

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**AVALIAÇÃO FÍSICA E MICROSCÓPICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus* sp.  
FRENTE AO ATAQUE DE FUNGOS PROSPECTADOS DO CERRADO.**

**MONTE CARMELO**

**2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**LAUANE ALVES OLVEIRA**

**AVALIAÇÃO FÍSICA E MICROSCÓPICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus* sp.  
FRENTE AO ATAQUE DE FUNGOS PROSPECTADOS DO CERRADO.**

**MONTE CARMELO**

**2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**LAUANE ALVES OLVEIRA**

**AVALIAÇÃO FÍSICA E MICROSCÓPICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus* sp.  
FRENTE AO ATAQUE DE FUNGOS PROSPECTADOS DO CERRADO.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Florestal, Campus Monte Carmelo, da  
Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte dos requisitos necessários  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Florestal.

Orientador(a): Dr. Regina Maria Gomes

**MONTE CARMELO**

**2025**

**LAUANE ALVES OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO FÍSICA E MICROSCÓPICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus* sp.  
FRENTE AO ATAQUE DE FUNGOS PROSPECTADOS DO CERRADO.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Florestal, Campus Monte Carmelo, da  
Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte dos requisitos necessários  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_.

Banca Examinadora

---

Prof. Dra. Regina Maria Gomes  
Orientadora

---

Dra. Olívia Pereira Lopes  
Membro da Banca

---

Eng. Florestal Anna Caroline Costa  
Fanalli  
Membro da Banca

**MONTE  
CARMELO 2025**

Dedico este trabalho a minha mãe Vilma (*in memoriam*) e minha avó Terezinha (*in memoriam*), que sempre foram minhas fontes de amor.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente e aos meus guias pela saúde, fortaleza e por sempre estarem comigo em todos os momentos, sem eles eu não estaria aqui.

Ao meu pai, Cláudio, que, sob muito sol, sempre fez o possível para me ajudar a chegar até aqui, e à minha irmã gêmea, Laila, que sempre esteve ao meu lado, me incentivando a nunca desistir.

Agradeço a minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Regina Maria Gomes pela orientação, ensinamentos e muita paciência para a conclusão do presente trabalho. Obrigada por me auxiliar e contribuir o meu crescimento profissional.

Agradeço a minha família materna todos os tios, tias, primos e primas por sempre estarem comigo me dando força, ajuda e apoio.

Agradeço aos meus amigos Rayana, Izadora e Thiago pela amizade que construímos e a Tia Lu (Lucimar) que foi uma família para mim, nenhuma palavra será capaz de expressar minha gratidão.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia, onde tive a oportunidade de adquirir todo o conhecimento para minha formação.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram e torceram para a minha conclusão de curso e formação. Muito obrigada!

## RESUMO

A madeira, amplamente utilizada em diversos setores, está suscetível à ação de agentes biodegradadores, como fungos xilófagos, especialmente em ambientes com alta umidade, podendo sofrer degradações que comprometem suas propriedades físicas e estruturais. Assim sendo, este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência da madeira de *Eucalyptus* sp. frente ao ataque de fungos isolados de áreas de Cerrado, por meio de ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório. Foram coletadas 19 amostras fúngicas em madeira em decomposição no Parque da Matinha (Monte Carmelo-MG), das quais quatro culturas puras foram selecionadas. A metodologia seguiu a norma AWPA E10-16, utilizando frascos com solo umedecido e corpos de prova de madeira expostos aos fungos por três meses. Após esse período, analisaram-se a densidade básica e aparente, o diâmetro dos vasos e a estrutura da madeira por microscopia óptica e eletrônica de varredura (MEV). Os resultados indicaram que o Tratamento 1 apresentou a maior perda de densidade, enquanto o Tratamento 2 teve a menor degradação, possivelmente devido à presença do fungo *Trichoderma* sp., conhecido por sua ação antagonista. A análise microscópica revelou redução no diâmetro dos vasos nos tratamentos inoculados, e a MEV confirmou a colonização fúngica com diferentes níveis de deterioração da parede celular. Conclui-se que os fungos prospectados do Cerrado afetam diretamente a integridade da madeira de *Eucalyptus* sp., evidenciando a importância dos estudos de ensaio de apodrecimento.

**Palavras-chave:** biodegradação da madeira; fungos xilófagos; apodrecimento acelerado; microscopia eletrônica de varredura.

.

## ABSTRACT

Wood, widely used in various sectors, is susceptible to the action of biodegrading agents, such as xylophagous fungi, especially in environments with high humidity, can suffer degradation that compromises its physical and structural properties. The objective of this study was to evaluate the resistance of *Eucalyptus* sp. wood to the attack of fungi isolated from Cerrado areas, by means of an accelerated rot assay in the laboratory. A total of 19 fungal samples were collected from decomposing wood in the Matinha Park (Monte Carmelo-MG), from which four pure cultures were selected. The methodology followed the AWPA E10-16 standard, using flasks with moistened soil and wooden specimens exposed to fungi for three months. After this period, the basic and apparent density, the diameter of the vessels and the structure of the wood were analyzed by optical and scanning electron microscopy (SEM). The results indicated that Treatment 1 had the highest density loss, while Treatment 2 had the lowest degradation, possibly due to the presence of the fungus *Trichoderma* sp., known for its antagonistic action. Microscopic analysis revealed a reduction in vessel diameter in the inoculated treatments, and SEM confirmed fungal colonization with different levels of cell wall deterioration. It is concluded that the fungi prospected from the Cerrado directly affect the integrity of *Eucalyptus* sp. wood, evidencing the importance of rot assay studies.

**Keywords:** wood biodegradation; xylophagous fungi; accelerated decay; scanning electron microscopy.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Bioprospecção, isolamento e seleção de fungos.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Coleta e preparo do solo .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Ensaio de apodrecimento acelerado de madeira em laboratório .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4 Análise da madeira empregada no ensaio.....</b>	<b>16</b>
<b>3.5 Análise Estatística.....</b>	<b>18</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Bioprospecção, isolamento e seleção de fungos.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Caracterização do solo.....</b>	<b>23</b>
<b>4.3 Caracterização da madeira empregada no ensaio.....</b>	<b>24</b>
<b>4.4 Ensaio de apodrecimento acelerado de madeira em laboratório .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4.1 Densidade básica e aparente da madeira antes e após o ensaio de apodrecimento .....</b>	<b>25</b>
<b>4.4.2 Diâmetro dos vasos.....</b>	<b>26</b>
<b>4.4.3 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....</b>	<b>32</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A madeira se sobressai entre os materiais amplamente utilizados pela sociedade em razão de sua versatilidade de aplicações. Suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, somadas ao seu potencial estético, justificam sua ampla utilização em projetos arquitetônicos e de engenharia e diversos outros artefatos (Barbosa, 2023).

Neste cenário, o eucalipto surge como uma alternativa de destaque na produção de madeira, sendo amplamente utilizado pela indústria (REMADE, 2002). O gênero *Eucalyptus* spp., originário da Austrália, Tasmânia e ilhas da Oceania, abrange mais de 700 espécies botânicas reconhecidas. A expressiva variabilidade nas características físicas e químicas entre essas espécies confere ao gênero uma notável versatilidade de aplicação. Assim, os eucaliptos são utilizados em diversas finalidades, incluindo produção de lenha, estacas, moirões, dormentes ferroviários, carvão vegetal, celulose e papel, painéis de fibras e partículas, bem como na moveleira, geração de energia, produção de fitoterápicos e outros produtos de importância econômica e industrial (EMBRAPA, 2019).

Contudo, ao estar exposta em condições naturais, a madeira torna-se suscetível a processos de desgaste e degradação que podem ocorrer por mecanismos físicos, químicos ou biológicos. Entre esses, a deterioração causada por fungos é considerada a principal forma de degradação biológica, sendo a mais relevante quando se considera o volume de perdas econômicas e estruturais ocasionadas (Oliveira; Müller, 2024).

Para que os fungos consigam se instalar e se desenvolver na madeira, utilizando seus componentes como fonte de energia, algumas condições básicas devem estar presentes, como a disponibilidade de nutrientes, o teor de umidade da madeira, a temperatura, a presença de oxigênio livre e o pH do substrato (Moreschi, 2013).

Diante disso, é importante avaliar como as diferentes propriedades da madeira podem ser alteradas quando expostas ao ataque de fungos destrutores, além de analisar a interação entre essas propriedades, a fim de obter uma caracterização mais precisa da sua resistência natural (Stangerlin *et al.*, 2013). É fundamental realizar estudos para determinar a resistência natural de espécies florestais. Com esse conhecimento, é possível orientar o uso adequado dessa matéria-prima na indústria, além de promover a inclusão de espécies florestais alternativas no mercado, contribuindo para a diversificação dos recursos provenientes de florestas plantadas (Camargo, 2022).



