MORAES, L.G., SILVA, R.D.C.C. et al. *Tachigali vulgaris* energy forests: understanding spacing, age, and stem type effects on tree growth patterns and wood density. **New Forests** 54, 491–513 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09932-y>
- LOPES, T. A.; BUFALINO, L.; CLARO, P. I. C.; MARTINS, M. A.; TONOLI, G. H. D.; MENDES, L. M. **Cellulose**, v. 25, n. 9, p. 5017-5033, 2018.
- MARIANO, A. P. How Brazilian Pulp Mills Will Look Like in the Future? **O Papel**, v. 76, p. 55–61, 2015.
- MARTORANO, L. G. et al. **Zoneamento topoclimático do Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L.F) na Amazônia Legal: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 70 p. (Documentos, Embrapa Amazônia Oriental, 435).
- MCEWAN, A.; MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R. The effects of number of stems per stool on cutting productivity in coppiced *Eucalyptus* plantations. **Silva Fennica**, v. 50, n.2, p. 14, 2016.
- MENEZES, C. R., BARRETO, A. R. **Biodegradação de resíduos lignocelulósicos por fungos basidiomicetos: Caracterização dos resíduos e estudo do complexo enzimático fúngico**. 2015.
- MILANEZ, D. H. et al. Assessing nanocellulose developments using science and technology indicators. **Materials Research**, vol. 16, pp. 635-641, 2013.
- MIRMEHDI, S.; HEIN, P. R. G.; DE LUCA, S.; GRÍGOLI, C. I.; DIAS, M. V.; TONOLI, G. H. D. Cellulose nanofibrils/nanoclay hybrid composite as a paper coating: Effects of spray time, nanoclay content and corona discharge on barrier and mechanical properties of the coated papers. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 15, p. 87-94, 2018.

MORAES, R. et al. Avaliação da adaptabilidade e produtividade de plantios de Taxi-Branco (*Sclerolobium paniculatum*) na região de Manaus e Iranduba, Amazonas. In: **anais da IX jornada de iniciação científica da Embrapa Amazônia ocidental**. Manaus: Embrapa Amazônia ocidental, 2012.

MORAES, L.G., LIMA, M.D.R., PEREIRA, G. A. et al. Forking and planting spacing impacts on wood density, X-ray density, and heartwood proportion of *Tachigali vulgaris*. *Trees* 37, 1567–1581 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00468-023-02443-z>

MOTLOUNG, M. P.; OJJO, V.; BANDYOPADHYAY, J.; RAY, S. S. Cellulose nanostructure-based biodegradable nanocomposite foams: a brief overview on the recent advancements and perspectives. **Polymers**, v. 11, n. 8, p. 1270, 2019.

MUELLER, D. H.; KROBJILOWSKI, A. New discovery in the properties of composites reinforced with natural fibers. **Journal of Industrial Textiles**, v. 33, n. 2, p. 111-130, 2003.

NEVES, T. A. **Qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* cultivados no sul de Minas Gerais**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012.

OLIVEIRA, D. N. P. S. de; CLARO, P. I. C.; FREITAS, R. R. de; MARTINS, M. A.; SOUZA, T. M.; SILVA, B. M. da S.; MENDES, L. M.; BUFALINO, L. Enhancement of the Amazonian Açaí Waste Fibers through Variations of Alkali Pretreatment Parameters. **Chemistry & Biodiversity**, v. 16, p. 1-12. 2019.

OLIVEIRA, I. et al. Biomassa e características da madeira de *Sclerolobium paniculatum* cultivado em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 351 - 357, 2008.

ORELHANA, J. B. P. **Valorização tecnológica da madeira de *Tachigali vulgaris* proveniente de plantios de dois sítios distintos localizados no estado do Amapá**. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF.

PALMA, H. A. L.; LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. **Cerne**, v. 16, p. 141-148, 2010.

PAULA, J. E. de. Madeiras que produzem álcool, coque e carvão. – **Atualidades do Conselho Nacional do Petróleo**, v. 12, p. 31 - 45, 1980.

POLGE, H. Facteurs écologiques et qualité du bois. **Annales des Sciences Forestières**, Paris, v.30, n. 3, p. 307- 328, 1973.

PURANDARE, S., GOMEZ, E.F., STECKL, A.J.; High brightness phosphorescent organic light emitting diodes on transparent and flexible cellulose films. **Nanotechnol.** 2014, 25(9), 094012

RAABE, J.; FONSECA, A. de S.; BUFALINO, L.; RIBEIRO, C.; MARTINS, M. A.; MARCONCINI, J. M.; MENDES, L. M.; TONOLI, G. H. D. Biocomposite of cassava starch reinforced with cellulose pulp fibers modified with deposition of silica (SiO₂) nanoparticles. **Journal of Nanomaterials**, v. 2015, 2015.

RAMOS, L.O. et al. WOOD VOLUMETRY OF *Tachigali vulgaris* PURE PLANTATIONS IN DIFFERENT PLANTING SPACINGS. **Floresta**, v. 51, n. 4, p. 962-970, 2021.

- RESENDE, M. D. V.; FANTINI JÚNIOR, M. **Bifurcação e quebra de copa em *Eucalyptus*: efeitos genéticos, ambientais e silviculturais**. Embrapa Florestas, 2001.
- ROLIM, S. G.; PIOTTO, D. **Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica**. Editora Rona. 2018. 160 p.
- ROSÁRIO, W. A. S. **Variações da densidade básica do lenho de *Tachigali vulgaris* em diferentes espaçamentos de plantio**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA. 2018. 37p.
- ROSIM, C. C.; HSING, T. Y.; PAULA, R. C. de. Nutrient use efficiency in interspecific hybrids of *eucalypt*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 540-547, 2016
- ROUSSEAU, L.; FONTE, S. J.; TÉLLEZ, O.; HOEK, R.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*, **Amsterdam**, v. 27, p. 71-82, 2013.
- RYAN, M. G. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: how water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology Management**, v. 259, n. 9, p. 1695-1703, 2010.
- SALIBA, E. O. S. RODRIGUEZ, N. M. MORAIS, S. A. L. PILÓ-VELOSO, D. Ligninas – métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.5, p.917-928, 2001. ISSN 0103-8478.
- SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil Florestal**, novembro de 2019. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em 16 de janeiro de 2022.
- SCATOLINO, M. V.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, M.; TONOLI, G. H. D. Impact of nanofibrillation degree of eucalyptus and Amazonian hardwood sawdust on physical properties of cellulose nanofibril films. **Wood Science and Technology**, v. 51, p. 1095-1115, 2017.
- SEHAQUI, H. **Nanofiber networks, aerogels and biocomposites based on nanofibrillated cellulose from wood**. Tese de Doutorado. KTH Royal Institute of Technology, 2011.
- SETTE JUNIOR, C. R. et al. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.
- SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 181f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- SILVA, L. F. G. da; LIMA, H. C. de. Mudanças nomenclaturais no gênero *Tachigali* aubl. (leguminosae – caesalpinioideae) no Brasil. *Rodriguésia*, v. 58, n. 2, p. 397-401, 2007. Disponível em: <http://rodriguesia.jbrj.gov.br/FASCICULOS/rodrig58_2/42-06.pdf>.
- SILVA, M. O. S. **Crescimento e qualidade da madeira da espécie *Tachigali vulgaris* cultivada em diferentes espaçamentos para uso bioenergético**. 2018. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D.S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 7, p. 838-855, 2020.

SILVA, M. O. S.; SILVA, M. G.; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R.; GONCALVES, D. A.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. P. Características termogravimétricas e combustão da madeira de *Tachigali vulgaris* proveniente de plantios com diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, v. 49, p. 3164, 2021

SILVA, R., HARAGUCHI, S. K., MUNIZ, E. C., & RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009.

SILVEIRA, R.L.V.A., Higashi, E.N., Sgarbi, F., Muniz, M.R.A., 2001. Seja o doutor do seu eucalipto. **Informações agronômicas** 12, 1-32.

SIRÓ, I.; PLACKETT, D. **Cellulose**, v. 17, n. 3, p. 459-464, 2010.

SLATER, D.; ENNOS, R. Interlocking wood grain patterns provide improved wood strength properties in forks of hazel (*Corylus avellane* L.). **Arboricultural Journal**, v. 37, n. 1, p. 21-32, 2015.

SMILEY, E. T. Does included bark reduce the strength of codominant stem? **Journal of Arboriculture**, v. 29, n. 2, p. 104-106, 2003.

SOBRAL, P. J. A. et al. Phase transitions in biodegradable films based on blends of gelatin and poly (vinyl alcohol). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 31(2): 372-379, abr.-jun. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000200015>

SOUSA, K. L.D.; VIÉGAS, R. A.; VIANA, S. G.; BARROSO, R. F.; SILVA, F. A.; LUCENA, R. J. Crescimento inicial de mudas de pinhão manso cultivadas em solos de diferentes texturas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v.13, n. 1, p. 127-131, 2018.

SOUSA, V. G.; BRIENZA JUNIOR, S.; BARBOSA, M. G.; MARTORANO, L. G.; SILVA, V. C. **Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima):** botânica, ecologia e silvicultura. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2016, 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos 426).

SOUZA, S. F. DE. **Obtenção de nanofibras de curauá e aplicação como reforço em compósitos baseados em PVA** / Sivoney Ferreira de Souza. – Botucatu: [s.n.], 2010.

SOUZA, T. V. et al. Ponto ótimo de corte de tachi-branco no Cerrado amapaense, submetido a diferentes tipos de adubação. **V Jornada Científica**, 2019.

STALLBAUN, P. H.; BARAÚNA, E. E. P.; MONTEIRO, T. C.; VIEIRA, R. S.; SALES, N. D. L. P.; OLIVEIRA, L. S. Resistência natural da madeira de *Tachigali vulgaris* ao fungo xilófago *Postia placenta*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 459-463, 2016.

TOMASELLI, I. et al. Caracterização da madeira de tachi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) para energia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 6, p. 33-44, 1983.

TRUGILHO, P. F.; Lima, J. T. & Mendes, L. M. 1996. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne** 2: 94-11.

TSOUMIS, G.; PANAGIOTIDIS, N. Effect of growth condition on quality characteristics of Black Pine (*Pinus nigra* Arn.) **Wood Science and Technology**, v. 14, p. 301-310, 1980

VALE, A et al. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L.; FRANÇA, F. J. N.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. Propriedades da Madeira de Reação. **Floresta e Ambiente**. v. 20. n. 1, p. 26-37. 2013.

VIVIEN, F.D., NIEDDU, M., BEFORT, N., DEBREF, R. 2019. The hijacking of the bioeconomy. **Ecological Economics**, v. 159, p.189-197. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.01.027

YAHYA, M., CHEN, Y. W., LEE, H. V., HASSAN, W. H. W. REUSE of selected lignocellulosic and processed biomasses as sustainable sources for the fabrication of nanocellulose via Ni (II)-catalyzed hydrolysis approach: a comparative study. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 7, p. 2825-2844, 2018.

YANO, H.; NAKAGAITO, A.N. The effect of morphological changes from pulp fiber towards nano-scale fibrillated cellulose on the mechanical properties of high- strength plant fiber based composites. **Applied Physics A**, v.78, n.4, p.547-552, 2004.

YARED, J. A. G.; M.; KANASHIRO, M.; CONCEIÇÃO, J. G. L. da. **Espécies florestais nativas e exóticas: comportamento silvicultural no Planalto do Tapajós** - Pará. Belém: EMBRAPA-CPATU (Documentos, 49), 1988. 29 p.

ZHANG, F.; NIU, J.; ZHANG, W.; CHEN, X.; LI, C.; YUAN, L.; XIE, J. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. **Plant and Soil**, v. 335, n. 1-2, p. 21-34, 2010.

APRESENTAÇÃO E ESTRUTURA GERAL DA PESQUISA

O material deste trabalho provém de uma série de estudos realizados no âmbito da “Rede Brasileira de Pesquisa em Crescimento e Qualidade da Madeira da Espécie *Tachigali vulgaris*, proveniente de plantios homogêneos, para geração de bioenergia na Amazônia”.

O intuito deste projeto é contribuir com o conhecimento sobre o crescimento, qualidade e aplicações da madeira de árvores de *Tachigali vulgaris*, proveniente de plantações homogêneas para a geração de bioenergia na Amazônia. Esta dissertação é a primeira relacionada ao tema "biomateriais" e, portanto, caracteriza a expansão da rede de pesquisa, anteriormente criada para estudos e aplicações bioenergética da espécie *T. vulgaris*.

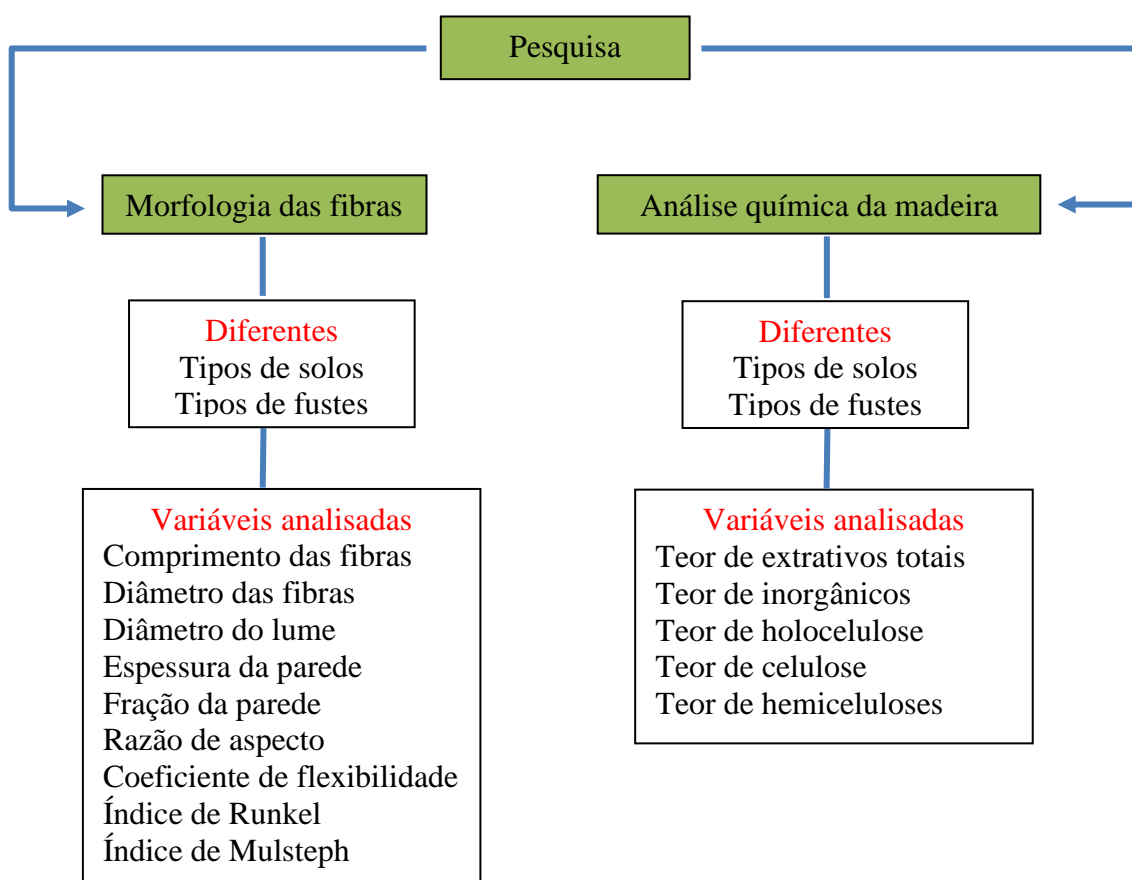


Figura 5 - Organograma de pesquisa Fonte: Autor, 2023.

4 QUALIDADE DA MADEIRA DE *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H.C. Lima PARA PRODUTOS DE CELULOSE

4.1 Introdução

O crescente avanço tecnológico industrial madeireiro expandiu a sua aplicabilidade para os mais variados fins, como produção energética, indústria de papel e celulose, construção civil e vários outros, garantindo a sua maior valorização (LOURENÇO e BRANCO, 2013). Por apresentar uma elevada resistência em relação a massa, versatilidade e biodegradabilidade a madeira por ser um material renovável é muito importante do ponto de vista ambiental e econômico (KIM et al., 2016).

A madeira é um material heterogêneo composto por um conjunto de células, sendo cada tipo responsável por determinada função específica como suporte, armazenamento e transporte de seiva e solutos (CHERELLI et al., 2016; EITELVEN et al., 2017). A madeira é um material que apresenta diversas propriedades e, devido sua origem biológica, essas apresentam grande variabilidade, sendo necessário o melhor conhecimento dessas propriedades para prever novas perspectivas de uso e mais efetivo emprego (PINTO, 2014).

No entanto, de acordo com Brasil (2006), existe um desequilíbrio crescente entre a oferta e a demanda por produtos florestais provenientes de espécies nativas, que é sempre causado pela utilização de recursos naturais, decorrente de não existir produção significativa oriundas de plantios destas espécies. Existe, portanto, um consenso de que este desequilíbrio pode ser resolvido através do fornecimento de produtos provenientes de explorações florestais e agroflorestais baseadas em espécies nativas.

