

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

RAYANA CRISTINA SEVILHA

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DE FUNGOS PROSPECTADOS DO CERRADO EM
MADEIRAS DE *Eucalyptus* sp.**

**MONTE CARMELO
2025**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

RAYANA CRISTINA SEVILHA

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DE FUNGOS PROSPECTADOS DO CERRADO EM
MADEIRAS DE *Eucalyptus* sp.**

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^a. Regina Maria Gomes

**MONTE CARMELO
2025**

RAYANA CRISTINA SEVILHA

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DE FUNGOS PROSPECTADOS DO CERRADO EM
MADEIRAS DE *Eucalyptus* sp**

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 2025.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Regina Maria Gomes
Orientadora / ICIAG - UFU

Dra. Aline Gonçalves Spletozer
(ICIAG – UFU)

Anna Caroline Costa Fanalli
(Engenheira Florestal)

**MONTE CARMELO
2025**

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio e incentivo de pessoas especiais que estiveram ao meu lado durante toda essa jornada.

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais Sérgio e Sônia e à minha família, por todo amor, paciência, apoio incondicional e por acreditarem em mim mesmo nos momentos em que eu mesma duvidei. Vocês são minha base e minha maior inspiração.

Aos professores que contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal, deixo minha gratidão pelo conhecimento compartilhado e pela dedicação ao longo do curso.

Em especial, agradeço à Professora Regina, minha orientadora, por sua orientação cuidadosa, por cada conselho, correção e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho, sua contribuição foi essencial.

Aos meus amigos que tornaram essa caminhada mais leve, principalmente Izadora, Lauane e Thiago, que cada um ao seu modo, esteve presente em momentos importantes oferecendo apoio, amizade e boas risadas que fizeram toda a diferença.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a ação degradadora de fungos isolados do bioma Cerrado sobre a madeira de *Eucalyptus* sp., por meio de ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório. Foram utilizados quatro isolados fúngicos (T1 a T4) e um tratamento testemunha, e analisou-se a perda de massa e alterações na composição química da madeira após 12 semanas de incubação em câmara de demanda bioquímica de oxigênio - BOD. Os corpos de prova foram submetidos à caracterização química e física antes e após o ensaio, incluindo determinação da densidade básica, teor de extrativos, teores de lignina (solúvel e insolúvel) e teor de holocelulose. A perda de massa variou entre 6,10% e 6,72%, sem diferença estatística significativa entre os tratamentos. Embora o tempo de exposição de 12 semanas esteja de acordo com o recomendado na literatura, os resultados sugerem que, nas condições do ensaio, esse período pode não ter sido suficiente para evidenciar diferenças mais expressivas entre os tratamentos. Por outro lado, as análises químicas apontaram uma redução significativa nos teores de lignina total nos tratamentos com fungos, com destaque para o T1, que apresentou redução de 29,66% para 13,59%. Esse resultado indica atividade lignolítica dos isolados, mesmo na ausência de grande perda de massa. Além disso, os teores de holocelulose aumentaram nos tratamentos com fungos, especialmente em T1 (75,12%), possivelmente devido à degradação seletiva da lignina. Conclui-se que, embora a perda de massa não tenha diferido entre os tratamentos, os fungos demonstraram capacidade de modificar a estrutura química da madeira, com destaque para a degradação preferencial da lignina.

Palavras-chave: Degradação fúngica; Apodrecimento acelerado; Composição química da madeira.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the degrading action of fungi isolated from the Cerrado biome on *Eucalyptus* sp. wood through an accelerated laboratory decay test. Four fungal isolates (T1 to T4) and one control treatment were used, and mass loss and changes in the chemical composition of the wood were analyzed after 12 weeks of incubation in a biochemical oxygen demand (BOD) chamber. The wood samples were subjected to physical and chemical characterization before and after the test, including determination of basic density, extractives content, lignin content (soluble and insoluble), and holocellulose content. Mass loss ranged from 6.10% to 6.72%, with no statistically significant differences among treatments. Although the 12-week exposure period aligns with literature recommendations, the results suggest that, under the test conditions, this duration may not have been sufficient to reveal more expressive differences among the treatments. On the other hand, chemical analyses showed a significant reduction in total lignin content in the fungal treatments, especially in T1, which showed a decrease from 29.66% to 13.59%. This result indicates lignolytic activity of the isolates, even in the absence of substantial mass loss. Additionally, holocellulose content increased in the fungal treatments, particularly in T1 (75.12%), possibly due to selective lignin degradation. It is concluded that, although mass loss did not differ among treatments, the fungi demonstrated the ability to modify the chemical structure of the wood, with emphasis on the preferential degradation of lignin.