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de deterioração da madeira de eucalipto frente a ação de fungos xilófagos em ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório e comparar se os componentes físicos e óticos sofreram alterações após a realização do ensaio.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Prospectar fungos do cerrado com potencial de degradar madeira;
- Avaliar a variação de densidade básica e aparente das madeiras submetidas ao ataque dos fungos;
- Avaliar as características microscópicas da madeira antes e após o ataque de fungos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Bioprospecção, isolamento e seleção de fungos

Para a realização do presente estudo foi necessário a obtenção de colônias fúngicas puras. Assim sendo, a bioprospecção dos fungos foi realizada em resíduos de madeira em decomposição e/ou serrapilheira, coletados em uma área de preservação ambiental, em área de cerrado, o “Parque da Matinha”, localizado no município de Monte Carmelo, Minas Gerais (18°45'0.02" S e 47°30'27.00" O).

Foram coletados 19 fungos, que foram isolados e repicados, com o objetivo de evitar contaminação e garantir a obtenção de culturas puras, no Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia - LAMIF da Universidade Federal de Uberlândia. O material foi repicado em meios de cultura Ágar Batata Dextrose - BDA. Posteriormente, aguardou-se aproximadamente duas semanas para que o micélio cobrisse completamente o meio, antes de serem utilizados para a realização do ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório.

#### 3.2 Coleta e preparo do solo

Para a realização deste ensaio de apodrecimento de madeira acelerado, tornou-se necessário a utilização um substrato para a manutenção da umidade, para tanto, utilizou-se solo, conforme a norma da American Wood Protection Association – AWPA E10-16 (AWPA, 2016).

O solo para a realização deste trabalho foi coletado em uma área da Universidade Federal de Uberlândia, na cidade de Monte Carmelo, na região do Alto Paranaíba, no Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais, inserida no bioma Cerrado.

O solo foi coletado de zonas florestais e do horizonte B, apresentando baixo teor de matéria orgânica. A determinação do pH do solo foi realizada no Laboratório de Química - LABQ da Universidade Federal de Uberlândia. O pH foi medido em água, utilizando 10 cm<sup>3</sup> de amostra de solo em 25 mL de água destilada. A mistura permaneceu em repouso por 1 hora e, em seguida, a medição foi realizada com um pHmetro digital. O procedimento foi realizado conforme a norma AWPA (2016) com 3 repetições.

A classificação do solo foi realizada utilizando peneiras de 5 e 10 mesh adaptadas da norma AWPA (2016). Após a quebra de todos os aglomerados, o solo foi misturado e passado pelas peneiras. Em seguida, o material foi seco em estufa e armazenado em recipientes para evitar a absorção de umidade do ambiente.

Após a classificação do solo, determinou-se a capacidade de retenção de água deste, de acordo com a norma AWPA (2016). O procedimento de capacidade de retenção de água foi realizado utilizando-se um funil equipado com papel de filtragem rápida, que foi preenchido com solo, nivelando-o até a borda. Posteriormente, um bêquer foi preenchido com água até que atingisse um nível acima do papel filtro, permitindo que o solo fosse umedecido. As amostras permaneceram em repouso por 16 horas. Após esse período, o funil foi colocado em um frasco de sucção, conectado a uma bomba de vácuo, e o sistema foi aspirado por 15 minutos. O solo foi retirado e pesado para determinar seu peso úmido, em seguida foi colocado em estufa a 105°C por 24 horas, logo após, foi pesado novamente para obter seu peso seco. O procedimento foi realizado com 3 repetições. A capacidade de retenção de água foi calculada de acordo com a equação 1.

$$WHC = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100 \quad (1)$$

Onde: WHC- capacidade de retenção de água (%); W1 - peso úmido (g); W2 - peso seco (g).

### 3.3 Ensaio de apodrecimento acelerado de madeira em laboratório

Para a realização da presente pesquisa foi utilizada a metodologia AWPA (2016) que é um método laboratorial para avaliar a resistência ao apodrecimento de materiais à base de madeira contra culturas puras de basidiomicetos, em condições laboratoriais controladas com temperatura da BDO a 25°C e umidade relativa entre 65% e 75%, que foi realizado no Laboratório de Recursos Genéticos Florestais e Biotecnologia - LAGEF e Laboratório de Melhoramento e Sementes florestais – LAMSF da Universidade Federal de Uberlândia.

O ensaio foi conduzido em frascos de vidro transparentes com tampas de rosca sem revestimento, com capacidade de 600 ml, cada um com peso de 118 gramas de solo. A água no frasco deveria ser 130% da capacidade de retenção de água do solo, para fornecer essa quantidade foi feito os cálculos para levar o teor de umidade do solo não esterilizado a esse percentual, além do cálculo de água necessária para substituir a perdida durante a esterilização dos frascos. Para determinar a quantidade de água necessária para os frascos com a quantidade de solo informada foi feito o cálculo que se encontra na equação 2.

$$\text{Água (mL)} = (0,013 \times \text{WHC} \times \text{W4}) + (\text{W4} - \text{W3}) \quad (2)$$

Onde: WHC - capacidade de retenção de água (%); W3 - peso do solo úmido (g); W4 - peso do solo seco(g).

Para a montagem foi adicionado a quantidade de água necessária no frasco sendo 75 mL e para adicionar o solo foi colocado um funil com uma haste para colocar o solo com menor poeira para fazer o nivelamento. Os frascos foram pesados e em seguida autoclavados por 45 minutos. Os corpos de prova e os porta fungos também foram autoclavados pelo mesmo período, garantindo a ausência de risco de contaminação no experimento. Após a esterilização, foi completado a quantidade de água esterilizada necessária e adicionado os porta fungos. Após o período necessário para que os fungos atuassem e recobrissem os porta-fungos, os corpos de prova foram adicionados e os frascos lacrados e revestidos com papel filme para evitar qualquer contaminação e assim permaneceram em observação por 12 semanas.

O ensaio seguiu um delineamento inteiramente casualizado - DIC, contendo, 5 tratamentos cada um com 20 repetições. Os tratamentos incluíram quatro tratamentos submetidos à inoculação com diferentes fungos (Trat. 1, Trat. 2, Trat. 3 e Trat. 4) e um tratamento testemunha, sem a inoculação de fungo.

Ao final do período de incubação, os blocos de madeira foram removidos para realizar a limpeza do micélio, sendo posteriormente secos em estufa até massa constante. Em seguida, foram realizadas as pesagens para obter a massa do corpo de prova e realizadas as medições volumétricas dos corpos de provas com o paquímetro para determinação da densidade aparente após o ensaio.

### 3.4 Análise da madeira empregada no ensaio

Os corpos de prova utilizados no experimento foram da espécie de *Eucalyptus* sp., obtida de um único caibro comercializado em serraria na cidade de Monte Carmelo/MG, com dimensões 2,5 x 2,5 x 1,2 cm, sendo radial, tangencial e axial, respectivamente e madeira de *Pinus* sp. de 6 mm de espessura foi empregada porta fungos, ambos seguindo o especificado na norma America Society for Testing and Materials - ASTM D 2017 (ASTM, 2005).

A madeira *Eucalyptus* sp. foi caracterizada antes e após o ataque dos fungos quanto a densidade básica e aparente, medição dos vasos e análise de microscopia eletrônica de varredura.

A determinação da densidade básica e a aparente e a medição microscópica do diâmetro

dos poros (vasos) foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira – LAMAD da Universidade Federal de Uberlândia.

A densidade básica foi realizada seguindo a norma Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003), com 10 repetições, conforme equação 3.

$$Densidade \text{ básica} (DB) = \frac{Massa \text{ seca} (g)}{Volume \text{ saturado} (cm^3)} \quad (3)$$

Para a determinação da densidade aparente, as amostras foram as amostras foram condicionadas até atingirem o teor de umidade de 12%. Em seguida, foram pesadas em uma balança digital para determinação da massa. As medidas volumétricas foram realizadas com o uso de um paquímetro analógico digital, mediu-se a largura, o comprimento e a espessura de cada amostra. O procedimento foi realizado antes e após o ataque dos fungos, com 20 repetições para cada tratamento (Equação 4).

$$Densidade \text{ aparente} (DA) = \frac{Massa \text{ seca ao ar} (g)}{Volume \text{ seco ao ar} (cm^3)} \quad (4)$$

A determinação do diâmetro dos vasos exigiu a confecção das lâminas histológicas, onde as amostras foram imersas em água por três semanas, a fim de favorecer o amolecimento do material para o seccionamento nos sentidos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial. Após esse procedimento, as amostras foram submetidas à coloração com o corante safrablau por 15 minutos, sendo posteriormente enxaguadas em água destilada. Em seguida, realizou-se a desidratação gradual das amostras utilizando soluções alcoólicas nas seguintes concentrações: 30%, 50%, 70%, 80%, 96% e 100%. Após a etapa de desidratação, foi adicionado acetato de butila e feito a montagem das lâminas.