Na região Amazônica, plantações experimentais pioneiras de espécies tropicais nativas começaram a ser desenvolvidas na década de 50 para produzir celulose e fornecer lenha e carvão para as indústrias siderúrgicas da região. Contudo, Lima (2012) afirma que plantações comerciais na Amazônia, especialmente de espécies nativas, têm áreas cultivadas muito limitadas em comparação com a áreas degradadas disponíveis para produção.

Uma dessas espécies nativas é o *Tachigali vulgaris* que, além de possuir rápido crescimento, apresenta diversas possibilidades de uso da madeira, o seu principal produto, que é muito utilizada pelas comunidades tradicionais da região amazônica (MARTORANO et al., 2018).

De acordo com estudos realizados por Rolim e Piotto (2018), à espécie possui características anatômicas como cerne e albúrnio indistintos, odor característico, textura fina, grã irregular, gosto indistinto, além de média densidade e boa estabilidade mecânica.

Quando comparada com espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, a espécie *Tachigali vulgaris* apresentou algumas taxas superiores, como a de sobrevivência, maior produção de biomassa em áreas degradadas e aumento na produção de serapilheira. Com isso, a espécie em estudo possui potencial para substituir o eucalipto na implementação de culturas energéticas na Amazônia (FARIAS et al., 2016).

As características anatômicas e físicas da madeira de uma espécie influenciam o seu comportamento tecnológico a partir das dimensões das fibras, elementos de vasos, densidade e retratibilidade. Estas características variam tanto no sentido radial quanto no longitudinal dos fustes das árvores (BONDUELLE *et al.*, 2015; FREITAS *et al.*, 2015; GALLIO *et al.*, 2016).

De acordo com Freitas et al. (2015), os estudos anatômicos do xilema secundário têm como principal objetivo estabelecer uma relação entre as características dos elementos celulares e a sua aplicabilidade, sendo que as fibras são importantes na escolha de uma espécie, em que as características quantitativas mais analisadas são o seu comprimento, largura e espessura da parede celular.

Dessa forma, estudar as variações das fibras da espécie *Tachigali vulgaris* em decorrência do tipo de textura do solo e bifurcação dos fustes é de fundamental importância para se conhecer as alterações nas propriedades tecnológicas da madeira desta espécie, e consequentemente, estabelecer uma relação entre a morfologia das fibras, composição química e as propriedades dos filmes nanocelulósicos.

Dado ao exposto, o objetivo deste estudo é de compreender o efeito da bifurcação e dos tipos de solos nas propriedades tecnológicas da madeira de *T. vulgaris* para o desenvolvimento de produtos de celulose.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Área de estudo

A espécie madeireira nativa utilizada no trabalho foi a *Tachigali vulgaris* proveniente de um plantio experimental com 11 anos de idade pertencente à empresa Jari Celulose S.A, em Monte Dourado, subdistrito do município de Almerim/PA. O plantio consta com duas áreas experimentais possuindo cerca de 1,6 ha cada, com o espaçamento de plantio de 3m x 2 m (Figura 6).

Cada uma das áreas experimentais está localizada sobre um determinado tipo de solo.

Um dos plantios está sobre um solo do tipo latossolo amarelo de textura média arenosa (ARE), já a outra área tem o solo do tipo latossolo amarelo de textura argilosa (ARG). A distância entre as áreas experimentais é de aproximadamente 22 km.

Segundo a classificação de Koppen-Geiger, o clima da região é do tipo tropical úmido ou subúmido Am, com alternâncias entre os tipos climáticos Af e Aw, apresentando como característica uma estação chuvosa que vai do mês de janeiro a julho e outra estação seca curta que ocorre entre os meses de agosto e dezembro.

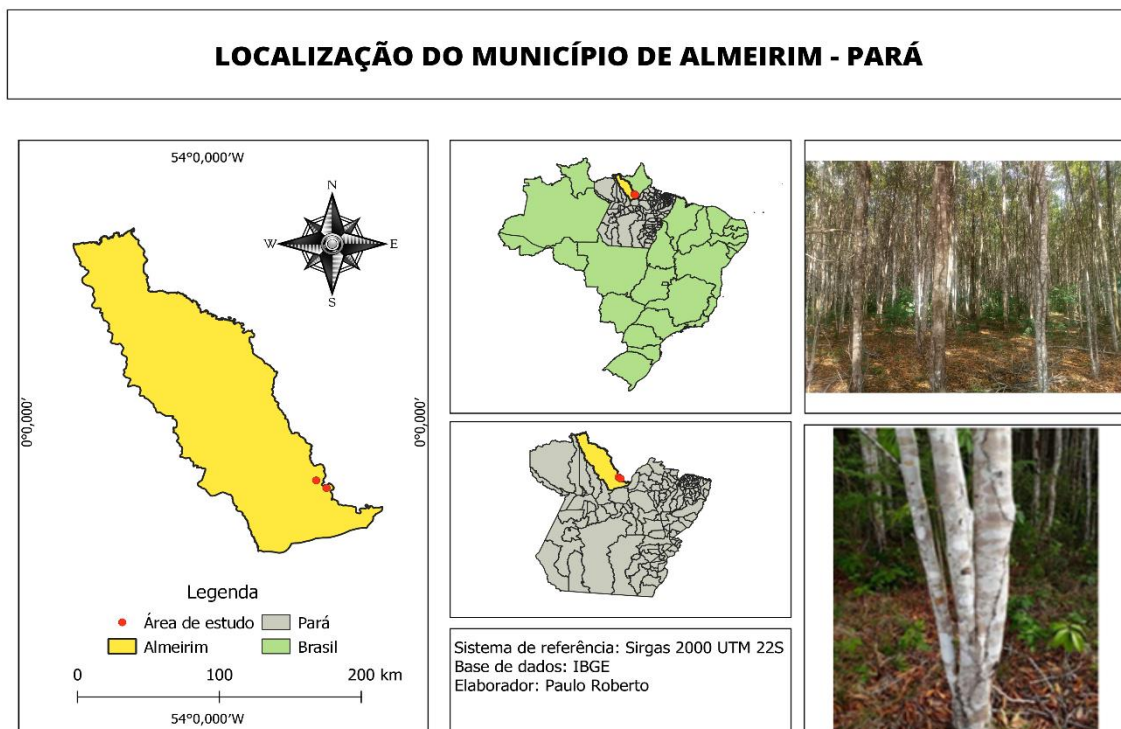


Figura 6: Localização dos plantios experimentais de *T. vulgaris* em solos de textura arenosa (ARE) e argilosa (ARG), no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, Pará. Fonte: Autor (2023), Imagens: Junior (2023).

O plantio experimental adotado pela empresa consistiu em utilizações de fosforo e potássio para recomendações de adubação mediante a testes. Para ambas áreas experimentais, utilizou-se a seguinte dosagem: 390-P+0K. Para o nitrogênio, utilizou-se apenas uma dosagem inicial de apoio de 21 kg ha⁻¹ de N, tendo em vista que a espécie do estudo dispõe de fixação biológica deste nutriente. Como fonte de fósforo, o insumo utilizado foi o superfosfato triplo (41% de P²O⁵), aplicado no fundo da cova durante o plantio. E para o nitrogênio, o sulfato de amônio (21% de N) aplicado em dosagem única.

4.2.2 Coleta e preparo dos materiais

A madeira utilizada na realização deste estudo foi obtida de árvores da espécie

Tachigali vulgaris, sendo quatro árvores de fustes únicos e outras quatro árvores denominadas bifurcadas, pois cada uma apresentava um fuste secundário. O solo do tipo 1 se refere ao de textura arenosa, já o solo do tipo 2 é o que apresenta textura argilosa. Para cada tipo de solo foram utilizadas 8 árvores, totalizando 16, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Descrição dos tratamentos

Bloco	Solo	Tipo de fuste	Árvore	Idade (meses)
B1	Arenoso	Bifurcadas	3	132
B1	Arenoso	Não bifurcadas	4	132
B1	Argiloso	Não bifurcadas	27	132
B1	Argiloso	Bifurcadas	28	132
B2	Arenoso	Bifurcadas	9	132
B2	Arenoso	Não bifurcadas	10	132
B2	Argiloso	Não bifurcadas	33	132
B2	Argiloso	Bifurcadas	34	132
B3	Arenoso	Não bifurcadas	15	132
B3	Arenoso	Bifurcadas	16	132
B3	Argiloso	Não bifurcadas	39	132
B3	Argiloso	Bifurcadas	40	132
B4	Arenoso	Bifurcadas	21	132
B4	Arenoso	Não bifurcadas	22	132
B4	Argiloso	Não bifurcadas	45	132
B4	Argiloso	Bifurcadas	46	132

Depois da derrubada, foram retirados vários discos ao longo do lenho até a sua altura comercial máxima. A partir disso, foi utilizado o primeiro disco próximo a base, denominado de 0%. A escolha para a utilização dessa fração para os dois tipos de árvores do fuste deu-se devido ao seu maior diâmetro, (Figura 7).

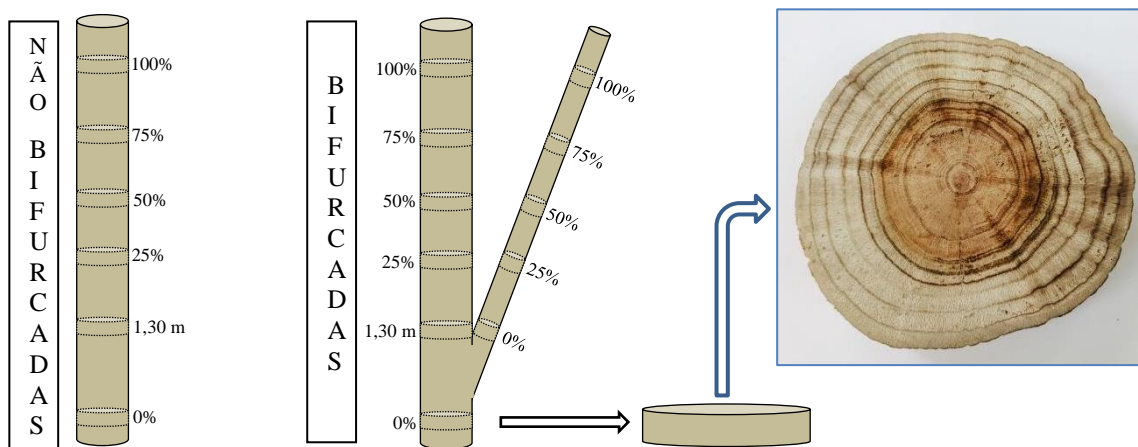


Figura 7. Esquema de amostragem das árvores e seccionamento dos discos. Fonte: Autor.

4.2.3 Análise morfológica das fibras

Para a mensuração das dimensões das fibras foi preparado material macerado segundo a metodologia de Franklin, (1945).

Foram obtidos pequenos fragmentos de madeira. As amostras foram colocadas em pequenos recipientes de vidro de 20 ml junto com uma solução macerante contendo ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio, na proporção 1:1 (v/v). Em seguida, os frascos foram etiquetados, tampados e levados para a estufa em uma temperatura aproximada de 60°C por 24 horas até a completa maceração das amostras. Após este processo, o material dissociado na maceração foi lavado com água destilada e corado com Safranina aquosa. Foram confeccionadas lâminas provisórias para a realização das análises, conforme a Figura 8.

Para a mensuração dos elementos celulares dissociados foram confeccionadas lâminas temporárias e os caracteres anatômicos mensurados foram: comprimento das fibras (μm), diâmetro das fibras (μm), diâmetro do lúmen das fibras (μm).





Figura 8. Etapas do processo de maceração da madeira. a) Cavacos de madeira da espécie *T. vulgaris*. b) diminuição de tamanho do material. c) amostras com a solução macerante. d) Material na estufa por 24 horas. e) amostras após o processo de dissociação dos elementos. f) material corado com Safranina. Fonte: Autor.

Para cada parâmetro foram realizadas 50 contagens e mensurações. Com o auxílio do microscópio óptico Trinocular Motic, foram fotografadas imagens de cada parâmetro estudado, sendo que o diâmetro das fibras e o diâmetro do lúmen foram medidos em uma mesma fibra. As medições de comprimento das fibras foram realizadas em aumento de 4x. O diâmetro das fibras e o diâmetro do lúmen foram medidos em objetiva de 40x. Após a obtenção das imagens, foi utilizado o software Motic Images Plus 3.0. para a mensuração dos parâmetros quantitativos, (Figura 9).

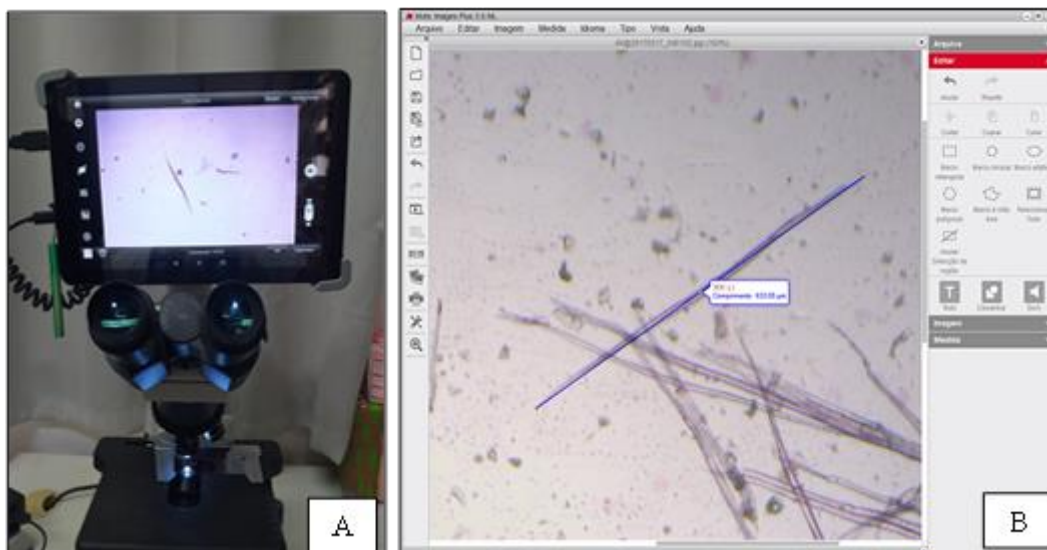


Figura 9. Mensuração das fibras. a) Microscópio óptico Trinocular Motic. b) software Motic Images Plus 3.0. Fonte: Autor.

4.2.3.1 Coeficientes indicativos de qualidade da madeira

Fração parede da fibra

A fração parede foi obtida segundo Foelkel e Barrichelo (1978), de acordo com a Equação 1:

$$FP = \frac{2 \times E}{L} \times 100 \quad (1)$$

onde: E = espessura da parede da fibra e L = diâmetro da fibra

Razão de aspecto

A razão de aspecto das fibras foi determinada a partir da razão entre o comprimento e o diâmetro das fibras, conforme a Equação 2:

$$L/D = \frac{L}{D} \quad (2)$$

Onde L/D = razão de aspecto, L = Comprimento das fibras (μm) e D = diâmetro das fibras (μm).

Coefficiente de flexibilidade

O coeficiente de flexibilidade foi determinado pela Equação 3:

$$CF = \frac{DL}{L} \quad (3)$$

Onde: CF = coeficiente de flexibilidade, DL = diâmetro do lúmen, L = largura da fibra

Tabela 3– Classificação referente ao coeficiente de flexibilidade

Coeficiente de flexibilidade	Características das Fibras		
	Colapso	Superfície de contato	União Fibra-Fibra
>75	Sim	Boa	Boa
75-50	Parcial	Boa	Boa
50-30	Pouco	Pouca	Pouca
<30	Não	Muito Pouca	Fraca

Fonte: Istas et al. Citado por Blanco Rojas, adaptado por Nisgoski, 2005.

Índice de Runkel

O índice de Runkel foi determinado pela Equação 4:

$$IR = \frac{2 \cdot E}{DL} \quad (4)$$

Onde: IR = índice de Runkel, DL = diâmetro do lúmen, E = espessura da parede.

Tabela 4 – Classes do Índice de Runkel

Índice de Runkel	Grupo	Características das Fibras
≤ 0,25	I	A fibra é muito flexível, macia, apresentando a capacidade de acomodar-se facilmente. Tal fato representa a condição ótima para a fabricação de papel. O valor da relação indica que o lume é muito grande em relação à espessura da parede.
0,25-0,50	II	A fibra é menos flexível do que no caso anterior, também fornece bons resultados na fabricação de papel. O valor da relação indica que a igualdade entre o diâmetro da fibra e espessura da parede é aumentada, diminuindo em consequência o diâmetro do lume.
0,50-1,00	III	A fibra começa a ser menos flexível e macia do que anteriormente, apresentando características mecânicas modestas. O valor da relação indica que sendo aumentada a espessura da parede celular em relação ao caso anterior, diminuindo a seção do lume.
>1	IV	O valor da relação indica claramente que o diâmetro do lume diminui fortemente, enquanto as paredes se tornam espessas, portanto, as fibras são rígidas e tem baixa capacidade para fabricação de papel.

Fonte: Adaptado de Nisgoski (2005).

Índice de Mulsteph

O índice de Mulsteph foi determinado pela Equação 5:

$$IM = \frac{L^2 - DL^2}{L^2} \quad (5)$$

Onde: IM = índice de Mulsteph, DL = diâmetro do lúmen, L = largura da fibra.