Keywords: Fungal degradation; Accelerated decay; Chemical composition.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA	17
3.2 COLETA E ISOLAMENTO DOS FUNGOS	18
3.3 COLETA, CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	22
3.4 ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA ANTES DO ENSAIO	29
4.2 SELEÇÃO DOS FUNGOS	30
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	32
4.4 PERDA DE MASSA APÓS ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO	34
4.5 COMPARAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA ANTES E APÓS O ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO	35
5 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

A exploração incessante da madeira no Brasil resultou na escassez de muitas espécies nativas, o que tem levado à busca por alternativas, incluindo o uso de madeira provenientes de reflorestamento com espécies exóticas. Entre as opções de espécies, destacam-se os gêneros *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., devido ao seu rápido crescimento e suas propriedades químicas (Paes; Moreschi; Lelles, 2005).

O gênero *Eucalyptus* spp. é amplamente cultivado no Brasil devido ao seu rápido crescimento, adaptabilidade a diferentes condições climáticas e múltiplas aplicações industriais. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2023), o país possui aproximadamente 5,5 milhões de hectares de plantios de eucalipto, destacando-se como um dos principais produtores mundiais. As espécies de *Eucalyptus* plantadas no país apresentam alta produtividade, alcançando média de 39m³/ha/ano, o que contribui para sua competitividade no mercado. Além disso, a madeira de eucalipto tem sido utilizada em diversos setores, como na produção de celulose, na construção civil, na movelaria e na geração de energia a partir de biomassa.

Grande parte das plantações de eucalipto no Brasil está localizada no bioma cerrado, que apresenta características edafoclimáticas específicas, como por exemplo os solos desse bioma que são predominantemente do tipo Latossolo. Estes solos são altamente intemperizados, com baixa fertilidade natural, elevados teores de alumínio e pH ácido, geralmente abaixo de 5,5 (Santos *et al.*, 2013). Essa acidez limita a disponibilidade de nutrientes e influencia diretamente o desenvolvimento das culturas florestais, sendo necessária, frequentemente, a aplicação de corretivos como o calcário para viabilizar o plantio e otimizar a produtividade (Machado; Silva, 2001).

A madeira, embora venha sendo empregada em múltiplos usos, é um material de origem orgânica e, por isso, vulnerável ao ataque de fungos apodrecedores. Essa vulnerabilidade é especialmente acentuada quando a madeira está exposta a condições ambientais favoráveis, como alta umidade, temperaturas elevadas, variações de pH e presença de oxigênio. A intensidade da deterioração provocada por esses microrganismos pode variar conforme essas condições (Archer; Lebow, 2006).

A madeira de eucalipto possui durabilidade natural inferior quando comparada às espécies nativas (Paes; Moreschi; Lelles, 2005). Os agentes biológicos desempenham um papel crucial na decomposição da madeira, empregando seus componentes como fonte de energia e abrigo. Paralelamente, os fatores físicos e químicos operam em conjunto com os agentes biológicos, agilizando o processo de degradação. Dentro dessa gama de agentes os biológicos, os fungos

assumem uma importância primordial, visto que são responsáveis pela maior parcela dos danos causados à madeira (Moreschi, 2013). Quando a madeira é exposta à ação de fungos, ela pode sofrer diversos efeitos, como apodrecimento (causado por fungos apodrecedores, que degradam a lignina e os polissacarídeos, resultando em perda de massa, resistência mecânica e integridade estrutural), descoloração (provocada por fungos manchadores, que alteram a coloração sem comprometer a estrutura da madeira) e superfícies com bolor que são ocasionadas por fungos emboloradores, que crescem superficialmente e afetam a aparência, mas não a resistência da madeira (Santos, 1992).