A medição microscópica do diâmetro dos poros (vasos) foi realizada com o uso do Microscópio Trinocular – Moticam BTU com objetiva de 4x. Para a medição foram utilizadas 3 repetições para cada tratamento, bem como para a madeira sem tratamento.

A análise de Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV foi realizada na Rede de Laboratórios Multiusuários -RELAM da Universidade Federal de Uberlândia. Incialmente, para a análise os corpos de provas foram previamente secos em estufa a 60°C, após as faces que não foram analisadas foram revestidas com base de esmalte a fim de selar os poros da madeira e facilitar a realização do procedimento. As faces que foram analisadas foram recobertas com dez nanômetros de ouro, utilizando-se o equipamento Leica EM SCD050. As amostras recobertas

por ouro foram analisadas posteriormente no microscópio eletrônico de varredura, marca Tescan, modelo VEGA 3 LMU, detector tipo SE, nas magnitudes de 100, 500, 1000, 5000 10000 x. Foram analisadas 6 amostras na face transversal, 6 na face longitudinal tangencial. Os corpos de prova utilizados para a análise de micromorfologia foram derivados de amostras brutas, obtidos em serras fitas em operação de desdobro, sem nenhum tipo de polimento.

### **3.5 Análise Estatística**

A análise estatística qualitativa foi utilizada para os fungos bioprospectados do cerrado, que foram analisados qualitativamente quanto à pureza ou contaminação das colônias obtidas. Somente as culturas consideradas puras foram utilizadas nos ensaios de apodrecimento acelerado da madeira de eucalipto.

Empregou-se estatística descritiva para os parâmetros associados ao solo, que neste estudo foi caracterizado quanto ao seu pH, sua capacidade de retenção de água e volume necessário de água para garantir sua umidade. Todas as análises foram realizadas com 3 repetições cada. A análise estatística descritiva foi empregada através dos cálculos de média, desvio padrão e coeficiente de variação.

A análise descritiva também foi utilizada para os parâmetros de densidade básica e densidade aparente que foram determinados na madeira antes da realização do ensaio de apodrecimento. Na determinação da densidade básica empregou-se 10 repetições e na densidade aparente foram empregadas 20 repetições.

Em relação aos resultados de densidade básica e aparente das madeiras antes e após o ensaio de apodrecimento da madeira, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância - ANOVA, com um nível de confiança de 95%, e quando verificada a interação positiva, realizou-se o teste Tukey a 5% de significância para verificar diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, utilizando a planilha disponibilizada pelo Centro de Ciências Agrárias da UFSCar (CCA,2009).

A análise estatística dos valores de medição microscópica do diâmetro dos poros (vasos) também foi realizada pela análise descritiva dos dados através dos cálculos de média, desvio padrão e coeficiente de variação dos valores obtidos pela média de 25 vasos, para cada tratamento e para a madeira antes do ensaio de apodrecimento.

As imagens obtidas pela microscopia eletrônica de varredura - MEV foram analisadas qualitativamente somente pela avaliação das imagens obtidas, quanto a descrição das características estruturais e morfológicas observadas, com foco na observação do ataque dos

fungos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Bioprospecção, isolamento e seleção de fungos

O isolamento de fungos fitopatogênicos envolve a obtenção desses microrganismos em cultura pura a partir de tecidos infectados do hospedeiro, do solo ou de outros substratos. A cultura pura do patógeno é indispensável em ensaios de patogenicidade, avaliação da resistência genética de plantas e testes de sensibilidade a fungicidas (Alfenas, 2005; apud Silva 2011).

Uma das vantagens do isolamento direto é conseguir ter um organismo puro, sem contaminação por outros microrganismos presentes no tecido infectado (Carollo *et al.* 2016). Assim sendo, foram coletados 19 fungos, porém, alguns apresentaram contaminação e foram descartados.

Para a realização do presente estudo empregou-se somente as quatro culturas puras obtidas. Na figura 1 são apresentadas as estruturas macroscópicas dos fungos em campo e os isolados fúngicos utilizados no ensaio de apodrecimento acelerado.

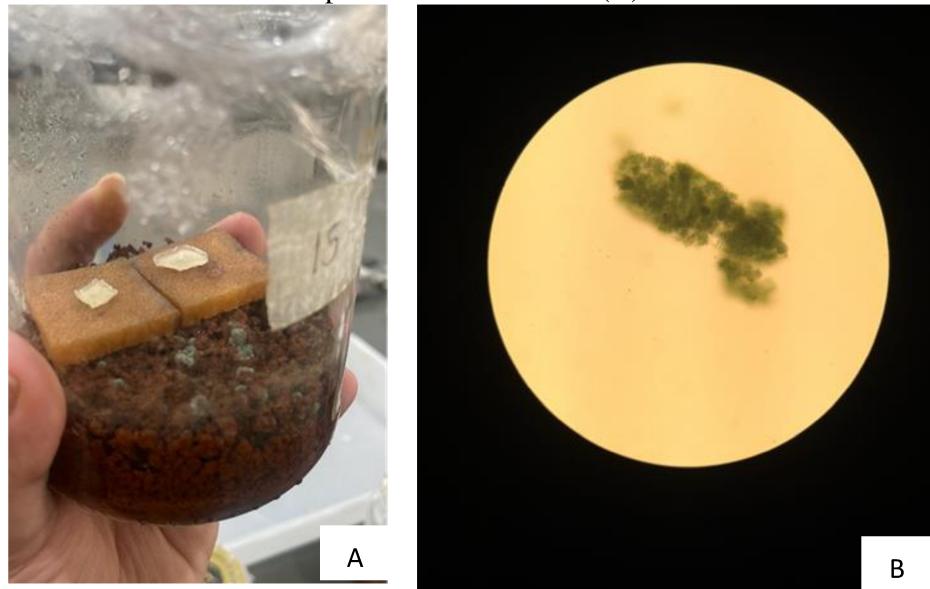
Figura 1 - Estrutura macroscópica do fungo na madeira: Trat. 1(A), Trat. 2 (B), Trat. 3 (C) e Trat. 4 (D); Isolados fúngicos em meio de cultura: Trat. 1 (E), Trat. 2 (F), Trat. 3 (G) e Trat. 4 (H)



Fonte: Oliveira, L. A.; Sevilha, R. C.

Para garantir a obtenção de culturas puras, foram realizadas seis repicagens, e as placas foram incubadas por 15 dias para permitir o recobrimento completo do meio de cultivo. A avaliação da pureza das culturas foi realizada por inspeção visual. No entanto, mesmo com toda cautela houve contaminação pelo fungo *Trichoderma* sp. no tratamento dois (Figura 2).

Figura 2 – Contaminação fúngica do fungo *Trichoderma* sp. (A); Fungo contaminante visto em lupa de aumento 100X (B)



Fonte: Oliveira, L. A.; Sevilha, R. C.

A contaminação por *Trichoderma* sp. ocorreu em todos os 10 recipientes do tratamento 2, inibindo o crescimento do fungo de interesse. Como no presente trabalho, a avaliação da pureza das culturas foi realizada apenas por inspeção visual, pode ter ocorrido limitação na detecção da contaminação. Segundo Formiga (2024), para assegurar a ausência de contaminação antes e após os experimentos, bem como a pureza das colônias, as cepas fúngicas devem ser submetidas à análise macroscópica das culturas, preferencialmente com o auxílio de equipamentos como lupas.

Apesar da contaminação relatada decidiu-se manter o tratamento 2 para observar a ação do contaminante sobre a madeira de eucalipto, pois, Silva *et al.* (2024) cita diversos estudos envolvendo o fungo *Trichoderma* sp. ressaltando seu elevado potencial no controle de fitopatógenos que afetam culturas de importância econômica e social. O *Trichoderma* sp. atua como agente antagonista de vários patógenos, utilizando diferentes mecanismos de ação. Além disso, destaca-se a competição por espaço, nutrientes e a produção de compostos antimicrobianos, especialmente metabólitos secundários com atividade antifúngica. Segundo Farias *et al.* (2023), os

fungos do gênero *Trichoderma* sp. estão associados à ocorrência de manchas internas nas madeiras.

#### 4.2 Caracterização do solo

O solo utilizado na realização do ensaio foi caracterizado quanto ao pH, à capacidade de retenção de água e ao valor adicional de água e os resultados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do solo quanto ao pH e capacidade de retenção de água (WHC), bem como volume de água adicional (AD)

	pH	WHC (%)	AD (mL)
Média	4,82	28,26	73,32
Desvio	0,03	0,32	8,87
CV (%)	0,63	1,16	12,10

Fonte: A autora (2025).

Pela tabela 1 observa-se que a média obtida para o pH do solo foi de 4,82. O valor encontrado encontra-se na faixa relatada por Mendes e Alves (1988), que afirmam que o desenvolvimento de fungos xilófagos ocorre preferencialmente em ambientes com pH ácido, situando-se sua faixa ótima entre 4,5 e 5,5. De forma geral, o crescimento fúngico pode ocorrer em uma faixa de pH mais ampla, sendo o limite inferior em torno de 2,0 e o superior ligeiramente acima de 7,0.