4.2.4 Análise química

4.2.4.1 Teor de extrativos totais

Para a determinação do teor de extrativos totais (base massa total), foi utilizada a norma NBR 14853 (2010), adaptada. As amostras de madeira foram transformadas em serragem em moinho analítico básico, e posteriormente selecionadas por peneiras de 40 e 60 mesh sobrepostas, sendo utilizado o material retido na peneira de 60 mesh.

A extração ocorreu em extrator Soxhlet acoplado a um condensador do tipo serpentina e uma chapa aquecedora. No extrator, adicionou-se um cadinho filtrante nº 2 de massa conhecida, contendo cerca de 2 g do material peneirado, que sucessivamente foram submetidas à extração por dois solventes: álcool etílico/tolueno (1:2 v/v) e etanol, durante 8h e 6h, respectivamente. Após esse processo, os cadinhos contendo o material foram lavados com 1 litro de água quente e submetidos à secagem em estufa a 105°C por 24 h e pesados para a determinação do teor de extrativos. Os extratáveis solubilizados por cada solvente foram

determinados utilizando a diferença da massa inicial pela massa residual pós-extração, conforme as Equações 6 e 7. A análise foi realizada em triplicata, (Figura 10).

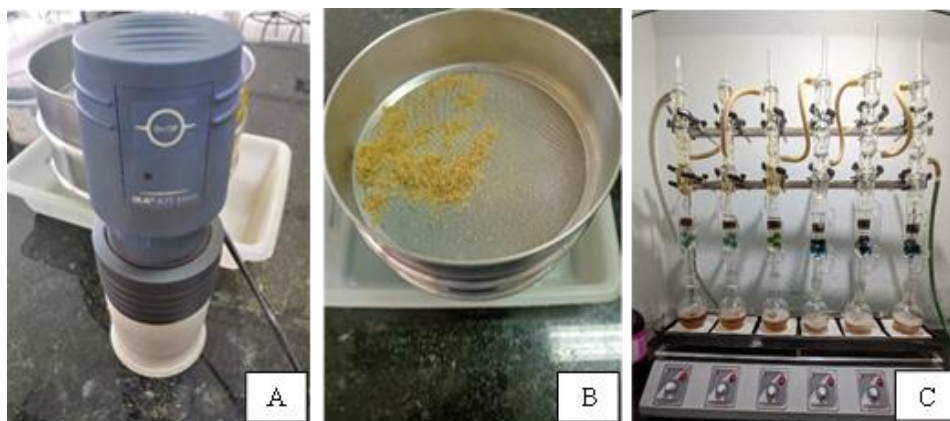


Figura 10. Determinação do teor de extrativos totais da madeira. A - Moinho analítico básico A11; B – Peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh; C – Extrator soxhlet utilizado na determinação do teor de extrativos totais Fonte: Autor (2023).

$$MSF = CD - (CD + MSF) \quad (6)$$

Onde MSF = massa seca final e CD = massa do cadinho.

$$ET\% = \frac{MSR - MSF}{MSR} \times 100 \quad (7)$$

Onde ET = extrativos totais e MSR = massa seca real.

4.2.4.2 Teor de cinzas da madeira

O teor de cinzas que determina a quantidade de material inorgânico presente na madeira na forma de óxidos foi determinado através da norma adaptada NBR 13999 (2003).

Os cadinhos foram calcinados em mufla a 450°C por 4 h e, após esse período, foram colocados em dessecador e posteriormente, pesados em balança analítica de precisão 0.0001g. Em seguida, foi pesado o equivalente a 2g de material absolutamente seco, utilizando o cadinho de massa conhecida e colocados novamente em mufla a 450°C por 4 h. Passado este período, o material foi pesado e através das Equações 8 e 9 foi determinado o teor de cinzas, (Figura 11).

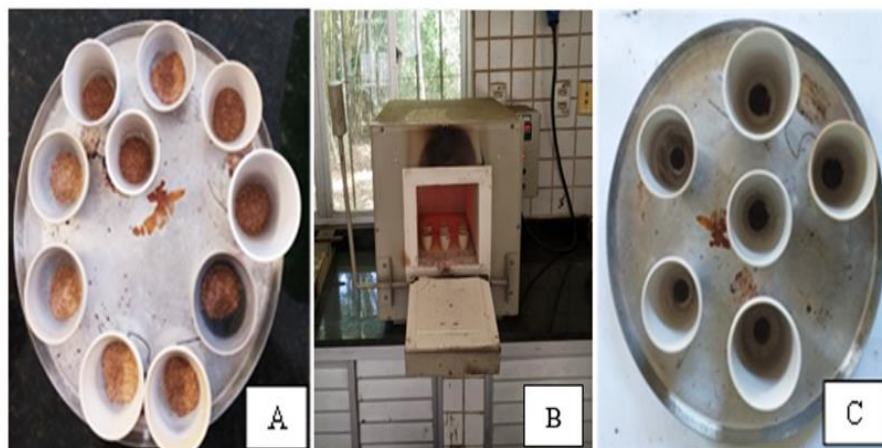


Figura 11. Determinação do teor de cinzas da madeira. A – Material em cadinhos de porcelana; B – Mufla; C – Amostras após retirada da mufla. Fonte: Autor (2023).

Onde MCZ = massa de cinzas, CD = massa do cadinho, MSF = massa seca final

$$CZ\% = \frac{MCZ}{MSR} \times 100 \quad (8)$$

Onde CZ = teor de cinzas, MSR = massa seca real.

4.2.4.3 Teor de holocelulose

O teor de Holocelulose foi determinado pela extração da lignina de acordo com a metodologia de Browning (1963). Foi utilizado 2,0000g do material livre de extrativos colocados em um Erlenmeyer de 125 mL. Em seguida, adicionou-se 55 ml de água. Com o auxílio de uma pipeta, adicionou-se 3 mL de clorito de sódio a 20% e 2 mL de ácido acético a 20% em cada Erlenmeyer. As soluções foram aquecidas em banho-maria a 70°C. A cada 45 minutos, foram adicionados 3 mL de NaClO² e 2 mL de ácido acético, totalizando 5 aplicações. Após a última aplicação, as soluções foram filtradas em cadinho de vidro sinterizado. As amostras foram secas em estufa e, após o resfriamento em dessecador, foram pesadas. O teor de holocelulose foi calculado pela Equação 9:

$$H\% = \left(\frac{PSF - T}{PSI} \right) \times 100 \quad (9)$$

Onde H%= teor de Holocelulose, PSF= massa da Holocelulose mais cadinho poroso n.01, T= tara (massa) do cadinho poroso n. 01, PSI= peso seco do material livre de extrativos.

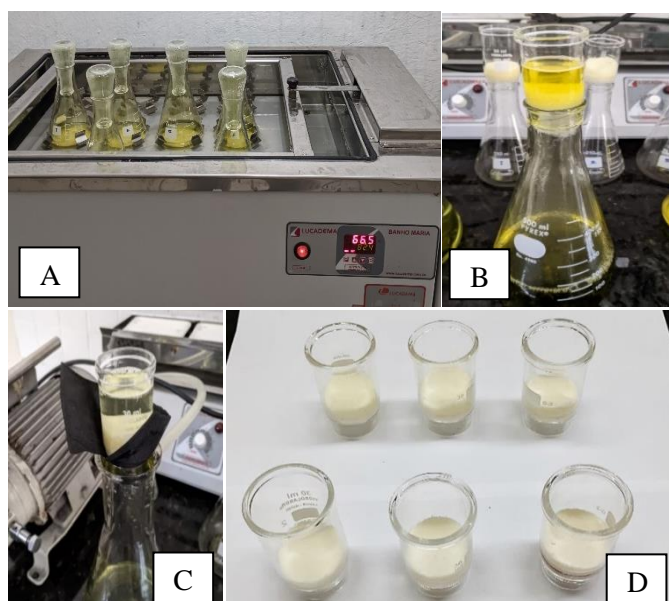


Figura 12. Processo de obtenção da Holocelulose: A – amostras no banho maria; B e C – processo de filtragem da amostra; D – holocelulose após a secagem. Fonte: Autor (2023).

Seguindo a metodologia de Kennedy et al. (1987) para a obtenção do teor de celulose, 1g da holocelulose foi pesado e adicionado 15 ml de KOH 24%. A mistura foi mantida sob agitação durante 15h. Em seguida, o material foi filtrado em cadinho de vidro sinterizado. A celulose foi então seca em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante, (Figura 13).

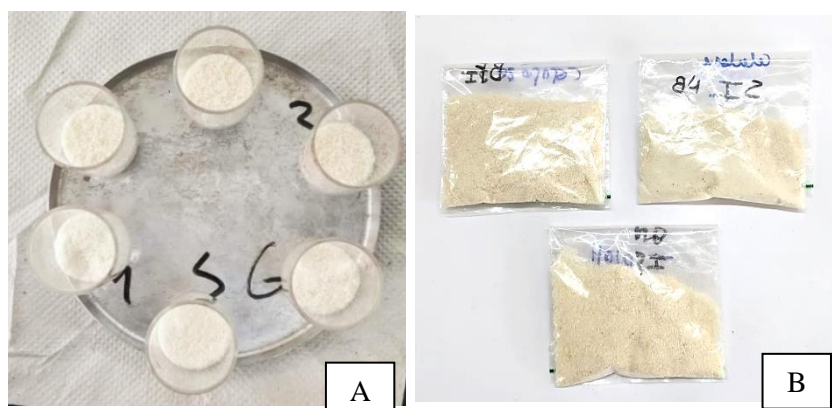


Figura 13. Processo de obtenção da Celulose: A – amostras retiradas da estufa; B – Fibras de celulose acondicionadas em saco zip lock. Fonte: Autor (2023).

Os teores de hemiceluloses foram obtidos através da diferença dos valores de holocelulose e celulose. Todas as análises foram conduzidas em triplicatas, conforme Equação 10.

$$\text{Hemiceluloses} = \text{Holocelulose}(\%) - \text{celulose}(\%) \quad (10)$$

4.2.5 Análise estatística dos dados

Os experimentos foram implantados em delineamento em blocos casualizados, com quatro blocos, cujos tratamentos são 2 tipos de textura do solo e 2 tipos de fustes combinados entre si. Para testar a normalidade, a homogeneidade de variâncias e a ausência de autocorrelação dos resíduos, os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk, de Bartlett e de Durbin-Watson, respectivamente. Em seguida, os resultados foram interpretados com auxílio de análise de variância (ANOVA), com o auxílio do software R-Studio.

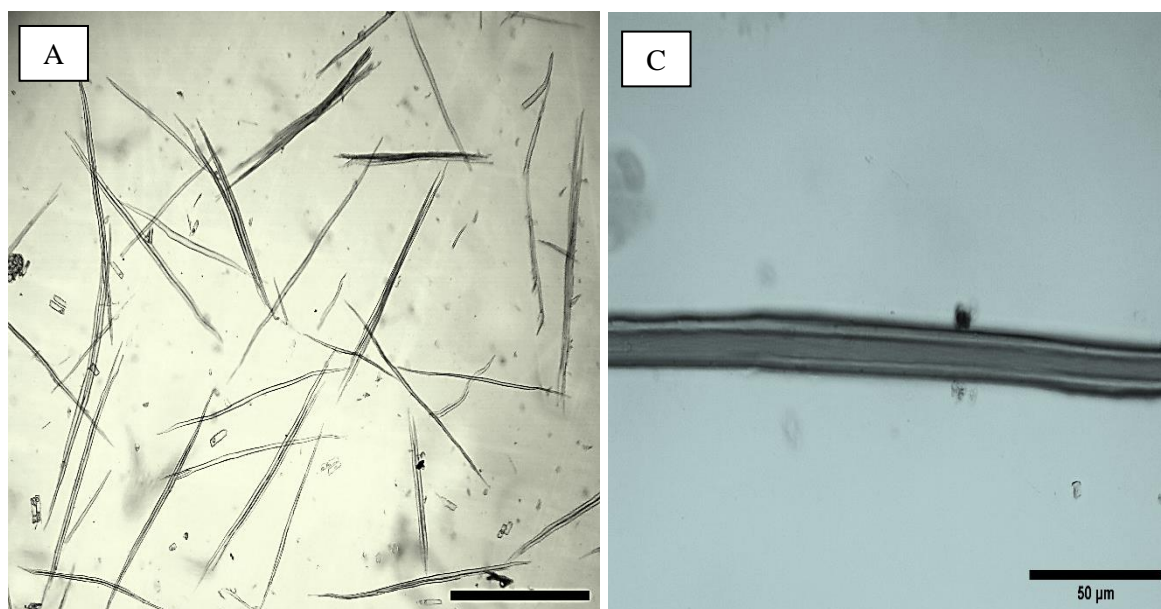
4.3 Resultados e discussão

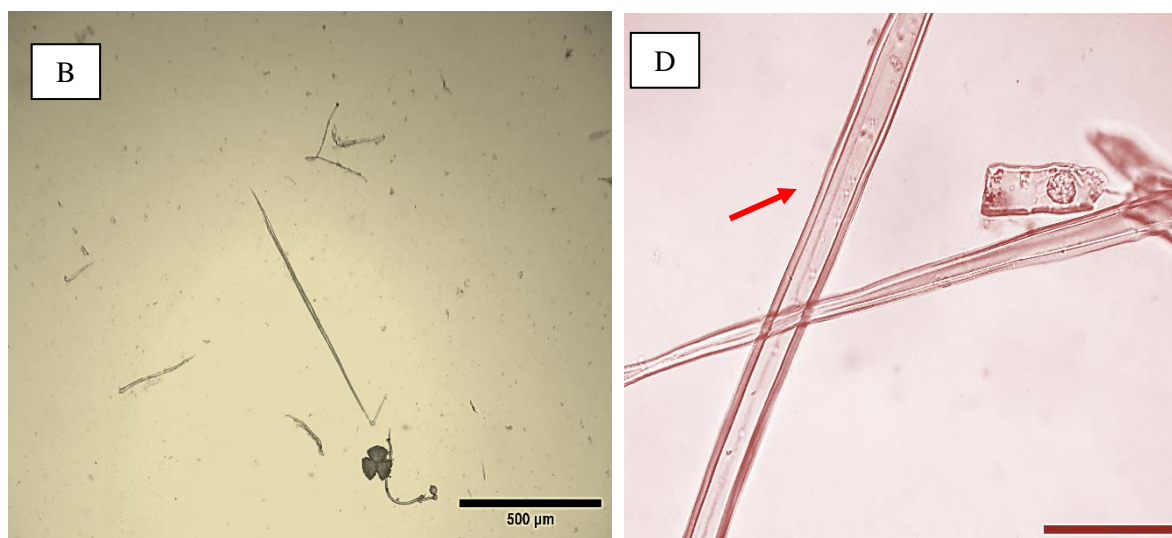
4.3.1. Efeitos da bifurcação nas propriedades da madeira de *Tachigali vulgaris*

4.3.1.1 Textura de solo arenosa

Na Figura 14 é possível observar as propriedades morfológicas das fibras e as diferenças entre os materiais. Observa-se na Tabela 5 a análise de variância referente às dimensões das fibras para cada árvore de *Tachigali vulgaris*. Pelo Teste F da análise de variância foi encontrado efeito estatístico significativo do tipo de fuste para as características morfológicas das fibras.

Figura 14. Microfotografias da espécie *T. vulgaris* em objetivas de 4x comprimento das fibras (A e B) e 40x (C e D), espessura da fibra e do lúmen.





Árvores Bifurcadas, figura A e C. Árvores não bifurcadas, figura B e D

Tabela 5. Resumo da análise de variância para as características anatômicas da madeira do tachi-branco

FV	G	Quadrado médio								
		L	C (μm)	DF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	L/D	FP (%)	CF (%)	IR
Blocos	3	3240	0,452	0,6962	0,1267	5,504	23,82	23,82	0,02652	0,003097
Fustes	1	11393*	3,200	0,4267	0,3223	1,364	11,63	11,63	0,01316	0,001361
Resíduo	3	1357	0,621	1,1886	0,0923	24,400	34,29	34,29	0,05255	0,004210
Média Geral	-	652,67	12,67	7,38	2,65	53,96	42,80	57,20	0,83	0,66
CV (%)	-	8,68	7,55	12,65	14,09	6,68	12,04	9,01	22,65	8,73

GL= graus de liberdade; CF = comprimento da fibra; EP = espessura da parede da fibra; DF = diâmetro da fibra; DL = diâmetro do lúmen da fibra; L/D = razão de aspecto; FP = fração de parede da fibra; CF = coeficiente de flexibilidade; IR = índice de Runkel; IM = índice de Mulsteph; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; CV = coeficiente de variação.

As árvores não bifurcadas apresentaram o comprimento e diâmetro médio das fibras e diâmetros dos lúmens de 690,41 μm , 13,31 μm e 7,60 μm , respectivamente. Todas as características apresentaram efeito não significativo de tipo de fuste, exceto comprimento da fibra. As árvores bifurcadas apresentaram comprimento e diâmetro médio das fibras e diâmetros dos lúmens de 614,93 μm , 12,04 μm e 7,14 μm , respectivamente. Dessa forma, estas características morfológicas apresentaram valores inferiores para as árvores bifurcadas, (Tabela 6).

Tabela 6. Estatística descritiva das características morfológicas das fibras de madeira tachi-branco em função do tipo de fuste, para o solo do tipo arenoso.