Existem duas categorias de testes destinados a avaliar a resistência natural da madeira à ação de organismos deterioradores, que podem ser conduzidos tanto em ambientes laboratoriais quanto em campo, dependendo do objetivo específico (Ribeiro, et al., 2014). Dessa maneira, é de suma importância adotar as normas com o intuito compreender as distintas capacidades de ataque fúngico e as correspondentes perdas de massa em uma espécie de madeira exposta a diferentes tipos de fungos (Santos, 2015).

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de deterioração de fungos bioprospectados de área de cerrado em madeira de *Eucalyptus* spp. através da realização de ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar quais fungos demonstraram maior capacidade de deteriorar a madeira de *Eucalyptus* spp., medido através da perda de massa.
- Avaliar os teores de extrativos, lignina e holocelulose da madeira antes e após o processo de degradação provocado pelos fungos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

Para a realização do presente trabalho utilizou-se madeira comercial dos gêneros *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. A madeira de *Pinus* sp. foi utilizada somente para a confecção de porta fungos, com espessura de aproximante 5 mm conforme a norma da American Society for Testing and Materials - ASTM D-2017 (ASTM, 2005). Após confeccionados, a espessura dos porta fungos foram determinadas com o auxílio de um paquímetro. A madeira de *Eucalyptus* sp. foi utilizada para a confecção dos corpos de prova que apresentaram dimensões de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm, conforme as especificações da norma da ASTM D- 2017 (ASTM,2005).

A madeira de eucalipto empregada neste estudo foi caracterizada quanto à sua densidade básica inicial e composição química. A densidade básica dos corpos de prova foi determinada de acordo com a Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas- NBR ABNT11941 (ABNT, 2003), que define a relação entre massa seca e volume saturado da madeira. Foram realizadas 10 repetições, e os resultados foram expressos como a média aritmética, apresentada com quatro casas decimais, além do cálculo de desvio padrão e coeficiente de variação dos valores.

As análises dos constituintes químicos da madeira foram realizadas antes e após os ensaios de apodrecimento em laboratório. A preparação da madeira para a análise química foi realizada conforme a norma da Technical Association of the Pulp and Paper Industry -TAPPI T 257-cm-85 (TAPPI, 1985). Após a obtenção da serragem, determinou-se o teor absolutamente seco (teor a.s.), conforme a norma ABNT NBR 14660 (ABNT, 2004)

A serragem obtida foi utilizada para a realização das análises químicas da madeira, que incluíram determinação dos teores de extrativos, lignina solúvel, lignina insolúvel e lignina total e holocelulose.

Para a determinação do teor de extrativos solúveis em acetona presentes na madeira, foi empregada a norma ABNT NBR 14660 (ABNT, 2004). Os teores de lignina insolúvel e solúvel na madeira foram determinados pelos procedimentos conhecidos como “Método de Klason em miniamostra”, modificado por Gomide e Demuner (1986), e o método de Goldschimid (1971), respectivamente. A lignina total foi obtida por meio da soma dos teores de lignina solúvel (LS) e lignina insolúvel (LI), de acordo com a equação 1. Já o teor de holocelulose foi calculado pela média dos extrativos (Ext), juntamente com a média da lignina solúvel (LS) e a média da lignina insolúvel

(LI), conforme a equação 2.