Na realização deste trabalho, optou-se por não se ajustar o pH do solo, visando simular as condições de desenvolvimento dos fungos em solos do cerrado. Embora a norma AWPA EN 10-16 (AWPA, 2016) sugira que se o pH do solo for inferior a 5,0 este deva ser alterado com cal hidratada para ajustar entre 5,00 e 8,00.

Já a média de capacidade de retenção de água (WHC) foi de 28,26%, conforme apresentado na Tabela 1. Este valor é similar ao relatado por Santos (2023), que em seu ensaio de apodrecimento acelerado laboratorial relatou utilizar um solo com 27% de capacidade de retenção de água.

A quantidade de água adicionada neste trabalho foi de 73,32 mL. Esse volume de água é necessário para a umidificação do solo em cada recipiente, visando garantir 130% acima da capacidade de retenção de água do solo, com o intuito de manter os fungos em atividade durante a realização do ensaio, conforme preconizado pela metodologia AWPA (2016).

### 4.3 Caracterização da madeira empregada no ensaio

A densidade da madeira é um fator crucial que influencia diretamente propriedades mecânicas, como resistência e durabilidade, sendo essencial para determinar o uso adequado da madeira em diversas aplicações, como construção civil, movelearia, energia ou produção de polpa celulósica (GAO *et al.*, 2017; LUAN *et al.*, 2022). Assim sendo, a madeira de eucalipto que foi empregada na realização do ensaio laboratorial de apodrecimento acelerado foi caracterizada inicialmente quanto à densidade básica e densidade aparente, os resultados obtidos para estes parâmetros encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados de densidade básica e aparente da madeira empregada no ensaio

	Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidade aparente 12% (g.cm <sup>-3</sup> )
Média	0,7221	0,7516
Desvio (s <sup>2</sup> )	0,01	0,06
CV (%)	1,99	8,48

Fonte: A autora (2025).

A tabela 2 apresenta o valor 0,7221 g.cm<sup>-3</sup> como a média de densidade básica, enquanto a média da densidade aparente foi de 0,7516 g/cm<sup>3</sup>. Por se tratar de dois parâmetros distintos essa diferença era esperada, pois a densidade básica se baseia na relação entre massa seca e volume saturado da madeira, enquanto a densidade aparente considera a relação entre massa seca e volume da madeira seca sob uma determinada umidade (Carvalho *et al.*, 2015).

A densidade básica encontrada no presente trabalho de 0,7221 g.cm<sup>-3</sup> de acordo com esse valor foi considerada uma densidade média (Wheeler, E. A.; Baas, P.; Gasson, P. E., 1989). Esse valor foi superior ao relatado por Andrade; Tomazello Filho e Moutinho (2018), que em estudo com eucalipto relataram densidade básica variando entre 0,567 e 0,696 g/cm<sup>3</sup>. A média de densidade aparente encontrada foi de 0,7516 g.cm<sup>-3</sup>, valor este dentro da faixa relatada por Carvalho *et al.* (2015), em seu trabalho sobre resistência natural de espécies de eucalipto submetidas a ensaio com fungos apodrecedores em laboratório que foi de 0,75 a 0,90 g.cm<sup>-3</sup>.

### 4.4 Ensaio de apodrecimento acelerado de madeira em laboratório

#### 4.4.1 Densidade básica e aparente da madeira antes e após o ensaio de apodrecimento

A madeira obtida após o ensaio laboratorial também foi analisada quanto à densidade básica e aparente, similar à caracterização inicial da madeira. Com os resultados obtidos, realizou-se a análise de variância - ANOVA, conforme apresentado na tabela 3. A ANOVA foi realizada com a finalidade de comparar os parâmetros obtidos na caracterização inicial madeira (Antes do ensaio) com as amostras ensaiadas com fungos (Trat.1, Trat.2, Trat.3 e Trat.4), bem como o tratamento sem fungo inoculação de fungos (Tratamento testemunha).

Tabela 3 - ANOVA para os parâmetros densidade básica e aparente da madeira

Parâmetro: <i>Densidade Básica</i>					
Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P
Tratamentos	0,23	5	0,05	15,30	0,0000**
Resíduo	0,16	54	0,00		
Total	0,39	59			
Parâmetro: <i>Densidade Aparente 12%</i>					
Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P
Tratamentos	0,11	5	0,02	5,58	0,0001**
Resíduo	0,46	114	0,00		
Total	0,57	119			

Nível de significância: \*\*: 1%; \*: 5%.

Fonte: A autora (2025).

Como mostrado na tabela 3, a análise de variância apresentou p-valor menor que o nível de significância, tanto para densidade básica, quanto para densidade aparente, mostrando que houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados. Desta forma, tornou-se necessário a realização do teste de médias, cujo resultados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Teste Tukey a 5% para os parâmetros densidade básica e aparente da madeira

Tratamentos	Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidade aparente 12% (g.cm <sup>-3</sup> )
Antes do tratamento	0,72 a	0,75 a
Testemunha	0,56 c	0,68 b
Trat. 1	0,55 c	0,68 b
Trat. 2	0,64 b	0,74 ab
Trat. 3	0,58 bc	0,73 ab
Trat. 4	0,56 c	0,69 b

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: A autora (2025).

Os resultados apresentados na tabela 4 indicam que tanto a densidade básica quanto a aparente da madeira sofreram alterações em função dos tratamentos aplicados. A densidade básica inicial da madeira era  $0,72 \text{ g.cm}^{-3}$ , o maior valor registrado no estudo. Entre os tratamentos com isolados fúngicos vale a pena destacar o tratamento 2, que apresentou valor de densidade básica de  $0,64 \text{ g.cm}^{-3}$ , valor este superior ao obtido no tratamento testemunha, sem inoculação de fungo ( $0,56 \text{ g.cm}^{-3}$ ). Os tratamentos 1 e 4 apresentaram os menores valores de densidade básica, respectivamente,  $0,55$  e  $0,56 \text{ g.cm}^{-3}$ .

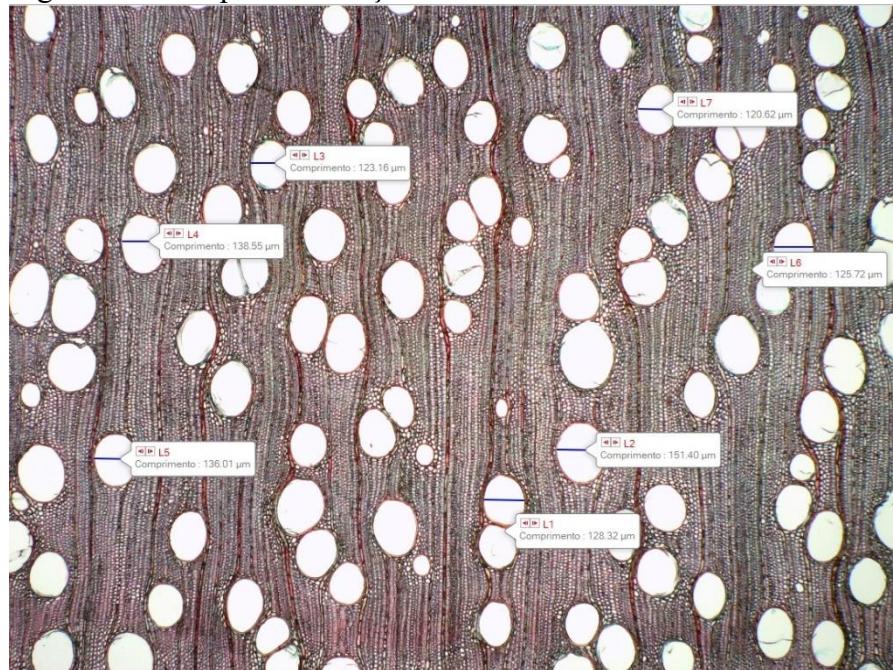
Em relação à densidade aparente a 12% de umidade verifica-se que os tratamentos 2 e 3, que apresentaram valores de  $0,74$  e  $0,73 \text{ g.cm}^{-3}$ , respectivamente, não diferiram do resultado obtido antes do tratamento ( $0,75 \text{ g.cm}^{-3}$ ). A testemunha, o tratamento 1 e 4 apresentaram valores próximos ambos sugerindo que não houve alterações em relação à madeira não tratada. No Tratamento 2 obteve o maior valor entre os tratamentos ( $0,74 \text{ g/cm}^3$ ) indicando que pode haver uma tendência de aumento da densidade aparente.

O estudo realizado por Farias *et al.* (2023) demonstrou que a densidade das espécies madeireiras está diretamente relacionada com a sua resistência aos organismos de degradação biológica e durabilidade natural. Assim sendo, a densidade inicial da madeira ensaiada pode ter interferido na ação degradante dos fungos ensaiados.