Solo	Árvores	C (μm)	DF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	FP (%)	L/D	CF (%)	IR	IM
Arenoso	NB	690,41 ^a	13,31 ^a	7,60 ^a	2,85 ^a	44,0 ^a	54,37 ^a	56,00 ^a	0,88 ^a	0,67 ^a
	BF	614,93 ^b	12,04 ^a	7,14 ^a	2,45 ^a	41,6 ^a	53,55 ^a	58,41 ^a	0,79 ^a	0,65 ^a
	Média	652,67	12,68	7,37	2,65	43,00	53,96	57,21	0,84	0,66
	Máximo	1193,21	23,15	19,99	5,32	84,86	133,34	86,35	5,61	0,98

Mínimo	291,09	4,66	1,57	0,76	13,65	21,76	15,14	0,16	0,25
CV	8,68	7,56	12,65	14,10	6,68	12,04	9,01	22,65	8,73

C = comprimento da fibra; DF = diâmetro da fibra; DL = diâmetro do lúmen; EP = espessura da parede da fibra; FP = fração de parede; L/D = razão de aspecto; CF = coeficiente de flexibilidade; IR = índice de Runkel; IM = índice de Mulsteph. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 % de significância ($p < 0,05$).

Oliveira et al. (2008), avaliando a influência dos níveis de adubação na anatomia da madeira de *T. vulgaris*, encontraram resultados próximos para plantios aos 18 anos de idade, com média de 708 μm de comprimento, 11,58 μm de diâmetro do lúmen e 3,41 μm de espessura da parede da fibra.

Em comparação com outras matérias-primas utilizadas na indústria de papéis, como o eucalipto (800 μm) e acácia (600 μm) (Benites et al., 2018; Jardim et al., 2017), podemos classificá-las como fibras de comprimento curto, sendo superior às fibras de acácia e inferior as fibras de eucalipto. O comprimento das fibras é uma característica importante para as propriedades e qualidades do papel. De acordo com Foelkel (2007), o comprimento das fibras influencia na resistência mecânica do papel e a formação da folha. Dessa forma, fibras longas apresentam maior resistência mecânica, já fibras curtas favorecem a formação de folhas, além de melhorar as suas propriedades superficiais e a ligação interfibras (DIAS e SIMONELLI, 2013).

A fração de parede média encontrada para a espécie para as árvores não bifurcadas foi de 44%, indicando que do espaço total ocupado pela fibra 44% são biomassa (celulose, lignina e hemiceluloses) e 56% são espaços vazios. Já as árvores bifurcadas apresentaram valor médio de fração de parede de 41,6%, tal valor foi inferior para este tipo de fuste. Os valores de fração parede são inferiores ao encontrado por Gonzalez et al. (2014), avaliando *E. grandis* com *E. urophylla* com 8 anos de idade, que variou de 59,64% a 70,89%. Shimoyama e Wiecheteck (1993) citam que o ideal é que a fração parede esteja abaixo de 40%, resultando em fibras que se colapsariam com maior facilidade na fabricação de papel, proporcionando maior resistência à tração e ao estouro.

Paredes mais espessas indicam uma maior quantidade de massa por unidade de volume, devido ao aumento na produção dos principais constituintes da parede celular da madeira (PAULA, 2003). Este índice está associado com a facilidade de colapso e a flexibilidade entre a ligação das fibras. Fibras que apresentam a fração parede superior a 60% são classificadas como muito rígidas e isso acaba prejudicando a interrelação das fibras (FOELKEL, BARRICHELO, 1978).

Outra característica observada foi a razão de aspecto que se refere à razão entre o

comprimento e diâmetro das fibras, as árvores não bifurcadas apresentaram um valor médio de 54,37. As árvores bifurcadas apresentaram razão de aspecto de 53,55. Este índice está relacionado com o afilamento das fibras, quanto maior este valor, melhor a formação da folha, conferindo uma maior resistência ao rasgo e a formação de dobras duplas (BALDI, 2001, NISGOSKI, 2005). Os valores encontrados no presente estudo são superiores aos encontrados por Menegazzo (2012) para as espécies de *E. grandis* e *E. urophylla*, os quais tiveram razão de aspecto de 49,32 e 45,44 respectivamente.

Para se utilizar fibras curtas como reforço em compósitos é necessário que se analise o seu comprimento crítico, com o intuito de que a sua função mecânica e de reforço na matriz polimérica sejam eficientes e não atuem como enchimento ou carga (FRANCO; GONZÁLEZ, 2005). Em relação às fibras longas, que possuem uma razão de aspecto superior a 100 μm e estão devidamente orientadas em direção do esforço vão propiciar melhores transferências de tensões em comparação com as fibras curtas. Entretanto, fibras curtas facilitam a mistura durante a extrusão (MARSH, 2003; GOH, 2004).

Em relação ao coeficiente de flexibilidade, o resultado obtido foi de 56% para as árvores não bifurcadas e de 58,41% para as árvores bifurcadas. Esta característica está relacionada com o grau de colapso das fibras, pois quanto maior for o seu valor maior será a sua resistência à ruptura e menor a tração. Dessa forma, a fibra se torna mais flexível e isso contribui para o aumento na resistência ao arrebentamento, pois ocorre o aumento do número de ligações entre as fibras (FOELKEL; BARRICHELO, 1975). Valores inferiores ao desde trabalho foram verificados por Carvalho e Nahuz (2004) para *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* que variaram de 46,43% a 51,13%, e Florsheim et al. (2009) de 47,53% a 53,10% para *E. dunnii*.

De acordo com Nisgoski (2005) e Vasconcelos (2005), o índice de Runkel é classificado nos seguintes grupos: I: $\leq 0,25$; II: entre 0,25 e 0,50; III: entre 0,50 e 1,00; IV: entre 1,00 e 2,00; V: $>2,00$, sendo considerado excelente, muito bom, bom, regular e ruim para fabricação de papel, respectivamente. Os resultados do índice de Runkel para as árvores não bifurcadas foram de 0,88 e 0,79 para as árvores bifurcadas o que a enquadra na faixa de classificação de uma fibra considerada boa para a polpação. O índice encontrado assemelha-se a outras matérias-primas utilizadas para polpação e papel de 1,1 para *E. dunnii* (Florsheim et al., 2009), 1,12 para *E. camaldulensis*, 0,87 para *E. grandis* e 0,473 a 0,609 para clones de *Eucalyptus spp.* (Talgatti et al. 2020).

Esse valor indica que a igualdade entre o diâmetro da fibra e a espessura da parede é

maior, diminuindo o diâmetro do lúmen, com isso a flexibilidade da fibra se mantém. Conforme esse valor aumenta, a fibra se torna mais rígida e tem maior dificuldade de acomodação e união (FLORSHEIM et al., 2009).

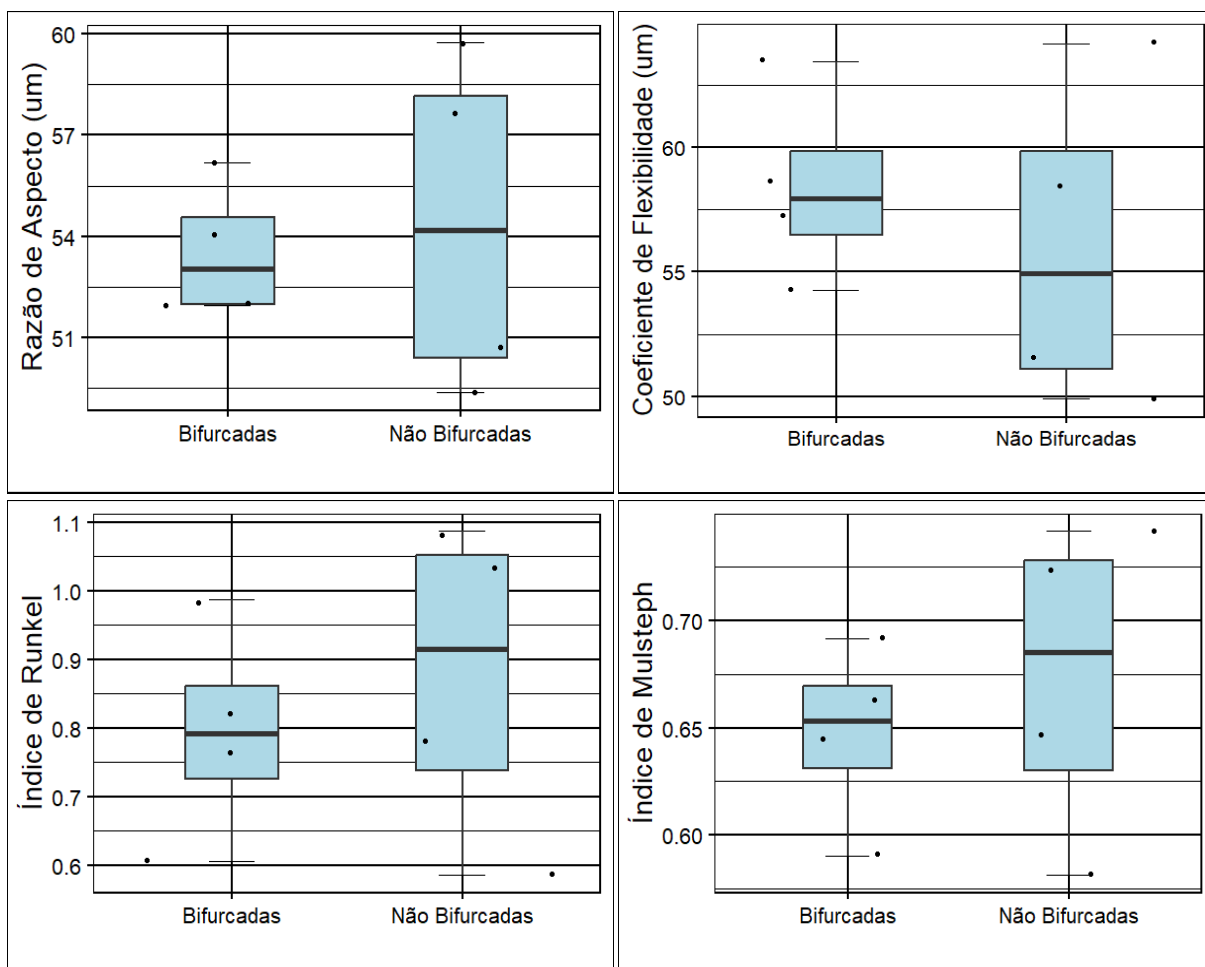
O índice de Runkel indica o quanto a fibra é flexível e a capacidade delas se unirem, o que afeta as propriedades de resistência ao arrebentamento e tração das folhas de papel (BALDI, 2001, NISGOSKI, 2005). Valores deste índice superiores a 1,5 são desaconselháveis para a indústria de papel, pois a fibra possui certa rigidez e diminui sua capacidade de interligação (FOELKEL, 1978).

O índice de Mulsteph encontrado foi de 0,67 para as árvores não bifurcadas e 0,65 para as árvores bifurcadas, o que está relacionado com a capacidade de colapso que as fibras podem apresentar. O índice encontrado neste estudo assemelha-se ao reportado por Rodrigues (2010), que estudando dois clones do híbrido *Eucalyptus urograndis*, encontrou valores médios de 0,57 e 0,65.

De acordo com Akgul e Tozluoglu (2009), índices que apresentem valores inferiores a 0,5 são satisfatórios para a produção de papel e celulose, pois apresentam menor área relativa da parede celular, o que indica paredes delgadas. O valor encontrado para as árvores não bifurcadas e bifurcadas foram superiores ao citado na literatura. De acordo com este índice as fibras são agrupadas pela ocorrência de colapso e por resultar na formação de folhas de alta ou baixa densidade, em que a qualidade da folha está baseada na área relativa da parede da célula em relação a fibra inteira (NISGOSKI, 2005).

Observa-se na Figura 15, os índices de qualidade das fibras. Onde, as árvores não bifurcadas apresentaram médias superiores de razão de aspecto, índice de Runkel e índice de Mulsteph e menor valor de coeficiente de flexibilidade. Desse modo, os índices de qualidade das fibras para a produção de papel e celulose foram mais favoráveis nas árvores bifurcadas. Pois, um maior coeficiente de flexibilidade faz com que aumente resistência das fibras à ruptura e menor a tração, o índice de Runkel encontra-se na categoria III, sendo considerada boa e com isso as fibras possuem uma maior flexibilidade, assim como o índice de Mulsteph que está classificado como médio e com isso são satisfatórios para a produção de papel e celulose.

Figura 15. Índices de qualidade das fibras do solo arenoso



Assim, as árvores que apresentam mais de um fuste têm o desenvolvimento do seu lenho de uma forma diferente. O que pode ser provocado pelo menor investimento de recursos fotoassimilados para a criação e expansão da parede celular. Como as árvores bifurcadas são mais suscetíveis a agentes ambientais externos, como os ventos fortes, acredita-se que o lenho vá investir a maior parte dos recursos fotoassimilados no desenvolvimento do caule principal, devido uma estratégia de suporte mecânico da árvore (SLATER; ENNOS, 2013).

Em estudos realizados por Barros Junior, (2023) com a mesma espécie utilizada neste estudo, verificou que a bifurcação provocou efeitos negativos ao reduzir a densidade básica da madeira e a densidade relativa aparente do carvão, além de aumentar o consumo específico da madeira. De acordo com Abraão et al. (2020), a variação observada para espessura e largura das fibras podem influenciar nas propriedades físicas da madeira.

De acordo com Tsoumis (1968), a idade do câmbio vascular influencia a variação dos elementos anatômicos da madeira, onde existem períodos denominados lenho juvenil e lenho tardio, a duração desse período é de difícil identificação nas espécies, podendo ocorrer de

forma gradual ou abrupta. Algumas características do lenho juvenil são a presença de diâmetros celulares menores (MALLAN, 1995). Além disso, segundo Trujillo et al. (1996), as variações nos elementos anatômicos, químicos e físicos da madeira são grandes entre espécies, porém ocorrem também dentro da mesma espécie, como fatores a idade, fatores genéticos e ambientais. As diferenças anatômicas entre indivíduos podem ocorrer no mesmo lugar, entre lugares diferentes ou dependendo da localização geográfica e altitude.

Outro fator ligado a variação dos elementos é hormônio do crescimento, principalmente a auxina, onde de acordo com os estudos de Aloni (1995), ocorre alta concentração desse hormônio no ápice do fuste e vai decrescendo para a base, essa alta concentração faz com que ocorram mudanças no tamanho e na frequência dos elementos celulares. Quando ocorre a interrupção da circulação da auxina ao longo do lenho, tem-se um aumento de sua concentração naquele local.

Quanto a composição química da madeira, observam-se na Tabela 7, a análise de variância para as árvores de *Tachigali vulgaris*. Pelo Teste F da análise de variância, foi encontrado efeito estatístico significativo do tipo de fuste para as características químicas.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para as características químicas da madeira do tachi-branco

FV	G L	Quadrado médio					
		Umidade	Cinzas	Extrativos totais	Holocelulose	Celulose	Hemiceluloses
Blocos	3	0,2615	0,04269	0,597	0,504	0,84	0,84
Fustes	1	0,5570	0,01451	8,855*	5,362*	33,25*	65,37*
Resíduo	3	0,3532	0,00845	0,692	0,112	0,84	0,84
Média Geral	-	9,03	0,40	6,98	67,61	41,91	25,69
CV (%)	-	6,48	38,49	19,31	1,5	5,6	12,3

GL= graus de liberdade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; CV = coeficiente de variação.

O conhecimento da composição química da madeira e de seus componentes principais possibilita a compreensão do seu comportamento para os diversos fins industriais, como a produção de polpa celulósica. As médias de teores de cinzas, extrativos totais, Holocelulose, celulose e hemiceluloses por tipo de fustes no plantio de *Tachigali vulgaris* nas áreas de solo com textura arenosa são encontrados na Tabela 8.