$$\text{Lignina total (\%)} = LS + LI \quad (1)$$

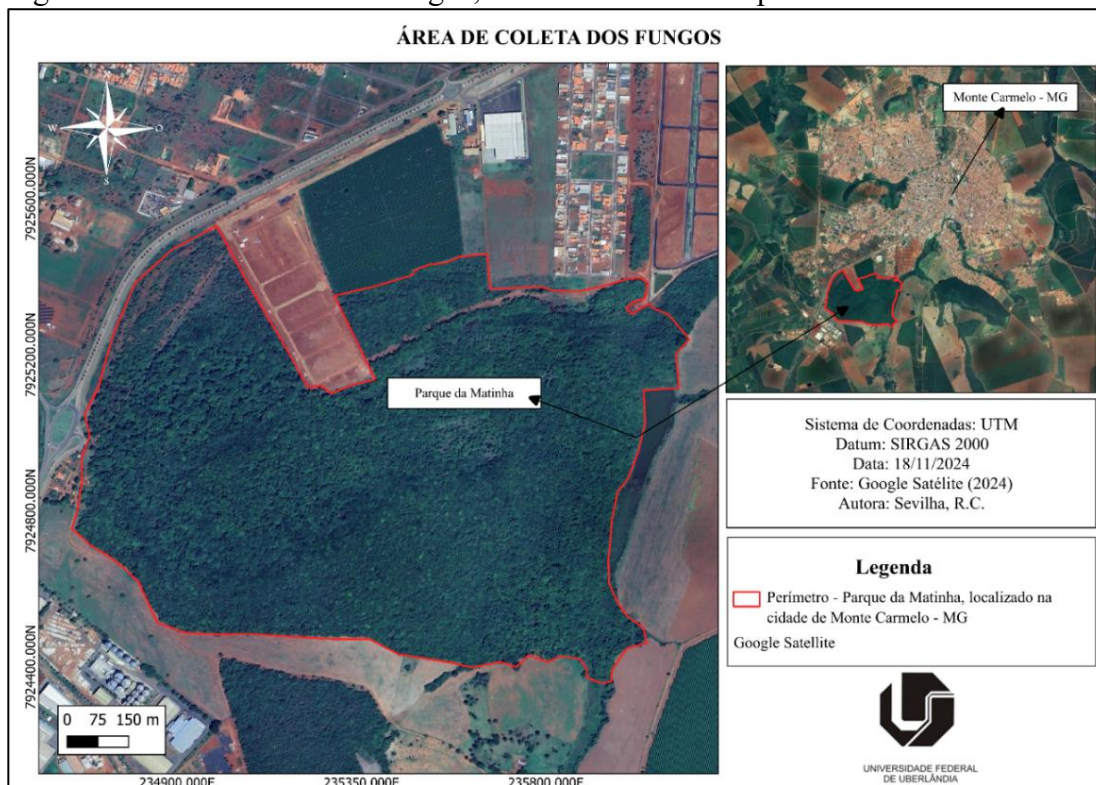
$$\text{Holocelulose (\%)} = 100 - (\text{Ext} + LI + LS) \quad (2)$$

A caracterização química da madeira antes e após o ataque do fungo foi realizada utilizando-se 05 repetições, e os resultados foram reportados como a média aritmética das repetições com duas casas decimais, bem como calculou-se desvio padrão e coeficiente de variação dos valores antes do ensaio e realizou-se a 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).

3.2 COLETA E ISOLAMENTO DOS FUNGOS

A coleta dos fungos foi realizada no Parque da Matinha, localizado na cidade de Monte Carmelo, estado de Minas Gerais (Figura 1).

Figura 1 - Área de coleta dos fungos, localizado no município de Monte Carmelo/MG



Fonte: UTM 23S

O Parque da Matinha, localizado em Monte Carmelo – MG, é um remanescente de vegetação do bioma Cerrado com fragmentos de Mata Atlântica. De acordo com a Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais (IDE-SISEMA, 2024) o relevo da área é caracterizado por um terreno plano e ligeiramente ondulado, típico da região do Planalto Arenítico-Basáltico.

No parque, a coleta dos fungos foi realizada ao longo da trilha que percorre a mata, na a trilha foram coletadas 19 espécies de fungos diferentes (Figura 2).

Figura 2 - Fungos coletados no Parque da Matinha



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

A coleta dos fungos foi realizada de forma manual, utilizando facas e canivetes para retirar as amostras da vegetação e do solo (Figura 3).

Figura 3 - Coleta dos fungos no Parque da Matinha



Fonte: Favaro, E.

Após a coleta, os fungos foram transportados para o Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo (LAMIF-UFU), onde foram submetidos ao isolamento direto. Para isso, pequenas porções do material contaminado foram colocadas em placas de Petri estéreis contendo meio de cultura Batata-Destroe-Ágar (BDA), com o objetivo de obter colônias fúngicas puras. Todos os procedimentos foram realizados em condições assépticas, a fim de evitar contaminações durante o cultivo. Esse tipo de isolamento permite o crescimento direto do fungo a partir do material original (Figura 3).