#### **4.4.2 Diâmetro dos vasos**

A figura 3 ilustra o procedimento utilizado para a medição do diâmetro dos vasos para a realização dos testes estatísticos deste estudo.

Figura 3 - Exemplo de medição do diâmetro dos vasos.



Fonte: A autora (2025).

Com os dados obtidos através da medição dos diâmetros dos vasos foi realizada a análise de variância – ANOVA, e os resultados encontram-se apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – ANOVA para o parâmetro diâmetro dos vasos da madeira após o ensaio.

Parâmetro: *Diâmetro dos vasos*

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P
Tratamentos	5	18 017,76	3 603,55	16,47	0,0000**
Resíduo	444	97 149,92	218,81		
Total	449	115 167,68			

Fonte: A autora (2025).

Pelo resultado da análise de variância apresentada na tabela 5, verificou-se que houve diferença estatística significativa no diâmetro dos vasos da madeira entre os valores analisados. O p-valor baixo, associado ao alto valor da estatística F, confirma que os tratamentos promoveram alterações significativas no diâmetro dos vasos. Em vista disso, tornou-se necessário desdobrar a interação pela realização do teste de médias Tukey ao nível de 5%, conforme apresentado na tabela 6.

Tabela 6 - Teste Tukey a 5% para os parâmetros do diâmetro dos vasos ( $\mu\text{m}$ )

Tratamentos	Média
Antes do tratamento	142,12 a
Testemunha	135,53 ab
Trat. 1	122,89 c
Trat. 2	126,64 c
Trat. 3	129,60 bc
Trat. 4	127,91 c

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: A autora (2025).

O teste de Tukey a 5% de significância indicou que a média do diâmetro dos vasos da madeira antes dos tratamentos (142,12  $\mu\text{m}$ ) foi significativamente superior aos demais, demonstrando um achatamento dos vasos após a realização dos tratamentos. O tratamento testemunha, apresentou média de diâmetro de vasos de 135,53  $\mu\text{m}$  e não diferiu da média de valor da madeira inicial (antes do tratamento). De acordo com Zanatto (2022), o diâmetro dos vasos é uma estratégia adaptativa da planta para prevenir fenômenos como a cavitação ou embolia, contribuindo para o aumento da tolerância à seca, plantas submetidas a condições de estresse hídrico tendem a apresentar vasos com menor diâmetro. Segundo Nisgoski (2016) os tilos bloqueiam as vias normais de circulação de líquidos e atuam como barreiras físicas que dificultam a penetração de fungos xilófagos, tornando mais difícil a sua ação na madeira.

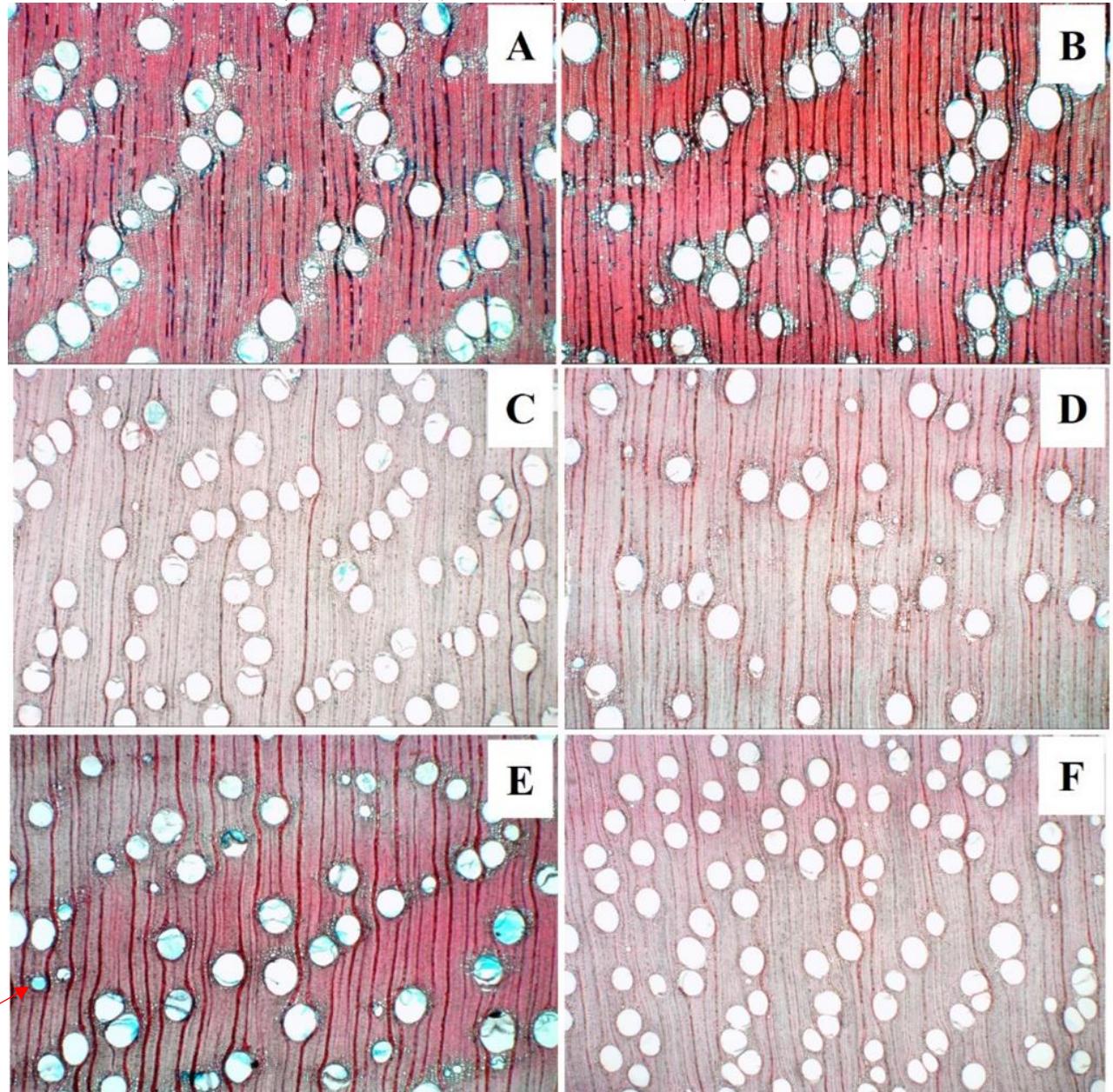
A média de diâmetro de vasos relatada neste trabalho é um pouco superior ao relatado por Oliveira *et al.* (2012), que ao estudar a madeira de eucalipto proveniente de diversas regiões do sudeste brasileiro relatou média de diâmetro médio de vasos de 100,8  $\mu\text{m}$ .

Ainda em relação ao teste de médias apresentado na tabela, verificou-se que não houve diferença estatística para os valores de diâmetro de vasos obtidos nos tratamentos com inoculação dos fungos (Trat.1, Trat.2, Trat.3 e Trat.4). Mas estes diferem dos tratamentos que não ocorreu inoculação de fungo, indicaram redução no diâmetro dos vasos, confirmando a ação dos fungos nos tratamentos ensaiados. No estágio inicial de deterioração, o fungo se desloca verticalmente por meio dos elementos de vaso, colonizando, em seguida, as células parenquimáticas adjacentes (Oliveira; Borges; Brito, 2001).