Tabela 8: Composição química das serragens in natura da espécie em estudo

Árvores	Cinzas (%) *	Extrativos Totais (%) *	Holocelulose (%) **	Celulose (%) **	Hemiceluloses (%) **
NB	0,44 ^a	6,00 ^a	68,43 ^a	39,89 ^a	28,54 ^a
BF	0,36 ^a	8,00 ^b	66,79 ^b	43,98 ^b	22,81 ^b

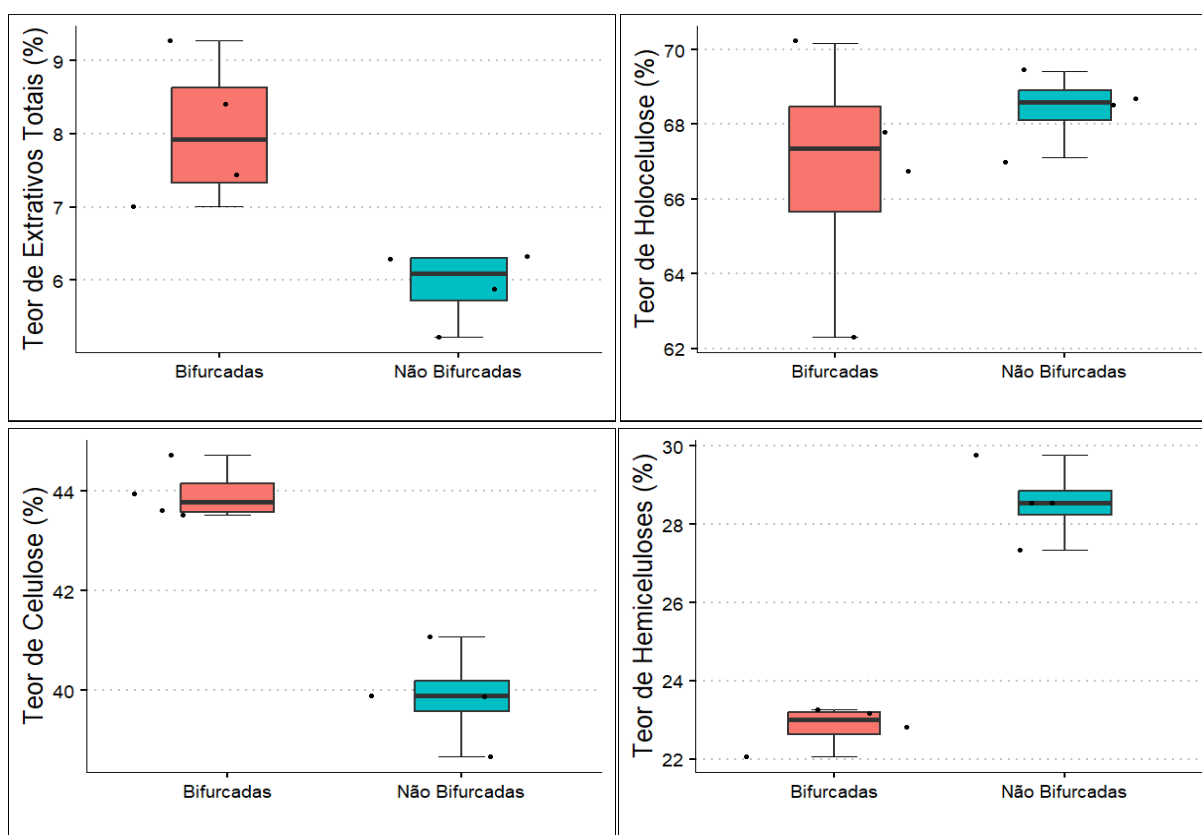
Média	0,40	6,98	67,61	41,92	25,69
Máximo	0,66	9,27	69,07	44,42	29,57
Mínimo	0,23	5,22	66,56	38,86	22,37
Desvio P	0,15	1,35	1,01	2,34	3,17

*base massa total de madeira; **base massa de madeira livre de extrativos. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 % de significância ($p < 0,05$).

O teor de cinzas não apresentou diferença significativa entre os diferentes tipos de fustes. No entanto, os valores são satisfatórios para a polpação pois teores acima de 1% podem comprometer etapas do processo como o consumo e a recuperação de reagentes, o rendimento da polpação, além de afetar no desgaste de equipamentos e elevando os custos de produção (VIEIRA, 2012).

Na Figura 16, observamos os valores de teores de extrativos totais, holocelulose, celulose e hemiceluloses para os diferentes tipos de fustes.

Figura 16. Composição química das árvores em relação ao tipo de fuste



O teor de extrativos totais encontrado para a espécie *T. vulgaris* variou de 6% para as árvores não bifurcadas e 8% para as árvores bifurcadas, dessa forma podemos observar que as árvores bifurcadas obtiveram um valor expressivo deste componente. Vale (2010), estudando as características químicas de cinco espécies do bioma cerrado, dentre elas a espécie

Tachigali vulgaris, encontrou o valor médio de extrativos totais de 6,14%. Orelhana (2015), encontrou o teor médio de extrativos totais de 5,15% para as árvores do plantio cerrado e 5,60% para as árvores do plantio de terra firme. Gouvea et al. (2012) em estudos sobre a característica da madeira de *Eucalyptus* para a produção de celulose, verificaram que em sítios diferentes a madeira apresentou variações na densidade básica, espessura da parede, teor de extrativos, lignina, relação siringil/guaiacil e carboidratos.

Os valores do teor de extrativos encontrados neste trabalho foram inferiores para as árvores não bifurcadas e isso é muito importante para a indústria de papel e celulose. O teor de extrativos na madeira é muito importante para a polpação, pois o elevado teor destes constituintes químicos indesejáveis devido a formação dos pitch (SINGH et al., 2019). Ao se formar eles se depositam no maquinário e causam inúmeros problemas, como redução da produção, aumento dos custos de manutenção, podendo comprometer o produto final. Além disso, os extrativos impactam o rendimento e aumentam o consumo de reagentes durante o processo de polpação (CARVALHO et al., 2014).

O teor de Holocelulose entre os tipos de fustes variou de 68,43% para as árvores não bifurcadas e 66,79% para as árvores bifurcadas. Mostrando superioridade para as árvores não bifurcadas. Vale (2010), estudando as características químicas de cinco espécies do bioma cerrado, dentre elas a espécie *Tachigali vulgaris*, encontrou o valor médio de holocelulose de 68,58%. Cardoso (2017), estudando a análise química e energética da espécie *Tachigali chrysophylla* encontrou o teor médio do teor de Holocelulose de 66%. Os valores encontrados neste trabalho foram bem próximo ao encontrado na literatura.

O teor de Celulose entre os tipos de fustes variou de 39,89% para as árvores não bifurcadas e 43,98% para as árvores bifurcadas. Dessa forma, observou-se que as árvores provenientes do solo com textura argilosa tentem a ter uma maior produção deste constituinte químico. Flores (2004), estudando a composição química da madeira de algumas espécies amazônicas encontrou o teor de celulose de 39,58 e 44,89% para as espécies de Jatobá e Tauari, respectivamente. Outras matérias-primas utilizadas para a polpação como o eucalipto possuem variação de (43-50%) do teor de celulose (GOMIDE et al., 2005).

Os resultados mostram a influência do tipo de fuste na composição química da espécie *T. vulgaris*. De acordo com Smiley, (2003) e Kane et al. (2008) árvores com múltiplos fustes podem estar associadas a madeira de tração e isso faz com que ocorra o decréscimo do teor de lignina e acréscimo do teor de celulose. Durante o processo de polpação ocorre a remoção de compostos indesejáveis através de ataques químico, exceto a celulose visto que ela é crucial

para a indústria de papel e celulose, logo é o principal componente químico presente nas polpas e nos papeis (POPA, 2013).

O teor de hemiceluloses entre os tipos de fustes variou de 28,54% para as árvores não bifurcadas e 22,81% para as árvores bifurcadas. Os valores encontrados neste estudo para as árvores bifurcadas foram semelhantes ao de Mokfienski (2004), que estudando a espécie *Eucalyptus urophylla* encontrou o teor de hemiceluloses de 22,5%. Já as árvores não bifurcadas apresentaram maior teor de hemiceluloses.

O teor de hemiceluloses está relacionado ao processamento da madeira para a polpação e à qualidade do produto. As hemiceluloses são altamente hidrofílicas devido à sua estrutura ramificada e amorfa, que promove o inchaço da fibra através da absorção de umidade, promovendo a lubrificação interna e elevando tanto a flexibilidade da fibra quanto a área de contato entre elas (MANFREDI, 2013).

4.3.1.2 Textura de solo argilosa

Pelo Teste F da análise de variância foi encontrado efeito estatístico significativo do tipo de fuste para as características morfológicas das fibras, (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância para as características anatômicas da madeira do tachi-branco

FV	G L	Quadrado médio								
		C (μm)	DF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	L/D	FP (%)	CF (%)	IR	IM
Blocos	3	11045	0,4674	0,598	0,0465	112,1	15,44	15,44	0,02352	0,001936
Fustes	1	15318	0,5696	1,700	0,0754	173,7	53,39	53,39	0,07407	0,006409
Resíduo	3	8529	2,6994	3,433	0,0260	102,2	45,17	45,17	0,05651	0,005949
Média Geral	-	709,39	13,25	7,82	2,71	55,34	41,93	58,07	0,79	0,65
CV (%)	-	14,50	9,05	17,96	7,53	19,51	13,82	9,98	26,87	10,04

GL= graus de liberdade; CF = comprimento da fibra; EP = espessura da parede da fibra; DF = diâmetro da fibra; DL = diâmetro do lúmen da fibra; L/D = razão de aspecto; FP = fração de parede da fibra; CF = coeficiente de flexibilidade; IR = índice de Runkel; IM = índice de Mulsteph; CV= coeficiente de variação.

Para o solo argiloso, as árvores não bifurcadas apresentaram os valores médios de comprimento, diâmetro das fibras e diâmetro dos lúmens de 753,15 μm , 12,98 μm e 7,36 μm , respectivamente. As árvores que apresentavam perfilhamento duplo de seus fustes obtiveram o comprimento das fibras de 665,63 μm e diâmetro de 13,51 μm , já o diâmetro dos lúmens foi de 8,28 μm . Dessa forma, estas características morfológicas apresentaram valores superiores para as árvores bifurcadas, exceto o comprimento das fibras. González et al. (2014) estudando as características da madeira de *Eucalyptus urograndis* com 8 anos de idade, encontraram comprimento, a largura e o diâmetro do lúmen das fibras de 0,90 μm , 16,91 μm e 5,59 μm ,

(Tabela 10).

A fração da parede obtida foi de 44,51% para as árvores não bifurcadas e 39,35% para as árvores bifurcadas. Ou seja, esse resultado corresponde ao percentual de biomassa presente nas fibras da espécie e o restante corresponde ao total de espaços vazios. O valor médio obtido para fração parede da espécie *T. vulgaris* encontra-se dentro da faixa ideal para a produção de papel. Foelkel et al. (1978) recomendam a utilização de fibras com até 60% de fração parede. No entanto, na prática, Foelkel e Barrichelo (1975) afirmam que fibras com fração parede superiores a 40% são no geral mais rígidas e de difícil colapso e resultam na produção de papéis com maior porosidade e rugosidade. Dessa forma, as árvores bifurcadas apresentaram médias satisfatórias.

A razão de aspecto encontrada para este tipo de solo foi de 60 para árvores não bifurcadas e 50,68 para as árvores bifurcadas. Esta razão corresponde a relação entre o comprimento e o diâmetro dos elementos estudados. Este índice está relacionado com a flexibilidade das fibras, o que consiste da razão entre o seu comprimento e largura. Assim, quanto mais elevado for este índice mais flexíveis e melhores serão as propriedades do papel (MIRANDA; CASTELO, 2012). As árvores não bifurcadas apresentaram valores superiores ao de outras espécies estudadas para a polpação como *E. grandis* e *E. saligna*, com razão de aspecto de aproximadamente de 54,01 e 52,08, respectivamente (MARTINS, 1983; SILVA, 2002).

Em relação ao coeficiente de flexibilidade, o resultado obtido foi de 55,49% para as árvores não bifurcadas e de 60,65% para as árvores bifurcadas. Valores de coeficiente de flexibilidade entre 50 a 75% caracterizam fibras como flexíveis, com boa superfície de contato e boa união entre as fibras. Quanto maior o valor do coeficiente de flexibilidade, mais fácil será a ligação entre as elas, conferindo assim maior resistência ao papel (FOELKEL; BARRICHELO, 1975).

Desse modo, o coeficiente de flexibilidade encontrado para as árvores bifurcadas foram melhores para a produção de celulose e papel. O valor encontrado para as árvores bifurcadas foi superior ao reportado por Sbardella (2018), onde estudando a qualidade de *E. dunnii* para a produção de polpa celulósica obteve o coeficiente de flexibilidade de 58,18%, valores intermediários em comparação a outras espécies utilizadas para a polpação.

Tabela 10. Estatística descritiva das características morfológicas das fibras de madeira tachi-branco em função do tipo de fuste, para o solo do tipo argiloso.

Solo	Árvores	C (µm)	DF (µm)	DL (µm)	EP (µm)	FP (%)	L/D	CF (%)	IR	IM
Argiloso	NB	753,15 ^a	12,98 ^a	7,36 ^a	2,81 ^a	44,51 ^a	60,00 ^a	55,49 ^a	0,88 ^a	0,68 ^a
	BF	665,63 ^a	13,51 ^a	8,28 ^a	2,62 ^a	39,35 ^a	50,68 ^a	60,65 ^a	0,69 ^a	0,62 ^a
	Média	709,39	13,25	7,82	2,72	41,93	55,34	58,07	0,79	0,65
	Máximo	1002,28	21,61	15,99	5,22	72,91	107,67	83,52	5,16	0,97
	Mínimo	364,36	6,88	2,49	1,04	16,48	23,83	16,24	0,20	0,30
	CV	14,50	9,05	17,96	7,53	19,52	13,82	9,98	26,87	10,04

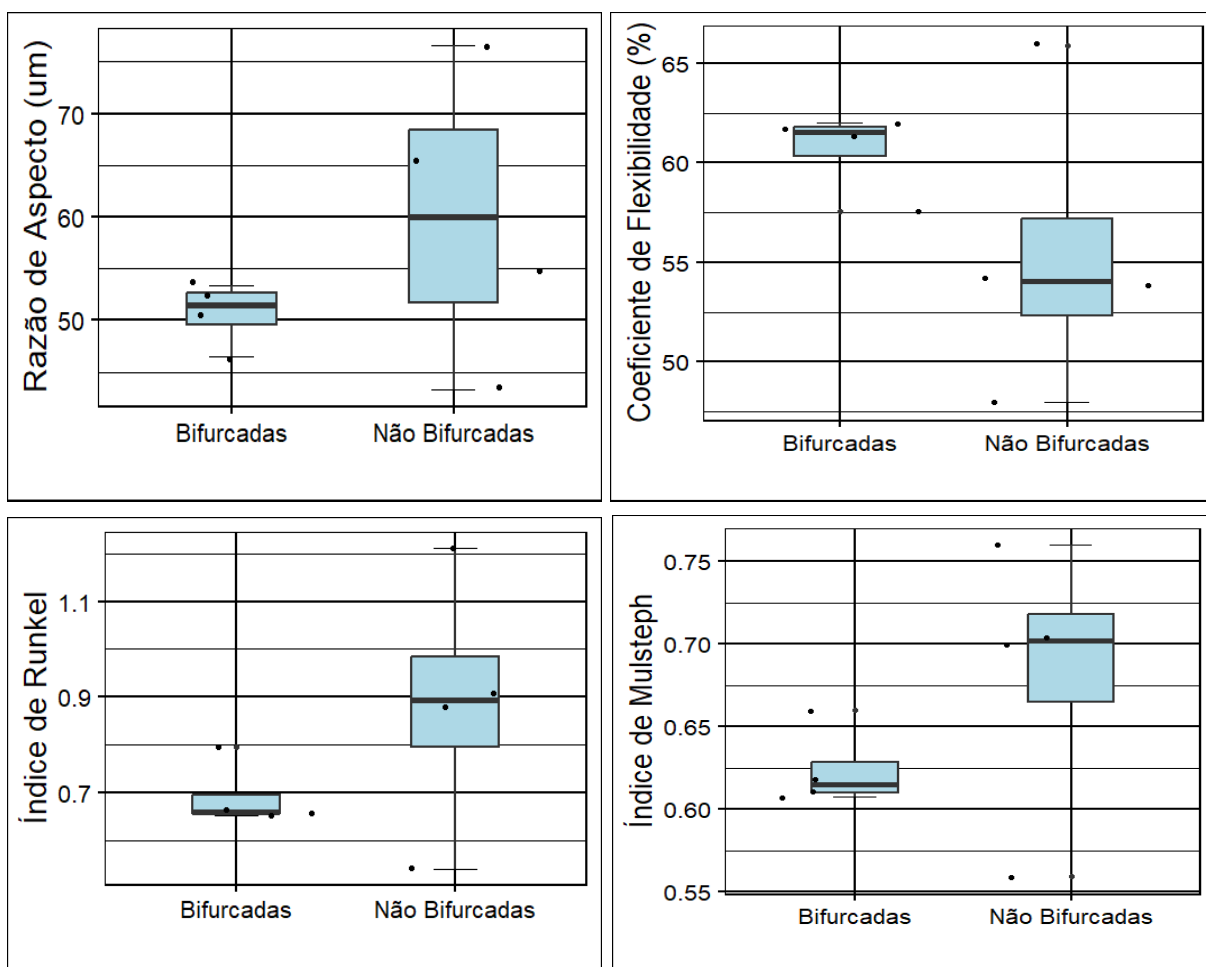
C = comprimento da fibra; DF = diâmetro da fibra; DL = diâmetro do lúmen; EP = espessura da parede da fibra; FP = fração de parede; L/D = razão de aspecto; CF = coeficiente de flexibilidade; IR = índice de Runkel; IM = índice de Mulsteph. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 % de significância ($p < 0,05$).

O índice de Runkel encontrado foi de 0,88 para as árvores não bifurcadas e de 0,69 para as árvores bifurcadas, o que segundo a classificação de Nisgoski (2005), determina que as fibras que estão nesta faixa são boas para a produção de papel, pois o diâmetro do lúmen tende a ser menor e a flexibilidade das fibras se mantem, com isso as fibras têm menos dificuldade de acomodação e união entre elas (FLORSHEIM et al., 2009). Apesar deste índice estar na mesma faixa, as árvores bifurcadas estão mais próximas do grupo II da tabela de Runkel. O valor foi inferior ao encontrado por Baldin et al. (2017) para a madeira de *E. dunnii* que gerou o valor de 1,07 para o índice de Runkel.