Figura 4 - Isolamento dos fungos em placa de petri estéreis



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

3.3 COLETA, CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A norma American Wood Protection Association E10-16 (AWPA, 2016) prevê que a realização do ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório seja realizado utilizando solo como substrato para a realização do experimento. A coleta do solo empregado no presente trabalho foi realizada nas instalações da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, localizado na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (Figura 5).

Figura 5 - Mapa da cidade de Monte Carmelo contendo a Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo.



Fonte: Google Earth Pro.

Após a coleta, o solo foi classificado conforme a norma AWWA E10-16 (AWWA, 2016). Este procedimento foi conduzido no Laboratório de Física do Solo, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo.

Para a classificação do solo, os aglomerados foram quebrados, e somente a fração que ficou retida entre as peneiras de malha 5 e 10 mesh foram utilizadas. Após a classificação, o solo foi armazenado em um recipiente coberto. Durante o peneiramento, o solo não foi umedecido, evitando que as partículas ficassem agregadas novamente.

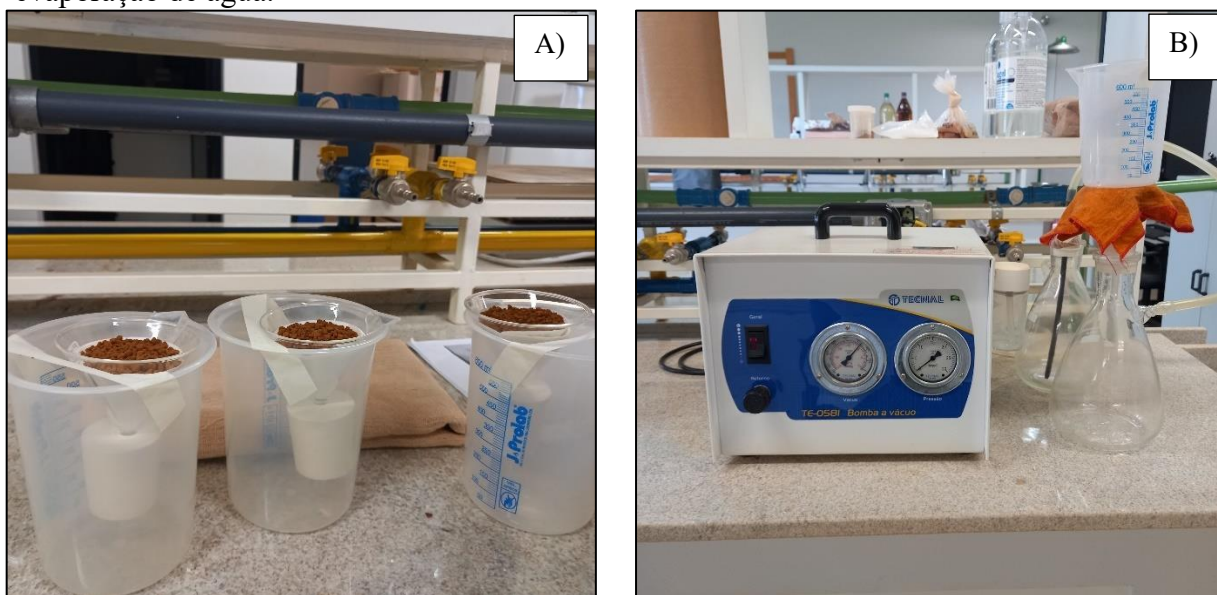
Após classificado, o solo foi caracterizado quanto à sua capacidade de retenção de água e pH. A capacidade de retenção de água foi determinada pela porcentagem de água que o solo consegue manter após passar por um procedimento adaptado do método de Bouyoucos (1935), citado na norma por AWWA E10-16 (AWWA, 2016). O solo seco foi compactado em um funil de 50 mm de diâmetro e 25 mm de profundidade, equipado com papel de filtragem rápida. O funil foi posicionado sobre um copo e água foi adicionada até que ficasse ligeiramente acima do papel de filtro. O solo absorveu a água por capilaridade, e mais água foi adicionada até o nível do copo igualar o do funil (Figura 6a). Após a imersão, o funil foi aspirado por 15 minutos para evitar a evaporação da água (Figura 6b). Em

seguida, o solo foi pesado molhado (W1) e seco a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até peso constante (W2). A capacidade de retenção de água (CRA) foi calculada conforme a equação 3.

$$CRA = \frac{W1-W2}{W2} * 100 \quad (3)$$

O procedimento foi repetido três vezes, os resultados foram reportados como a média aritmética das repetições com duas casas decimais, e calculou-se desvio padrão e coeficiente de variação dos valores.