Embora tenha-se confeccionado lâminas histológicas através do seccionamento das

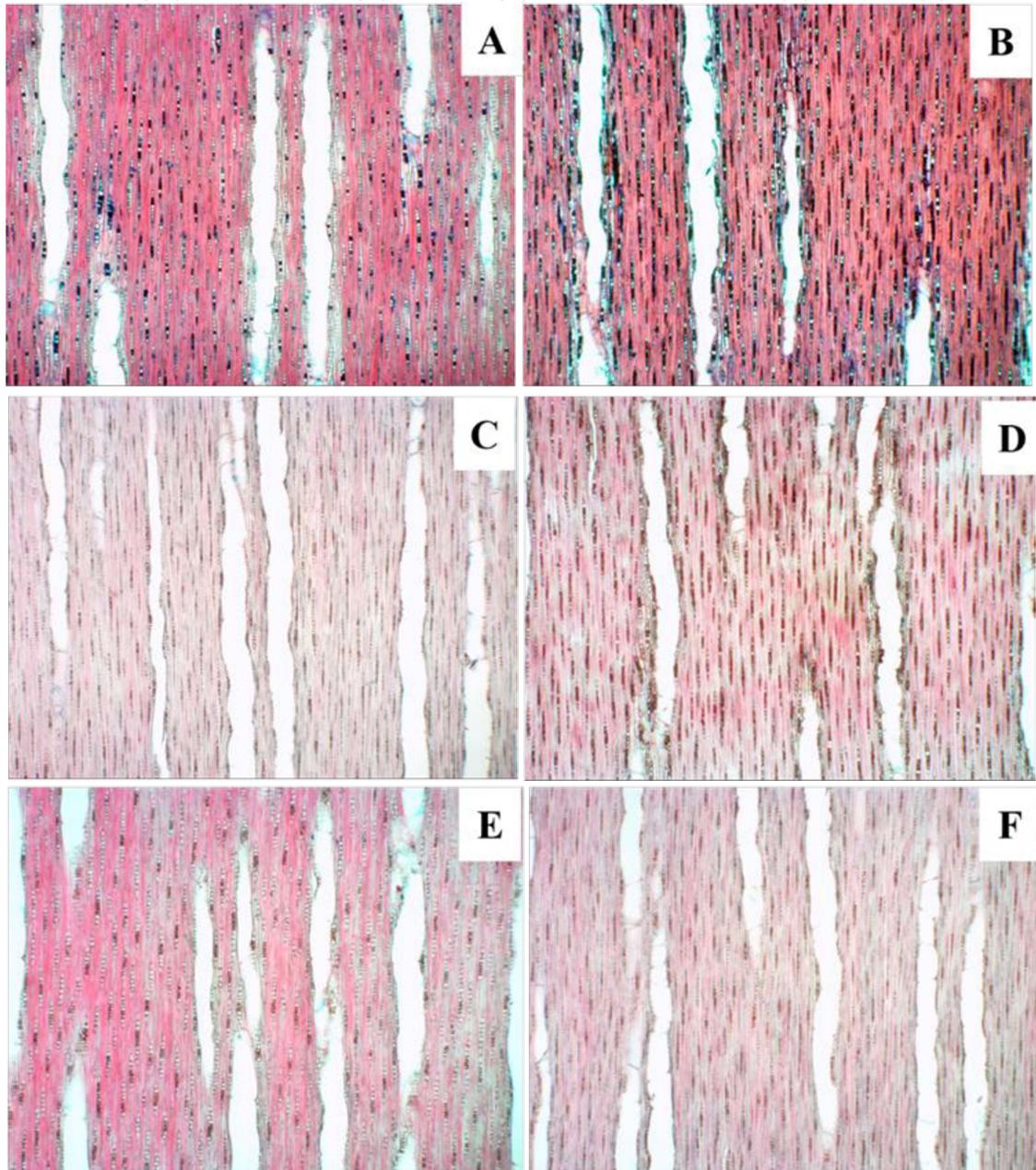
amostras nos sentidos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, optou-se por apresentar neste trabalho somente as imagens obtidas no sentido transversal e longitudinal tangencial, por estes fornecerem melhores detalhes para a observação dos efeitos do ensaio sobre a madeira. Na figura 4 apresenta-se as imagens referentes à estrutura microscópica da madeira no sentido transversal e na figura 5 apresenta-se a visualização da estrutura microscópica da madeira no sentido longitudinal tangencial com ambos os cortes obtidos sob aumento microscópico de 4,0X permitindo a observação detalhada dos elementos anatômicos característicos de cada plano de corte.

Figura 4 - Estrutura microscópica da madeira, sentido transversal: Antes do tratamento (A,); Testemunha (B); Trat. 1 (C); Trat. 2 (D); Trat. 3 (E); Trat. 4 (F).



Fonte: A autora (2025).

Figura 5 - Estrutura microscópica da madeira, sentido radial longitudinal: Antes do tratamento (A,); Testemunha (B); Trat. 1 (C); Trat. 2 (D); Trat. 3 (E); Trat. 4 (F).



Fonte: A autora (2025).

Nas imagens 4A (amostra antes do tratamento) e 4B (amostra testemunha), observa-se a estrutura anatômica da madeira íntegra e saudável, sem indícios da ação de agentes degradadores. Já nas imagens 4C, 4D, 4E e 4F, que correspondem aos tratamentos com inoculação de fungos, os vasos apresentam semelhança. Além disso, nas regiões com tonalidades azuladas, é possível identificar a presença de tilos.

Nas imagens 5A (amostra antes do tratamento) e 5B (amostra testemunha), observa-se uma estrutura anatômica bem preservada. Já nas imagens 5C, 5D, 5E e 5F, que correspondem aos

tratamentos com inoculação de fungos. Na análise por microscopia óptica, não foram identificadas hifas nem alterações visuais muito significativas na estrutura da madeira.

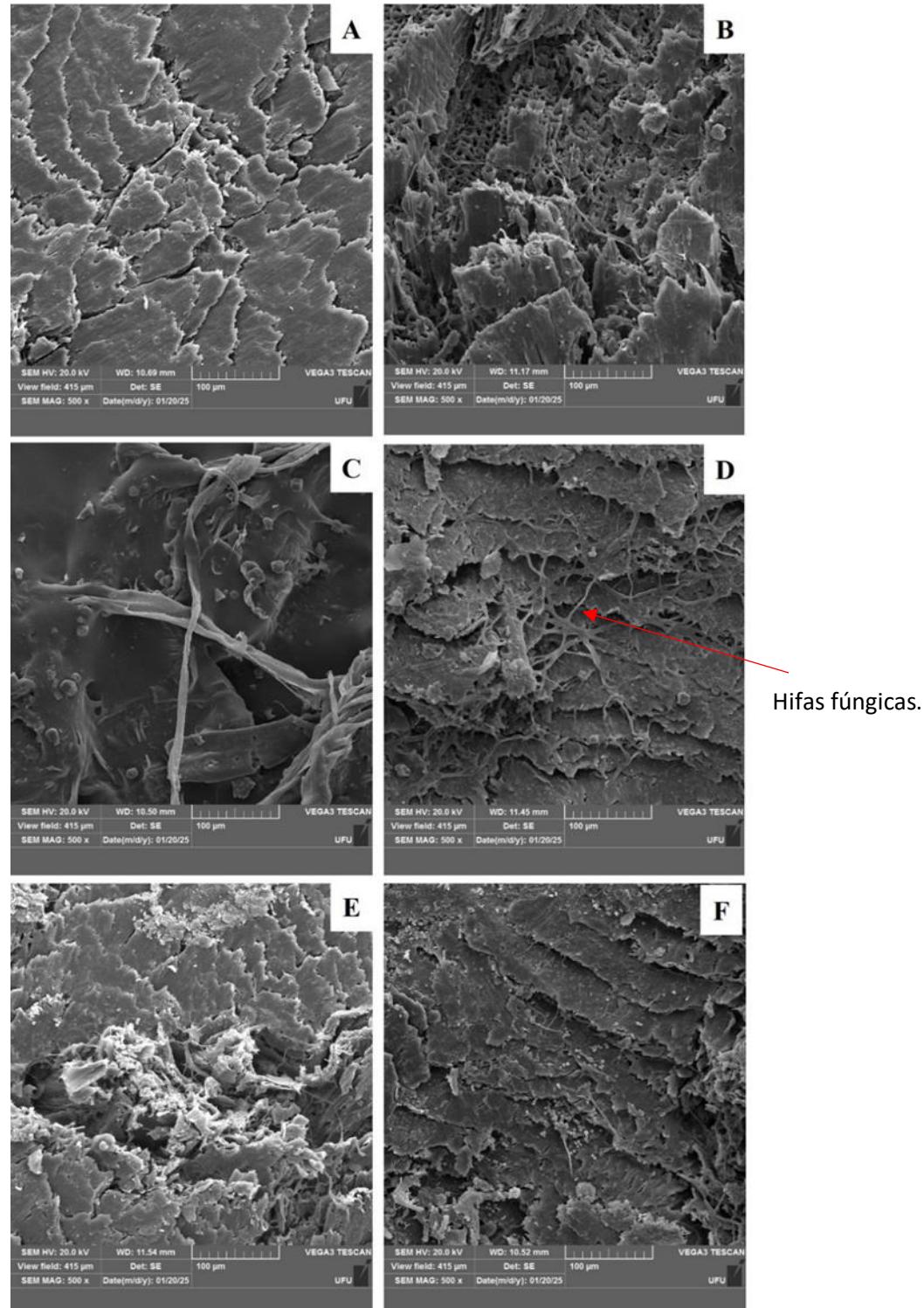
Pimentel (2023), em seu estudo com coquetéis enzimáticos fúngicos para degradação de madeira de eucalipto, observou que após o tratamento das amostras, houve o aparecimento de uma coloração azulada mais intensa em determinadas regiões. Segundo Vidal e Mello (2019, apud Pimentel, 2023) o azul de toluidina é um corante com efeito metacromático, capaz de gerar diferentes colorações dependendo dos componentes presentes no tecido, como a lignina e os carboidratos das paredes celulares vegetais. Essa alteração visual foi interpretada como indicativa de menor teor de lignina, o que sugere uma maior exposição dos polissacarídeos da parede celular. Essa exposição pode estar relacionada à ação degradante dos fungos, que utilizam esses componentes como fonte de alimento, indicando, portanto, uma possível perda estrutural da madeira. Tal fato pode servir de justificativa para a diminuição no diâmetro dos vasos observada neste trabalho.