O índice de Mulsteph apresentado para a espécie *T. vulgaris* foi de 0,68 para as árvores não bifurcadas e 0,62 para as árvores bifurcadas, este valor é considerado como médio pois segundo estudos realizados por Akgul e Tozluoglu (2009), valores inferiores a 0,5 são adequados para a fabricação de papel e celulose, isso ocorre devido uma maior área relativa da parede celular das fibras, indicando paredes delgadas. Com relação ao índice Mulsteph, Lima Junior (2007), encontrou para o *Pinus taeda* de 15 e 11 anos, valores de índices de Mulsteph de 0,52 e 0,39, respectivamente. Valores considerados ideais para a produção de papel e celulose, pois valores menores indicam a existência de fibras finas na parede celular.

No contexto geral, a análise morfológica das fibras do solo argiloso mostra que apesar das fibras que compõem as árvores sem algum tipo de bifurcação possuem um comprimento superior e conseqüentemente uma maior razão de aspecto, quando se trata dos parâmetros que definem a sua utilização para a produção e fabricação do papel e celulose os índices de qualidade mostram que as árvores bifurcadas são mais indicadas, pois as características apresentadas (coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de Mulsteph) são mais vantajosas, (Figura 17).

Figura 17. Índices de qualidade das fibras do solo argiloso



Quanto a composição química da madeira, observam-se, na Tabela 11, a análise de variância para as árvores de *Tachigali vulgaris*. Pelo Teste F da análise de variância foi encontrado efeito estatístico significativo do tipo de fuste para as características químicas.

Tabela 11. Resumo da análise de variância para as características químicas da madeira do tachi-branco

FV	G	Quadrado médio					
		L	Umidade	Cinzas	Extrativos totais	Holocelulose	Celulose
Blocos	3	0,091	0,007278	0,055	0,027	0,00827	0,008
Fustes	1	4,136	0,000582	25,335*	5,486*	0,2587*	8,158*
Resíduo	3	0,399	0,000047	0,048	0,047	0,00262	0,003
Média Geral	-	7,5	0,84	3,23	72,99	41,86	31,14
CV (%)	-	11,92	6,77	59,29	1,24	0,49	3,47

GL= graus de liberdade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; CV = coeficiente de variação.

As médias de teores de cinzas, extrativos totais, Holocelulose, celulose e hemiceluloses por tipo de fustes no plantio de *Tachigali vulgaris* nas áreas de solo com textura arenosa são encontrados na tabela 12.

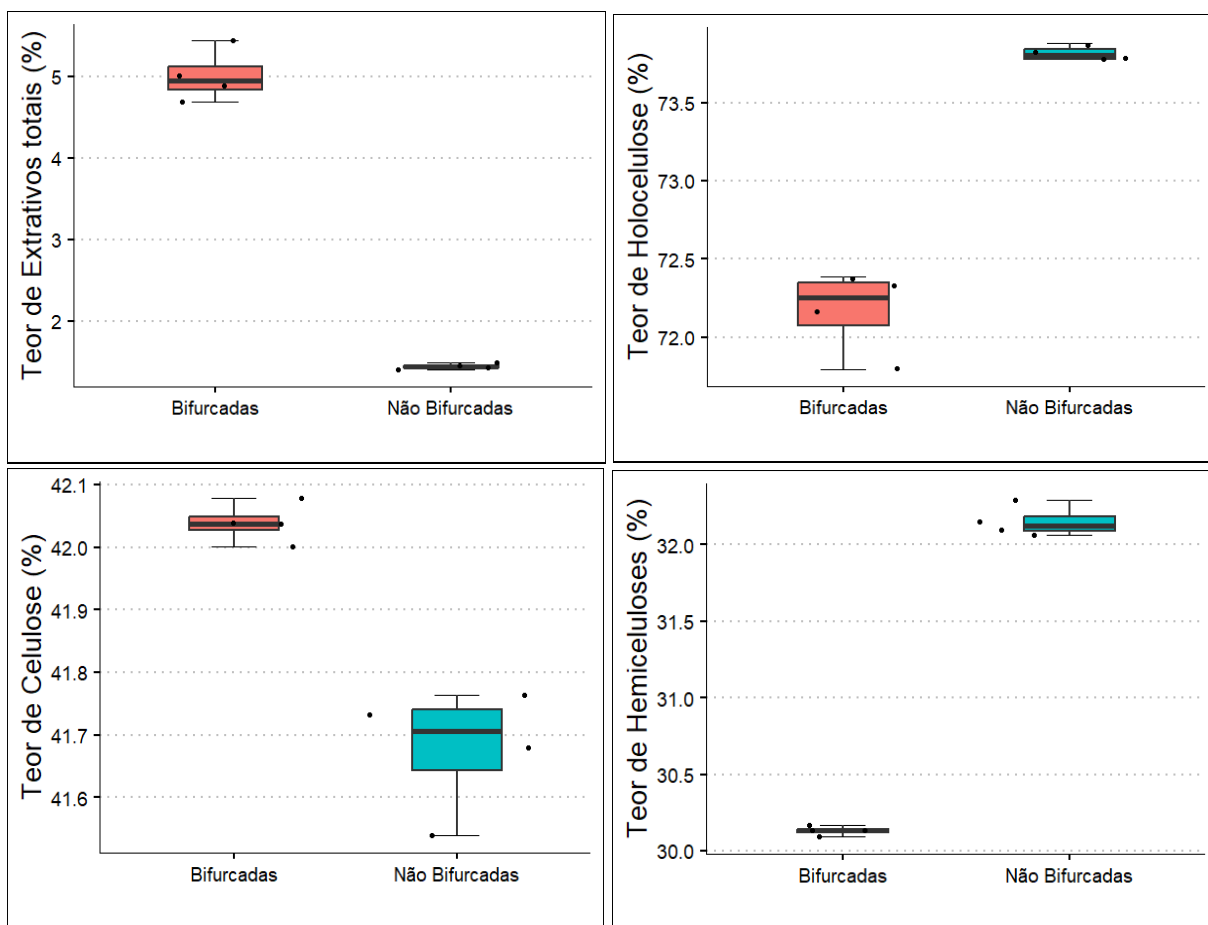
Tabela 12: Composição química das serragens in natura da espécie em estudo

Árvores	Cinzas (%) *	Extrativos Totais (%) *	Holocelulose (%) **	Celulose (%) **	Hemiceluloses (%) **
NB	0,85 ^a	1,45 ^a	73,83 ^a	41,68 ^a	32,15 ^a
BF	0,83 ^a	5,01 ^b	72,17 ^b	42,04 ^b	30,13 ^b
Média	0,84	3,23	73,00	41,86	31,14
Máximo	0,92	5,44	73,88	42,08	32,29
Mínimo	0,78	1,40	71,79	41,54	30,09
Desvio P	0,06	1,91	0,90	0,20	1,08

*base massa total de madeira; **base massa de madeira livre de extrativos. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 % de significância ($p < 0,05$).

Não houve diferença significativa referente ao teor de cinzas entre os diferentes tipos de fustes. Na figura 18, observamos os valores de teores de extrativos totais, holocelulose, celulose e hemiceluloses para os diferentes tipos de fustes.

Figura 18. Composição química das árvores do solo argiloso



O teor de extrativos totais para as árvores provenientes do solo com textura argilosa variou de 1,45% para as árvores não bifurcadas e 5% para as árvores bifurcadas. Outras

matérias-primas utilizadas para a polpação como no caso do eucalipto, apresentam o teor de extrativos totais de (2-6%), o pinus também utilizado para a polpação apresenta variação do teor de extrativos totais de (3-5%) (Benites et al., 2018; Edmunds et al., 2017; Jardim et al., 2017). O valor encontrado para as (NB) foram bem inferiores que as árvores (BF), tais valores corroboram com os encontrados na literatura para as matérias-primas utilizadas atualmente no Brasil para polpação. Como o elevado teor de extrativos pode provocar a formação dos pitch, as árvores provenientes do solo argiloso podem ser consideradas adequadas para a produção de papel e celulose.

O teor de Holocelulose entre os tipos de fustes variou de 73,83% para as árvores não bifurcadas e 72,17% para as árvores bifurcadas. Mostrando superioridade para as árvores não bifurcadas. Silva (2002), estudando a espécie *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, nas idades de 10, 14, 20 e 25 anos, encontrou os valores de Holocelulose de 69,46%, 70,61%, 67,11% e 67,59% respectivamente. A madeira de *Pinus taeda* é composta por 70,46% de holocelulose (VIVIAN et al., 2015), valores este muito próximo ao encontrado para o lenho de *T. vulgaris*.

O teor de Celulose entre os tipos de fustes variou de 41,68% para as árvores não bifurcadas e 42,04% para as árvores bifurcadas. Mostrando superioridade para as árvores bifurcadas. Tais valores são um pouco inferiores aos aceitáveis para a polpação, comparado ao teor de alguns eucaliptos (43-50%) e outras folhosas utilizadas para a polpação (45%) (GOMIDE et al., 2005). O maior teor de celulose para as árvores bifurcadas pode ocorrer devido as árvores com múltiplos fustes apresentarem a ocorrência de madeira de tração e este tipo de madeira apresenta uma camada gelatinosa na sua parede celular que é rica em celulose (TIMELL, 1969).

O teor de hemiceluloses entre os tipos de fustes variou de 32,15% para as árvores não bifurcadas e 30,13% para as árvores bifurcadas. Os valores encontrados são superiores aos de outras matérias-primas usadas na polpação. Algumas espécies de eucalipto utilizadas na polpação chagam a conter 28% do teor de hemiceluloses (GOMES et al., 2009). A madeira de pinus também utilizada para a polpação apresenta o teor de hemiceluloses de 22% (MORAIS et al., 2005).

Os resultados obtidos neste trabalho podem estar relacionados com a idade do câmbio, onde dentro de uma mesma árvore, tem-se um câmbio com idades diferentes, na base o câmbio tem uma idade mais elevada e próximo a copa a idade do câmbio é menor. Isso faz com que ocorra flutuações no comprimento das iniciais cambiais ao longo do fuste, pois elas estão em diferentes idades de funcionamento. Segundo Iqbal e Ghouse (1983), existe uma

pequena alteração no comprimento da taxa de câmbio inicial ao longo do fuste, o que pode causar a flutuação dimensional das variáveis visto que o disco utilizado no estudo foi da base do fuste.

4.3.2 Efeitos da textura do solo nas propriedades da madeira de *Tachigali vulgaris*

4.3.2.1 Textura de solo arenoso x argiloso

Na Tabela 13, observa-se as médias referente as características morfológicas do solo de textura arenosa e argilosa, onde foi realizada a média entre árvores bifurcadas e não bifurcadas.

Tabela 13. Estatística descritiva das características morfológicas das fibras de madeira tachi-branco em função do tipo de solo.

Análise	Textura de solo	
	Solo arenoso	Solo argiloso
C (µm)	652,67 ^(8,68)	709,39 ^(14,50)
DF (µm)	12,67 ^(7,56)	13,25 ^(9,05)
DL (µm)	7,37 ^(12,65)	7,82 ^(17,96)
EP (µm)	2,65 ^(14,10)	2,72 ^(7,53)
FP (%)	42,80 ^(12,04)	41,93 ^(13,82)
L/D	53,96 ^(6,68)	55,34 ^(19,52)
CF	57,20 ^(9,01)	58,07 ^(9,98)
IR	0,83 ^(22,65)	0,79 ^(26,87)
IM	0,66 ^(8,73)	0,65 ^(10,04)

C = comprimento da fibra; DF = diâmetro da fibra; DL = diâmetro do lúmen; EP = espessura da parede da fibra; FP = fração de parede; L/D = razão de aspecto; CF = coeficiente de flexibilidade; IR = índice de Runkel; IM = índice de Mulsteph.

O solo com textura arenosa apresentou a maioria das variáveis inferiores em comparação com o solo de textura argilosa, isso evidencia a relação do tipo de textura do solo com as propriedades tecnológicas da madeira. Rigatto et al. (2004) em estudos sobre a influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira da espécie *Schizolobium amazonicum*, demonstrou que a textura do solo influenciou a morfologia dos traqueídes, onde os solos com textura argilosa apresentaram maiores diâmetros dos lúmens, em relação a madeira proveniente de sítios com textura média.

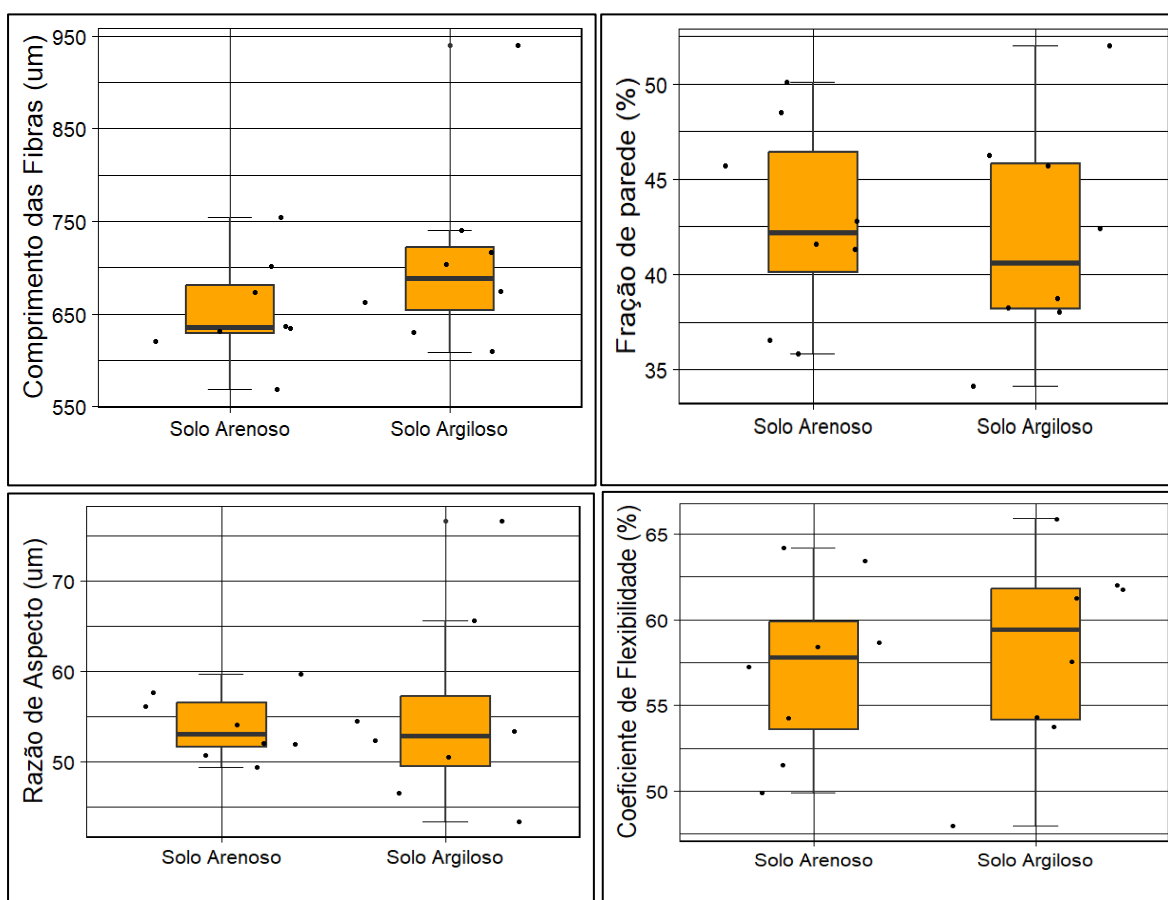
Os valores médios do comprimento das fibras, a fração da sua parede celular, razão de aspecto, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de Mulsteph apresentados pelo solo de textura arenosa foram de 652,67 µm, 43,00 (%), 53,96 µm, 57,21 (%), 0,84 µm, 0,66 µm, respectivamente. Já para o solo com textura argilosa a média do comprimento das fibras, a fração parede, razão de aspecto, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de

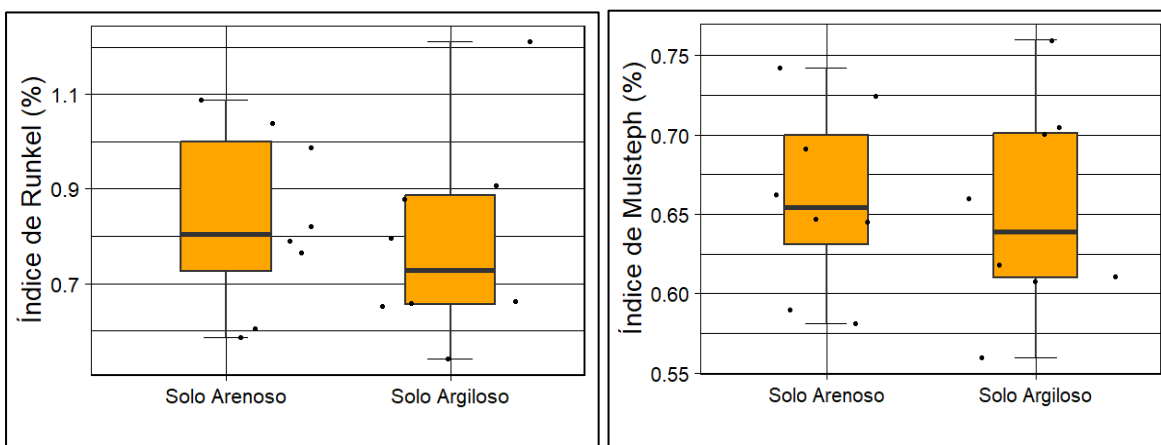
Mulsteph encontrados foram de 709,39 μm , 41,93 (%), 55,34 μm , 58,07 (%), 0,79 μm , 0,65 μm . Diante disso, considerando as pequenas divergências nas texturas de solo e levando em consideração as variáveis anatômicas das fibras da espécie *T. vulgaris*, a textura argilosa apresentou melhores índices, comparado a textura de solo arenosa, (Figura 19).