#### **4.4.3 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

Embora na análise de microscopia eletrônica de varredura - MEV tenham sido obtidas as imagens em ampliações de 100 $\times$ , 500 $\times$ , 1000 $\times$ , 5000 $\times$  e 10000 $\times$  e nas faces transversal, longitudinal tangencial. Neste estudo optou-se por se apresentar somente as imagens com ampliações de 500 vezes, pois estas proporcionaram melhor visualização das estruturas de interesse.

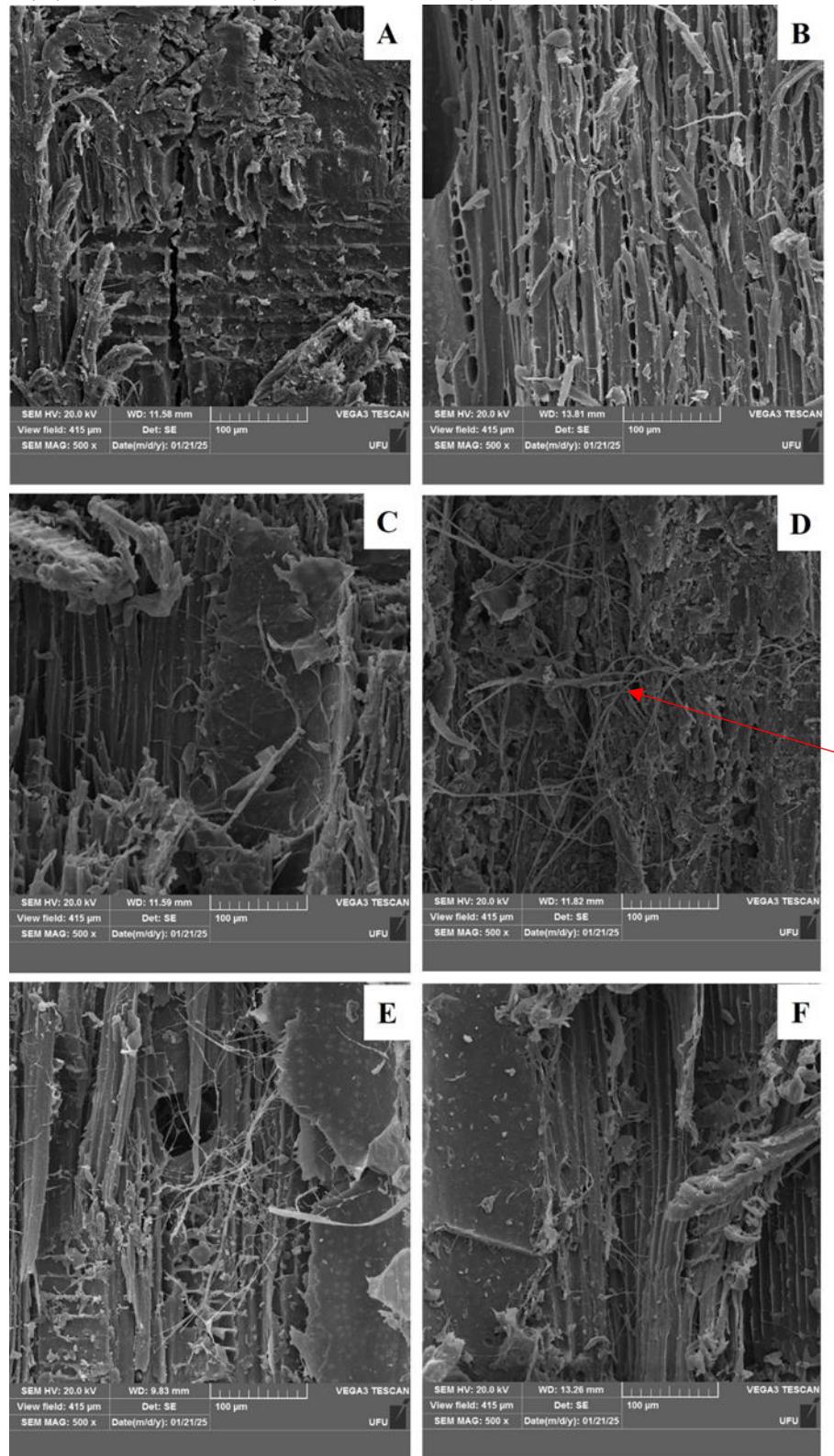
A análise de microscopia eletrônica de varredura, diferentemente da microscopia ótica, possibilitou observar a ação e a visualização das hifas fúngicas na madeira. As imagens obtidas através da microscopia eletrônica de varredura das seções transversal e longitudinal tangencial externa são apresentadas nas figuras 6 e 7, respectivamente.

Figura 6 - Microscopia eletrônica de varredura da seção transversal da madeira de *Eucalyptus* sp. (aumento de 500 vezes): Antes do tratamento(A); Testemunha(B); Trat. 1(C); Trat. 2 (D); Trat. 3(E); Trat. 4 (F).



Fonte: A autora (2025).

Figura 7 - Microscopia eletrônica de varredura da seção longitudinal tangencial externa da madeira de *Eucalyptus* sp. (aumento de 500 vezes): Antes do tratamento (A); Testemunha (B); Tratamento 1 (C); Tratamento 2 (D); Tratamento 3 (E); Tratamento 4 (F).



Fonte: A autora (2025).

Devido ao cisalhamento intrínseco nas amostras na operação de desdobro houve dificuldade na visualização dos elementos estruturas da madeira, principalmente na seção transversal, como pode ser observado na figura 6. Comportamento similar é relatado por Pimentel (2023).

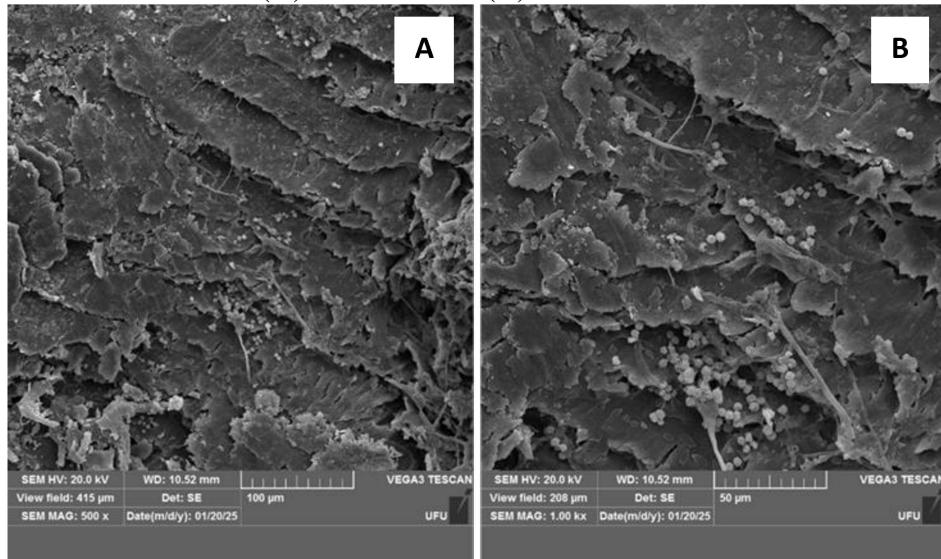
Nas imagens 6A e 6B, correspondente, respectivamente, à madeira antes do experimento, e à condição testemunha, que foi mantida sem adição de fungos, apresentam características semelhantes, indicando o estado natural da madeira evidenciando que não ocorreu degradação da madeira. No Tratamento 1 (Figura 6C), observa-se uma estrutura com pouca evidência visual de colonização fúngica. No Tratamento 2 (Figura 6D), há presença de estruturas filamentares (hifas fúngicas), sugerindo os primeiros indícios de colonização. O Tratamento 3 (Figura 6E) apresenta formação de micélio, o que indica um estágio de colonização ativa. Já no Tratamento 4 (Figura 6F), verifica-se um grau mais avançado de degradação, com a presença evidente de esporos fúngicos.

Com base nos estudos de Baldin *et al.* (2006), a análise das imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) no plano transversal das madeiras de *Eucalyptus grandis* permitiu observar variações de dano causado pela exposição ao fungo entre os diferentes tratamentos. Os autores relatam também que em determinadas amostras, a ação fúngica mostrou-se pouco perceptível, indicando uma possível resistência ou menor intensidade de colonização nessas condições.

Na figura 7 as imagens A e B, que representam a madeira em seu estado natural e o ensaio sem inoculação de fungos, respectivamente, consegue-se observar as estruturas celulares intactas, e visualização dos elementos anatômicos, como fibras e parênquima axial, além da ausência de material filamentoso. Já nas imagens 7C, 7D e 7E, é possível visualizar hifas fúngicas aderidas às paredes celulares da madeira, evidenciando diferentes estágios de colonização. A imagem 7D, em particular, apresenta um acúmulo mais expressivo de micélio, o que indica um avanço no processo de colonização fúngica. Na imagem 7F, observa-se uma menor incidência de hifas, permitindo uma visualização mais clara e preservada da estrutura anatômica da madeira.

Na Figura 8, é possível ver os detalhes da figura 7F, que se refere ao tratamento 4, propiciando melhor visualização dos esporos fúngicos obtido pelo MEV com aumento de 1000 vezes.

Figura 8 – Visualização de esporos fúngicos na madeira do tratamento 4 no aumento de 500 (A) e 1000 vezes (B).



Fonte: A autora (2025)

A variabilidade entre os tratamentos demonstra diferentes graus da agressividade do fungo, aspecto também discutido por Cruz (2019), que enfatiza como a interação entre fungo e madeira depende tanto da espécie do microrganismo quanto da composição química e anatômica do substrato lignocelulósico.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que os fungos xilófagos bioprospectados no cerrado causam impacto significativamente sobre as propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp.. O tratamento 1 obteve a maior perda de densidade e alterações estruturais, enquanto o tratamento 2 apresentou menor degradação, possivelmente devido à ação antagonista de *Trichoderma* sp.. As análises físicas revelaram variações significativas na densidade básica e aparente da madeira, e as observações microscópicas confirmaram a redução do diâmetro dos vasos nos tratamentos inoculados e evidenciou a ação dos fungos na estrutura anatômica da madeira. Os resultados encontrados no presente estudo são promissores, no entanto, torna-se necessário a realização de estudos adicionais, se atentando principalmente no ajuste do pH às condições da norma, além da utilização de corpos de prova com menor densidade básica inicial, a fim de se promover melhores condições para a avaliação dos fungos em questão.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 11941**: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM D 2017**: standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. West Conshohocken, 2005.

AWPA - American Wood Protection Association. **AWPA E10-16**: Laboratory method for evaluating the decay resistance of wood-based materials against pure basidiomycete cultures: soil/block test. Standard E10-16. Book of Standards. American Wood Protection Association Birmingham, AL, 2016.

ANDRADE, F. W. C.; TOMAZELLO F. M.; MOUTINHO, V. H. P. Influence of wood physical properties on charcoal from *Eucalyptus* spp. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, p. e20150176, 2018.

BALDIN, T. *et al.* Resistência biológica de madeiras tratadas com extratos naturais de *Hovenia dulcis* Thunb. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2022. **Anais** [...]. Universidade Federal de Minas Gerais, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/61618>. Acesso em: 1 maio 2025.

BARBOSA, P. C. M. **Aplicações arquitetónicas de um sistema modular pré-fabricado de madeira**. 2023. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis) – Universidade do Minho, Braga, 2023. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/86693>. Acesso em: 30 abr. 2025.

CAMARGO, T. F. **Resistência natural das madeiras de *Liquidambar styraciflua* L. e *Pinus patula* Schiede ex Schltl. & Cham ao ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/202301>. Acesso em: 1 maio 2025.

CAROLLO, E. M. *et al.* **Manual básico de técnicas fitopatológicas: laboratório de fitopatologia**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2016.

CARVALHO, D. E. *et al.* Resistência natural de quatro espécies florestais submetidas a ensaio com fungos apodrecedores. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 271-276, 2015.

CCA - CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS. **Teste de Tukey**. Universidade Federal de São Carlos, 2009. Disponível em: <https://www.cca.ufscar.br/pt-br/servicos/teste-de-tukey>. Acesso em 08 ago.2024.

CRUZ, N. D. **Biossíntese e caracterização de nanopartículas de óxido de cobre (CuO) e óxido de zinco (ZnO) mediada por extratos foliares de *Eucalyptus* spp.** 2019. 104 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufpel.edu.br/bitstream/handle/prefix/9123/TESE\\_NIDRIA%20DIAS%20CRUZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufpel.edu.br/bitstream/handle/prefix/9123/TESE_NIDRIA%20DIAS%20CRUZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 30 abr. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Eucalipto**. Brasília, DF:.

FARIAS, S. M. A. P. *et al.* Degradação biológica e a durabilidade natural de espécies florestais da Amazônia em campo de apodrecimento no Acre. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 4, p. e10112440990-e10112440990, 2023.

FORMIGA, M. L. F. **A atuação do assistente social na atenção básica de saúde: desafios e perspectivas**. 2024. 120 f. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.bdtd.uerj.br:8443/bitstream/1/23611/2/Dissertação%20-%20Mikaella%20Lucia%20Felix%20Formiga%20-%20202024%20-%20Completa.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2025.

GAO, S. *et al.* A critical analysis of methods for rapid and nondestructive determination of wood density in standing trees. **Annals of Forest Science**, v. 74, n. 27, p. 1–13, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-017-0623-4>. Acesso em: 29 abr. 2025.

LUAN, Y. *et al.* Wood mechanical densification: a review on processing. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 37, n. 4, p. 359-371, 2022.

MENDES, A. S.; ALVES, M. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. IBDF. Departamento de Pesquisa. Laboratório de Produtos Florestais, 1988.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira**: Biodegradação da madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, v. 1, n. 4, abr., 2013.

NISGOSKI, S. **Apostila de Anatomia da Madeira** – 2º Período. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2016. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassilvana/APOSTILA-ANATOMIA-2P-2016.pdf>. Acesso em: 1 maio 2025.

OLIVEIRA, J. T. S.; BORGES, L. M.; BRITO, J. O. **Qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones e *Eucalyptus***. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 31, n. 4, p. 517–526, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/LsCyNGMqKdsbJ8NtXqXDZFn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 maio 2025.

OLIVEIRA, J. T. S. *et al.* Influência dos extractivos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

OLIVEIRA, J.T.S. *et al.* Parâmetros quantitativos da anatomia da madeira de eucalipto que cresceu em diferentes locais. **Revista Árvore**, v.36, n.3, p.559-567, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/MYmwCCbKKTfctvMhysqqw8F/?format=pdf&lang=pt#:~:text=O%20diâmetro%20dos%20vasos%20variou,entre%205%20e%20100%2Fmm2>. Acesso em: 01 mai. 2025.

OLIVEIRA, L. S.; MÜLLER, M. T. **Agentes de biodeterioração da madeira**. Universidade Federal de Pelotas, 2024. *E-book*. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/xmlui/handle/prefix/14267>. Acesso em: 30 abr. 2025.

PIMENTEL, D. C. **Avaliação de coquetéis enzimáticos fúngicos para degradação de madeira de eucalipto.** 2023. 97 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Viçosa, MG, 2023. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/db71ccb6-c156-4c5e-9546-08298a6e9efa/content>. Acesso em 30 abr. 2025.

REMADE – Revista da Madeira. **A madeira de Eucalipto**, p. 1-3, set.2002. Disponível em: [https://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=10&subject=Eucalipto&title=A%20Madeira%20de%20Eucalipto](https://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=10&subject=Eucalipto&title=A%20Madeira%20de%20Eucalipto). Acesso em: 30 nov. 2023.

SANTOS, N. A. **Eficácia da técnica tradicional de proteção de madeiras denominada Shou sugi ban contra a ação de fungos xilófagos na madeira pinus em condição de laboratório.** 2023. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/15753>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SILVA, A. N. C. *et al.* Seleção, in vitro, de isolados de *Trichoderma* como potenciais agentes de controle biológico de fungos fitopatogênicos. **International Journal of Agrarian Sciences**, v. 4, n. 2, p. 19-35, 2024.

SILVA, L.F. **Capacidade de deterioração de cepas de *Eucalyptus* spp. por fungos xilófagos.** 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Jerônimo Monteiro, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/d9a6fbff-761a-45e9-9b05-bff1d11e5f50/content>. Acesso em: 29 abr. 2025.

STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F.; PASTORE, T. C. M.; DEL M., C. H. S.; MELO, R. R.; GARLET, A. Molhabilidade da madeira de três espécies amazônicas submetidas a ensaios de apodrecimento acelerado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 266–272, 2013. DOI: 10.5039/agraria.v8i2a2296. Disponível em: <https://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v8i2a2296>. Acesso em: 1 maio 2025.

WHEELER, E. A.; BAAS, P.; GASSON, P. E. IAWA list of microscopic features for hardwood identification: with an appendix on non-anatomical information. Leiden: **International Association of Wood Anatomists**, 1989. Reimpresso de: IAWA Bulletin, n.s., v. 10, n. 3, p. 219–332. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/294088872\\_IAWA\\_List\\_of\\_Microscopic\\_Features\\_for\\_Hardwood\\_Identification](https://www.researchgate.net/publication/294088872_IAWA_List_of_Microscopic_Features_for_Hardwood_Identification). Acesso em: 1 maio 2025.

ZANATTO, B. **Aspectos fisiológicos, bioquímicos, morfológicos, anatômicos e condutividade hidráulica associados à tolerância à seca em genótipos de *Eucalyptus* spp.** 2022. Tese (Doutorado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/c254d885-8533-4820-9bec-7494bc9880a4>. Acesso em: 1 maio 2025.