De maneira geral, as madeiras provenientes do solo com textura argilosa mostraram-se com tendência a ter fibras mais largas e maiores diâmetros do lume. O mesmo foi encontrado por Castelo (2008), onde as madeiras provenientes de sítios com textura mais argilosa obtiveram comprimento e espessura de parede maiores. Tais resultados contrariam os obtidos por Cown (1974), Tsoumis; Panagiotidis (1980) e Rigatto (2004), que evidenciaram a redução no comprimento e afinamento da espessura da parede das fibras em diferentes sítios para a espécie *Pinus taeda*.

Em estudo realizado por Alves et al. (2000) foram identificadas tendências anatômicas para espécies de 22 famílias em diferentes ambientes, latitudes e altitudes. Os valores encontrados mostraram que fibras de paredes espessas ocorrem em latitudes mais baixas e fibras de paredes finas ocorrem em ambientes mais úmidos. O crescimento das árvores causa mudanças no tamanho das células, que tendem a se expandir e se estabilizar à medida que a árvore amadurece. As características do clima e do solo também afetam o tamanho dos elementos celulares.

Figura 19. Índices de qualidade das fibras do solo arenoso e argiloso





Dentre os tratamentos podemos observar a influência do tipo de fuste, onde como observado anteriormente às árvores bifurcadas do tipo de solo argiloso apresentaram os índices de qualidade para a produção de papel e celulose mais satisfatórios que os demais. No entanto, o comprimento das fibras e a razão de aspecto das árvores não bifurcadas para este mesmo tipo de textura de solo foram superiores que as demais. Pelo fato desses plantios terem sido realizados na mesma época, sob as mesmas condições de clima, pode-se concluir que as variações podem ser decorrentes dos atributos físicos e químicos do solo.

Na Tabela 14, estão apresentadas as relações da espécie em estudo *Tachigali vulgaris*, juntamente com os dados de outras espécies utilizadas para a produção de celulose e papel.

Tabela 14: Dimensões das fibras de *Tachigali vulgaris* comparadas com outras espécies florestais.

Espécie	C (mm)	DF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	L/D	FP (%)	CF (%)	IR
<i>Tachigali vulgaris</i>	0,68	12,96	7,59	2,68	54,65	42,37	57,63	0,81
<i>E. grandis x E. urophylla</i> ¹	0,92	17,00	9,20	3,90	54,12	47,30	52,69	0,47
<i>Schizolobium parahyba</i> ²	0,83	35,58	28,45	3,57	24,43	21,08	78,95	0,28
<i>E. grandis x E. camaldulensis</i> ¹	0,99	16,20	6,40	4,90	61,41	60,97	39,02	0,61
<i>Eucalyptus grandis</i> ³	1,11	20,55	13,67	3,78	54,01	36,79	66,52	0,55
<i>Parkia gigantocarpa</i> ⁴	1,63	48,40	37,52	5,44	33,67	22,47	77,53	0,29

C - Comprimento das fibras; DF - diâmetro das fibras; DL - diâmetro do lúmen das fibras; EP - espessura da parede das fibras; L/D – razão de aspecto; FP - fração parede; CF - coeficiente de flexibilidade; IR - índice de Runkel. Fonte: ¹Talgatti (2020); ²Nisgoski (2012); ³Silva (2002); ⁴Miranda (2012).

O comprimento médio das fibras da *Tachigali vulgaris* apresentou valor abaixo da média para fibras de folhosas, como *Eucalyptus saligna* (1,00 mm) (FOELKEL; BARRICHELO, 1975) e *Eucalyptus grandis* (1,11mm) (SILVA, 2002). O comprimento da fibra influencia na resistência do papel a tração e ao arrebentamento e, segundo Foelkel (1977), quando as fibras são submetidas a um esforço da mesma intensidade, as fibras mais longas têm menor possibilidade de separar a estrutura do papel.

De acordo com Foelkel (1997), fibras com paredes mais espessas possuem maior teor relativo de celulose e esse fator está relacionado com a resistência da celulose. Neste estudo, a madeira da *Tachigali vulgaris* apresentou fibras com paredes de dimensões inferiores que as demais utilizadas para a produção de celulose e papel. O material utilizado no estudo classifica-se como sendo madeira juvenil devido idade das árvores. Posteriormente ao período juvenil de desenvolvimento da madeira segue-se a formação da madeira adulta, que se caracteriza por atingir o nível de organização estrutural típica, em que as atividades fisiológicas apresentam maior estabilidade, o que afeta as atividades do câmbio vascular e, portanto, reflete a estrutura anatômica da madeira (TSOUMIS, 1968).

Quanto a composição química da madeira, observam-se, na Tabela 15, os valores médios para as árvores do solo arenoso e argiloso.

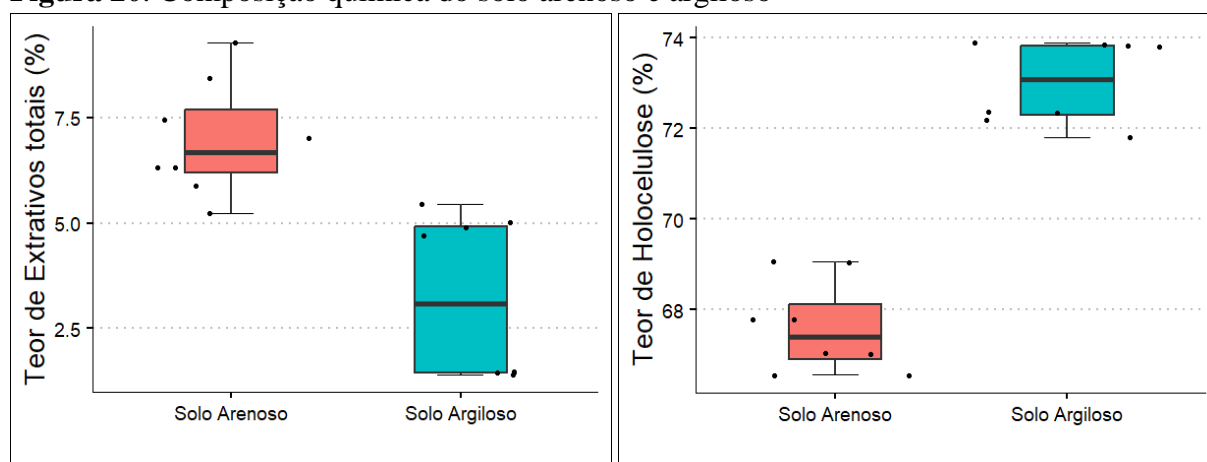
Tabela 15: Composição química das serragens in natura da espécie em estudo

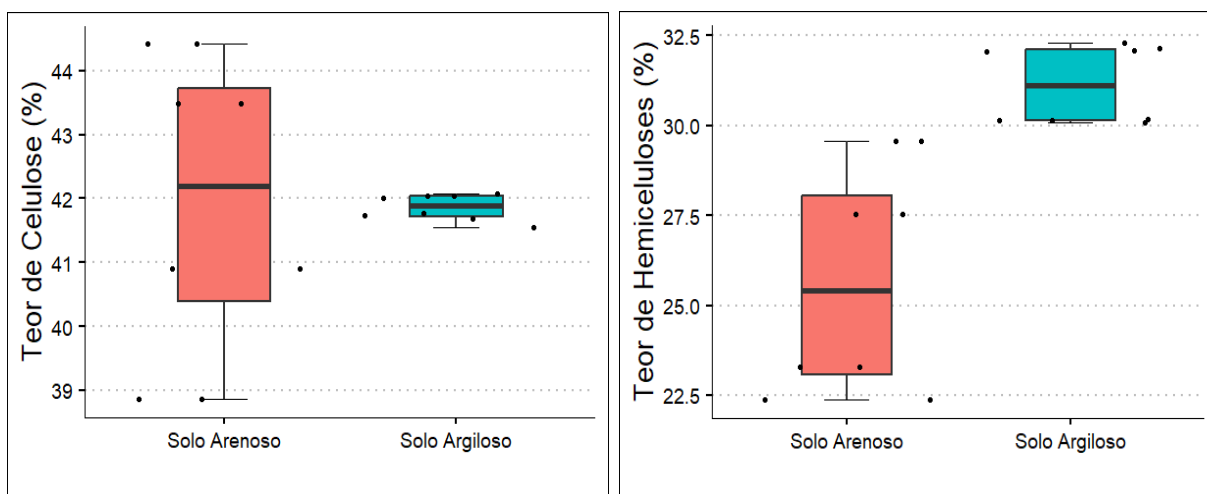
Análise	Solo 1		Solo 2	
	Árvores não bifurcadas	Árvores bifurcadas	Árvores não bifurcadas	Árvores bifurcadas
	-----%-----			
Extrativos totais*	6,00 ^(8,66)	8,00 ^(12,61)	1,45 ^(2,45)	5,01 ^(6,34)
Cinzas*	0,44 ^(22,32)	0,36 ^(56,46)	0,85 ^(7,69)	0,83 ^(6,70)
Holocelulose**	68,43 ^(1,08)	66,79 ^(0,40)	73,83 ^(0,06)	72,17 ^(0,37)
Celulose**	39,88 ^(2,96)	43,96 ^(1,22)	41,68 ^(0,24)	42,04 ^(0,07)
Hemiceluloses**	28,54 ^(4,13)	22,81 ^(2,35)	32,15 ^(0,31)	30,13 ^(0,10)

*base massa total de madeira; **base massa de madeira livre de extrativos; coeficiente de variação entre parênteses.

Na Figura 20, observamos graficamente a variação entre as médias referente ao tipo de textura de solo.

Figura 20. Composição química do solo arenoso e argiloso





O teor de cinzas da madeira entre os tipos de solos foi superior para o solo do tipo argiloso. Variando de 0,40% para o tipo de solo arenoso e 0,84% para as árvores do solo argiloso. Os valores para ambos os tipos de solos são satisfatórios para a polpação, pois teores acima de 1% podem comprometer etapas do processo como o consumo e a recuperação de reagentes, o rendimento da polpação, além de afetar no desgaste de equipamentos e elevando os custos de produção (VIEIRA, 2012).

O teor de extrativos totais entre os tipos de solos variou de 6,98% para o tipo de solo arenoso e 3,23% para as árvores do solo argiloso. Extrativos são componentes que variam em natureza química e quantidade, ocorrendo em quantidades pequenas e/ou significativas dependendo da espécie da árvore, da idade, dentro da mesma árvore e da localização geográfica da planta (BREMAUD et al., 2011; DIÓGENES, et al., 2019). A extração com etanol-tolueno pode extrair carboidratos de baixo peso molecular, como sais, ácidos graxos, resinas, fotoesteróis, hidrocarbonetos não voláteis e outros compostos em água. (SANTOS, 2008).

Durante o processo de polpação os extrativos provenientes da madeira podem provocar a formação dos pitch, tais substâncias são depositadas nos maquinários o que pode provocar a redução da produção, aumento dos custos de manutenção e comprometimento do produto final (SINGH et al., 2019). Dessa forma, matérias-primas com elevado teor de extrativos vão impactar no rendimento e aumentar o consumo de reagentes durante a polpação (CARVALHO et al., 2014). Em comparação com outras matérias-primas utilizadas para a polpação, como o eucalipto e pinus, as árvores do solo argiloso apresentaram médias satisfatórias.

O teor de Holocelulose entre os tipos de solos variou de 67,61% para o tipo de solo arenoso e 73,00% para as árvores do solo argiloso. O teor de Celulose entre os tipos de solos

variou de 41,92% para o tipo de solo arenoso e 41,86% para as árvores do solo argiloso. Durante o processo de polpação grande partes dos componentes são atacados por produtos químicos, exceto a celulose, pois é o principal componente químico presente nas polpas celulósicas, sendo crucial para a indústria de papel e celulose (POPA, 2013). De acordo com os dados encontrados, é possível verificar a existência de diferenças estatísticas entre os diferentes tipos de solos. No entanto, ambos os solos apresentaram médias um pouco inferiores ao de outras matérias-primas utilizadas para a polpação, como alguns eucaliptos (43-50%) (GOMIDE et al., 2005).

O teor de hemiceluloses entre os tipos de solos variou de 25,69% para o tipo de solo arenoso e 31,14% para as árvores do solo argiloso. Para o processo de polpação e desempenho do papel este componente químico possui muita importância, pois favorecem a ligação entre fibras o que provoca um aumento do rendimento e resistência, além de afetar outras propriedades das pastas celulósicas, como a absorção de água e viscosidade (MOKFIENSKI, 2004).

A composição química das matérias-primas destinadas para a polpação e produção de celulose e papel é de fundamental importância, já que impacta fortemente o processo produtivo, o rendimento e a qualidade dos produtos. Assim, pode-se inferir que, com relação à composição química, essas matérias-primas possuem teores similares às madeiras comumente utilizadas (eucaliptos e pinus) para a polpação e produção de papel, excluindo-se os teores de extrativos e minerais.

Para selecionar uma espécie para a produção de celulose e papel, além do conhecimento da morfologia das fibras e composição química existem outros fatores que devem ser analisados, tais como as características físicas, mecânicas e a variabilidade da madeira. Conforme os resultados apresentados pelas dimensões e relações das fibras da espécie *Tachigali vulgaris* e a composição química da madeira mostram que a espécie tem potencial para a produção de polpa celulósica e papel.

Os teores médios de extrativos totais, holocelulose, celulose e hemiceluloses evidenciaram comportamentos distintos em relação aos tipos de textura de solo. O teor de cinzas, holocelulose, hemiceluloses foi superior no solo com textura argilosa. Já as árvores pertencentes ao solo de textura arenosa apresentaram maiores médias de extrativos totais. Além destas variáveis, a o teor de cinzas foi praticamente igual entre os tipos de textura de solo. Uma das características do solo argiloso está relacionado com a disponibilidade de água no solo. Segundo Larcher (1975) e Kozłowski (1982), a disponibilidade de água regula a

produção de fotoassimilados devido a abertura estomática. Dessa forma, quanto maior a disponibilidade hídrica no solo, maior será o metabolismo cambial e maior a produção de fotoassimilados.

Assim, a disponibilidade de água em um solo está diretamente relacionada com a formação da madeira devido ao aumento da atividade cambial (RIDOUTT et al., 1994). A lignina é um componente químico fundamental dos tecidos de transporte de água, devido a isso em condições de restrição hídrica deve ocorrer maior produção de lignina para aumentar a condutividade hídrica das árvores (KRIEDEMANN et al., 1996). Além, disso reforça a estrutura da árvore, para a proteção de agentes externos (DAVIN e LEWIS, 2000).

As relações observadas entre a disponibilidade de água e as variações químicas da madeira podem estar associadas ao processo de alongamento celular, o qual é função da capacidade da célula em absorver água para se expandir (COSGROVE, 1997).

De acordo com estudos realizados por Gava (2008), verificou-se que os atributos físicos do solo, em especial o teor de argila está diretamente relacionado com a água disponível, afetando a produtividade e qualidade da madeira, o teor de holocelulose aumentou conforme o aumento do teor de argila, diferentemente o teor de lignina diminuiu nos solos que apresentaram maior teor de argila.

Para selecionar uma espécie para a produção de celulose e papel, além do conhecimento da morfologia das fibras existem outros fatores que devem ser analisados, tais como a composição química, física, mecânica e a variabilidade da madeira. Conforme os resultados apresentados pelas dimensões e relações das fibras da espécie *Tachigali vulgaris* mostram que a espécie tem potencial para a produção de polpa celulósica e papel.

4.4 Conclusão

A pesquisa com a espécie *Tachigali vulgaris* fornece dados inéditos para a literatura, além de a espécie ter comportamento anatômico que corroboram com outras espécies inseridas em plantio comercial utilizadas para a produção de produtos celulósicos.

No solo de textura arenosa, o tipo de fuste influenciou significativamente o comprimento das fibras, onde esta variável foi superior nas árvores não bifurcadas. Porém, os índices de qualidade das fibras para a polpação foram favoráveis para as árvores bifurcadas.

Não houve influência significativa das variáveis morfológicas das fibras para os tipos de fuste no solo de textura argilosa. No entanto, as árvores bifurcadas apresentaram melhores índices de qualidade.

Os resultados obtidos para as análises morfológicas das fibras e químicas da madeira da espécie *T. vulgaris*, mostraram que as árvores provenientes do solo com textura argilosa apresentaram características superiores que as árvores do solo arenoso.

A composição química apresentou diferenças significativas, tanto para os tipos de fustes quanto para os tipos de textura do solo. As árvores bifurcadas apresentaram maiores teores de extrativos e maiores teores de celulose.

As árvores bifurcadas, pertencentes ao solo com textura argilosa apresentaram índices de qualidades favoráveis para a polpação.

Em comparação com outras espécies utilizadas para a produção de celulose, papel e outros produtos à base de celulose, a espécie *Tachigali vulgaris* apresentou fibras com bons índices de qualidade e boa composição química de sua madeira. Desse modo, os resultados mostram a sua potencialidade para ser utilizada na produção de produtos à base de celulose. No entanto, para uma recomendação mais precisa da espécie para esse fim, é importante que outros estudos sejam realizados com esta espécie e que sejam feitos testes físico-mecânicos.

4.5 Recomendações

Este estudo apresenta resultados importantes para a qualidade da madeira de *T. vulgaris* que contribui para uma melhor compreensão sobre a espécie e o estabelecimento em plantios homogêneos em escala comercial. No entanto, algumas recomendações devem ser consideradas para estudos e experimentos futuros:

- Produzir produtos à base de celulose como filmes biodegradáveis, papeis, embalagens, nanopaper e realizar testes físicos e mecânicos para predizer o seu uso correto e verificar se há variação longitudinal das características da madeira.
- Compreender melhor como a bifurcação do fuste de *T. vulgaris* impacta no desenvolvimento das árvores para poder ampliar o uso da espécie, abrindo novos mercados e potencializando o seu uso.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, C. P.; CAMPOS, I. P. F.; BORGES, C. C.; CRUZ, T. M.; MASCARENHAS, A. R. P.; FARIA, C. T. E.; DUARTE, P. J. Variação radial das propriedades da madeira de *Caryocar brasiliense* Cambess. (pequi-do-cerrado). **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, p.14-22, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0002>

AKGUL, M.; TOZLUOGLU, A. Some chemical and morphological properties of juvenile woods from beech (*Fagus orientalis* L.) and pine (*Pinus nigra* A.) plantations. Trends in Applied. **Sciences Research**, Lagos, v. 4, n. 2, p. 116-125, 2009.

ALONI, R. 1995. The induction of vascular tissues by auxin and cytokinin. Pp. 531-546. In: P. J. Davies (Ed.). **Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology**. 2. ed. Kluwer Academic, Netherlands.

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY, A. V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. **IAWA Journal**, Leiden, v. 20, n. 1, p.3 - 30, 2000.

ASKELAND, D. R; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. 3° ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro: ABNT, 4p. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro: ABNT, 3p. 2010.

BALDI, F. Il Processo di produzione dele paste chimiche e il loro trattamento. In: CORSO DI TECNOLOGIA PER TECNICI CARTARI, 8., 2000, Verona. Anais... Verona: **Scuola Grafica Cartaria**, 2001. 41p.

BALDIN, T.; MARCHIORI, J.N.C.; TALGATTI, M. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus*. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v.8, n.2: p.144-126, 2017).

BENITES, P. K. R. M.; LOPES, A. S.; GOUVÊA, A. F. G.; SILVA, F. C.; SOUZA, C. C. B. Caracterização tecnológica da madeira de híbridos de eucalipto irrigados e fertirrigados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1716-1728, 2018.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J.G. & DA ROCHA, V.Y. (2015) – Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. **Revista Floresta**, vol. 45, n. 4, p. 671-680. <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V45I4.31991>.

BRASIL. Plano nacional de silvicultura com espécies nativas e sistemas agroflorestais – **PENSAF**. 2006.

BREMAUD, I. et al. Effect of extractives on vibrational properties of African Pedauk (*Pterocarpus soyauxii* Taub.). **Wood Science and Technology**, New York, v. 45, n. 3, p. 461-472, 2011.

BROWNING, B.L. **The chemistry of wood**. Interscience Publisher. 1963.

CALLISTER, W. D; RETHWISCH, D. G. Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução. 9º ed. Rio de Janeiro: LTC – **Livros técnicos e científicos**, 2016.

CARDOSO, W. C. B. et al. Análise química e energética da espécie *Tachigali chrysophylla*. In: Anais congresso brasileiro de ciência e tecnologia da madeira, 2017. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2017.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M.A.R. Interferência na qualidade e rendimento de polpa celulósica de eucalipto devido ao uso múltiplo da madeira. **Cerne**, Lavras, v.10, n.2, p.242-256, 2004.

CARVALHO, D. M.; SILVA, M. R.; COLODETTE, J. L. Efeito da qualidade da madeira no desempenho da polpação kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 677684, 2014.

CASTELO, P. A. R. et al. Influência de diferentes sítios de crescimento sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

CASTRO, V. R.; CHAMBI-LEGOAS, R.; TOMMASIELLO FILHO, M., SURDI, P. G.; ZANUNCIO, J. C.; ZANUNCIO, A. J. V. The effect of soil nutrients and moisture during ontogeny on apparent wood density of *Eucalyptus grandis*. **Scientific reports**, v. 10, n. 2530, 2020.

CHERELLI, S. G. et al. Heartwood and sapwood in eucalyptus trees: non-conventional approach to wood quality. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, São Paulo, v. 90, n. 1, p. 425-438, jul. 2016.

COSGROVE, D.J. Relaxation in a high-stress environment: the molecular bases of extensible cell walls and cell enlargement. **Plant Cell**, n. 9, p. 1031-1041, 1997.

COWN, D. J. Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 19, p. 84-94, 1974.

DAVIN, L.B.; LEWIS, N.G. Dirigent proteins and dirigent sites explain the mystery of specificity of radial precursor coupling in lignan and lignin biosynthesis. **Plant Physiology**, n.123, p.453-461, 2000.

DIAS, O.A.; SIMONELLI, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3632-3646, 2013.

DIÓGENES, F. E. G. et al. Caracterização física e determinação do teor de extrativos da madeira de Embiratanha. **Adv. For. Sci.**, Cuiabá, v.6, n.3, p.757-761, 2019.

EDMUNDS, C. W.; PERALTA, P.; KELLEY, S. S; CHIANG, V. L.; SHARMASHIVAPPA, R. R.; DAVIS, M. F.; HARMAN-WARE, A. E.; SYKES, R. W.; GJERSING, E.;

CUNNINGHAM, M. W.; ROTTMANN, W.; MILLER, Z. D.; PESZLEN, I. Characterization and enzymatic hydrolysis of wood from transgenic *Pinus taeda* engineered with syringyl lignin or reduced lignin content. *Cellulose*, New York, v. 24, n. 4, p. 1901-1914, 2017.

JUNIOR, U. O. B., et al. "EFFECTS OF TREE SPACING AND FORKING ON THE MODIFICATION OF WOOD DENSITY IN A TRIAL PLANTATION OF TACHIGALI VULGARIS FOR ENERGY IN AMAZONIA." *Journal of Tropical Forest Science*, vol. 34, no. 1, 2022, pp. 11–23. JSTOR, <https://www.jstor.org/stable/48645220>.

EITELVEN, T.; LUVISON, F.L.; SEVERO, T. C. Xilema: fatores externos que influenciam no seu funcionamento, conectando o cotidiano ao científico. *Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada*, Caxias do Sul, v. 2, n. 3, p. 2–6, jun. 2017

FARIAS, J. et al. Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* – *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazônia. *Forest Ecology and Management*, v. 368. p. 173 182. 2016.

FLORES, K. K.; SANTANA, M. A. E. Determinação do teor de ligninas klason e solúvel para 11 espécies e de hemicelulose e celulose para três espécies de madeira da flona do Tapajós (PA). I Seminário do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq-IBAMA. 2004.

FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H.T.Z.; LIMA, I.L.; LONGUI, E.L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunii* aos sete anos de idade. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v.21, n.1, p.79-91, 2009.

FOELKEL, C. As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel. In: ABTCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. (org.). *Eucalyptus online book e newsletter*. São Paulo: ABTCP, 2007. p. 148.

FOELKEL, C. E.; BARRICHELO, L. E. G. Utilização de madeiras de essências florestais nativas na obtenção de celulose: bracatinga (*Mimosa bracatinga*), embaúba (*Cecropiasp.*), caixeta (*Tabebuia cassinoides*) e boleira (*Joannesia princeps*). *IPEF*, n.10, p. 43-56, 1975.

FOELKEL, C.E.B. **Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor**. Boletim Informativo IPEF, v.6, p.72-87, 1978.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. *O Papel*, São Paulo, v.36, n.9, p.49-53, 1975.

FORNARI JUNIOR, C. C. M. Fibras vegetais para compósitos poliméricos. Bahia: **Editus**, 2017.

FRANCO, H. J. P.; GONZÁLEZ, A. V. A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, v. 36, n. 8, p. 597-608, 2005.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature* 155: 51. (1945).

FREITAS, P.C.E.; SETTE JR, C.R.; CASTRO, V.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAIX, G. & LACLAU, J. P. (2015) – Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio nas características anatômicas do lenho juvenil de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, vol. 39, n. 2, p. 405-416. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000200020>.

GALLIO, E.; SANTINI, E.J.; GATTO, D.A.; DE SOUZA, J.T.; RAVASI, R.; DE MENEZES, W.M.; FLOSS, P.A. & BELTRAME, R. (2016) – Caracterização Tecnológica da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Revista Scientia Agraria Paranaensis**, vol. 15, n. 3, p. 244-250. <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v15n3p244-250>.

GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. M. Soil attributes and wood quality for pulp production in plantations of *Eucalyptus grandis* clone. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.65, n.3, p.306-313, May/June 2008.

GOH, K. L.; ASPEN, R. M.; HUKINS, D. W. L. Finite element analysis of stress transfer in short-fibre composite materials. **Composites Science and Technology**, v. 64, n. 9, p. 1091-1100, 2004.

GOMES GOUVEIA, A. F. G.; TRUGILO, P. F.; COLODETTE, J. L.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; GOMIDE, J. L. Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de eucaliptos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1175-1185, 2009.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GONÇALEZ, J. C., SANTOS, G. L., SILVA JÚNIOR, F. G., MARTINS, I. S. M., & COSTA, J. A. (2014). Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, 42(101), 81-89.

GOPAKUMAR, D.; THOMAS, S.; OWOLABI, F.A.T.; THOMAS, S.; NZIHO, A.; RIZAL, S.; KHALIL, H.A. **Nanocellulose Based Aerogels for Varying Engineering Applications**. *Enycl. Renew. Sustain. Mater.* 2020, 2, 155–165.

GOUVEIA, A.F.G.; GOMES, C.M.; MATOS, L.M.; SOUZA, T.A.; KUMABE, F.J.B.; BENITES, P.K.R.M. Efeito do sítio nas características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose kraft. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 03, n. 02, p.102-115, 2012.

IQBAL, M.; GHOSH A. K. M. An analytical study on cell size variation in some arid zone trees of India: *Acacia nilotica* and *Prosopis spicigera*. **IAWA Bulletin** 4: 46-52. 1983.

JARDIM, J. M.; GOMES, F. J. B.; COLODETTE, J. L.; BRAHIM, B. P. Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. **O papel**, São Paulo, ano 78, n. 11, p. 122129, 2017.

JESUS, R. C. S. **Características anatômicas e físicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), plantado em diferentes espaçamentos e condições**

ambientais no município de aurora do Pará – Pa. 2004. 165 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2004.

JÚNIOR, U. L. L. Fibras da semente do açaizeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KAFY, A.; KIM, H C.; ZHAI, L.; KIM; J. W.; HAI, L. V.; & KANG, T. J. Cellulose long fibers fabricated from cellulose nanofibers and its strong and tough characteristics. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2017.

KANE, B.; FARRELL, R.; ZEDAKER, S. M.; LOFERSKI, J. R.; SMITH, D. W. Failure mode and prediction of the strength of branch attachments. **Arboriculture and Urban Forestry**, v. 34, n. 5, p. 308-3016, 2008.

KENNEDY, F.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, E. P. A. **Wood and cellulose**: industrial utilization, biotechnology, structure and properties, ellis horwood. Chichester: E. Horwood, 1987. 1130 p.

KIM, Y. S.; FUNADA, R.; SING, A. P.. **Secondary Xylem Biology**: Origins, Functions, and Applications. Massachusett: Academic Press, 2016.

KOZLOWSKI, T.T. Water supply and tree growth: water deficits. **Forestry Abstracts**, v.43, p.57-95, 1982.

KRIEDEMANN, P.E.; CROMER, R.N. The nutritional physiology of the *Eucalyptus* nutrition and growth. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Ed.) **Nutrition of Eucalypts**. Clayton South: CSIRO, 1996. p.109-122.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. New York: Springer, 1975. 252p.

LIMA, R. M. B. **Silvicultura de florestas plantadas na Amazônia**. In: **Anais/encarte técnico-científico do workshop sobre gestão da conservação florestal e ambiental na Amazônia**. Manaus: Ed. Aufiero, 2012.

LOURENÇO, P.; BRANCO, J. **Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI**. História da Construção – Arquiteturas e Técnicas Construtivas, CITCEM. Braga, 2013.

MARSH, G. Composites on the road to the big time? **Reinforced Plastics (UK)**, v. 47, n. 2, p. 33-47, 2003.

MARTINS, M. A. L. **Estudo tecnológico da polpação Kraft de *Acacia mearnsii* De Wild**. 1983. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

MARTORANO, L. G. et al. **Zoneamento topoclimático do Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L.F) na Amazônia Legal**: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 70 p. (Documentos, Embrapa

Amazônia Oriental, 435).

MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celuloses branqueadas de pinus e eucaliptos em analisador óptico automático de fibras**. Local: Botucatu Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2012. Dissertação de mestrado.

MIRANDA, M. C. de; CASTELO, P. A. R. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 03, n. 02, p. 80-88, 2012.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química da madeira de *Eucalyptus spp.* no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft**. 2004. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* parte II: caracterização estrutural da lignina de madeira moída. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 471-478, 2005.

NISGOSKI S. 2005. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Curitiba: UFPR. 160p.

PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E. Natural Fiber Reinforced Thermoset Composite, In: FROLLINI, E., LEÃO, A., MATTOSO, L. H. C. (eds), **Natural Polymers and Agrofibers Based Composites**, 1. ed.. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000.

PARK, C. W.; HAN, S. Y.; SEO, P. N.; YOUE, W. J.; KIM, Y. S.; CHOI, S. K.; & LEE, S. H. Property comparison of thermoplastic starch reinforced by cellulose nanofibrils with different chemical compositions. **BioResources**, v. 14, n. 1, p. 1564-1578, 2019.

PAULA, J. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 2, p. 243-262, 2003. 6

POPA, V. I. (ed.). **Pulp production and processing: from papermaking to high-tech products**. Shropshire: Smithers Rapra, 2013.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004

RODRIGUES, B. P. **Utilização de parâmetros anatômicos da madeira de dois clones de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* como índices de qualidade para a produção de papel**. 2010. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2010.

ROLIM, S. G.; PIOTTO, D. **Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica**. Editora Rona. 2018. 160 p.

ROWELL, R. M. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, 2ª ed., CRC Press, 703 pg., 2013. ISBN 9781439853801.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** DF, 2008. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, DF.

SBARDELLA, M. **Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando a produção de polpa celulósica.** Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos- PR, 2018.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* para produção de papel imprensa. *IPEF*, Piracicaba, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 181f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, R. T.; SETTE JÚNIOR, C. R.; FRANCO, M. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; LACLAU, J. P.; CHAIX, G. Disponibilidade hídrica e fertilização mineral nas características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1168-1179, 2019.

SINGH, S.; STACK, K. R.; RICHARDSON, D. E.; LEWIS, T. W. Wood extractives recovery from flotation of thermo-mechanical pulp process water. *Appita Journal*, Melbourne, v. 72, n. 3, p. 135- 149, 2019.

SLATER, D.; ENNOS, A.R. Determining the mechanical properties of hazel forks by testing their component parts. **Trees**, v.27, p.1515-1524, 2013. DOI: 10.1007/s00468-013-0898-5.

TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G.; BALDIN, T.; OLIVEIRA, L. H.; SANTINI, E. J.; PASA, D. L. Caracterização anatômica de clones comerciais de *eucalyptus* para a produção de papel. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 65-70, 2020.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. C. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, jan./mar. 2010.

VASCONCELOS, F. S. R. 2005. **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação de *Pinus taeda*.** Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Piracicaba: ESALQ. 104p.

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, física e químico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica.** 2010. 74 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas.** 2012. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

VIVIAN, M. A.; SEGURA, T. E.S.; BONFATTI JÚNIOR, E. A.; SARTO, C.; SCHMIDT, F.; SILVA JÚNIOR, F. G.; GABOV, K.; FARDIM, P. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 183-191, mar. 2015.

MALLAN, F. A.. *Eucalyptus* improvement for lumer production. Pp. 1-19. In: **Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria**. IPEF/IPT, São Paulo, 1995.

MANFREDI, M.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, J. C.; REYES, R. I. Q. Ultrasonic treatment of secondary fibers to improve paper properties. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, Sundsvall, v. 28, p. 297, 2013.

OLIVEIRA, I. R. M. VALE, A. T. MELO, J. T. COSTA, A. F. GONÇALVEZ, J. C. Biomassa e características da madeira de *Sclerolobium paniculatum* cultivado em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 351 – 357, out./dez. 2008.

RIDOUTT, B.G.; SANDS, R. Quantification of the processes of secondary xylem fibre development in *Eucalyptus globulus* at two height levels. **International Association of Wood Anatomists Journal**, n.15, p.417-424, 1994.

TIMELL, T. E. **The chemical composition of tension wood**. New York: 1969. p.173-181.

TRUGILHO, P. F.; Lima, J. T. & Mendes, L. M. 1996. Influência da idade nas características físicoquímicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne 2**: 94-11.

TSOUMIS, G. 1968. **Wood as raw material**. Pergamon Press, Oxford.

TSOUMIS, G.; PANAGIOTIDIS, N. Effect of growth condition on quality characteristics of Black Pine (*Pinus nigra* Arn.). **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 14, p. 301-310, 1980.