Figura 6 - A) Processo de capacidade de retenção de água. B) Processo de aspiração para evitar evaporação de água.



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

A determinação do pH do solo foi realizado pelo método do pH em água, no qual uma amostra de solo seco e peneirado foi misturada com água destilada. Após agitação e repouso, a leitura foi feita utilizando um pHmetro. O procedimento foi repetido três vezes, os resultados foram reportados como a média aritmética das repetições com duas casas decimais, bem como calculou-se desvio padrão e coeficiente de variação dos valores.

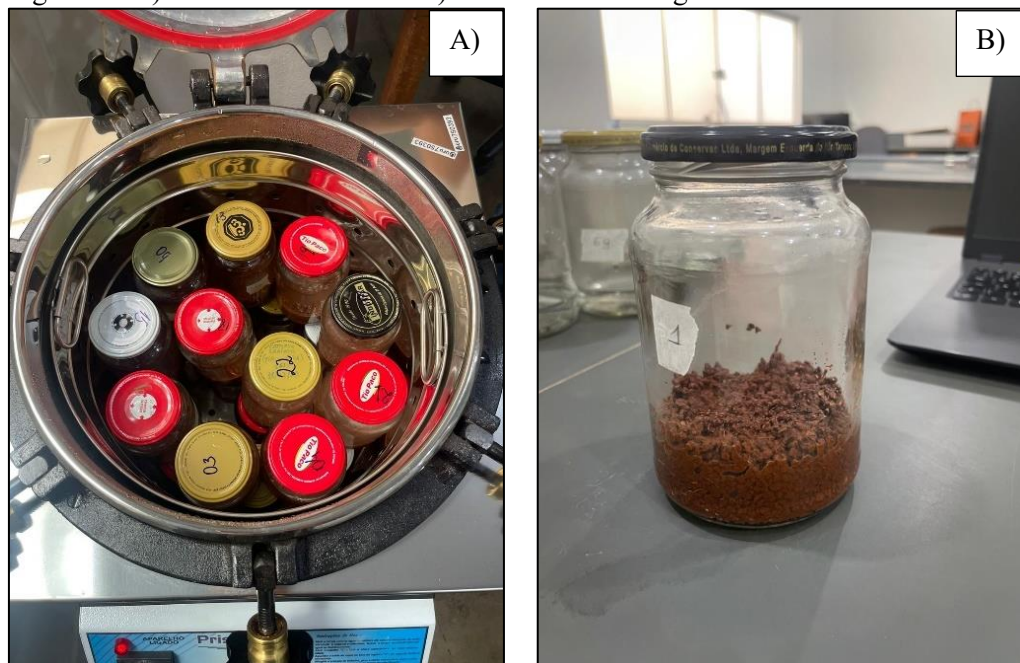
3.4 ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO

O ensaio de apodrecimento da madeira foi conduzido de acordo com a norma AWPA E-10-16

(AWPA, 2016), onde se utilizou potes de vidro transparentes de 600 ml como recipientes. Esse ensaio foi conduzido no Laboratório de Melhoramento e Sementes Florestais da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo..

Inicialmente, os potes utilizados foram lavados, secos e pesados. Em seguida, foram adicionados 75 ml de água destilada e 118 gramas de solo em cada porte. Os potes com água e solo foram colocados em autoclave para esterilização (Figura 7a). Após o processo na autoclave, os potes foram pesados mais uma vez, e a diferença de peso foi utilizada para calcular a quantidade de água destilada e estéril necessária para reestabelecer o volume inicial (Figura 7b).

Figura 7 - A) Potes em Autoclave. B) Potes com solo e água



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

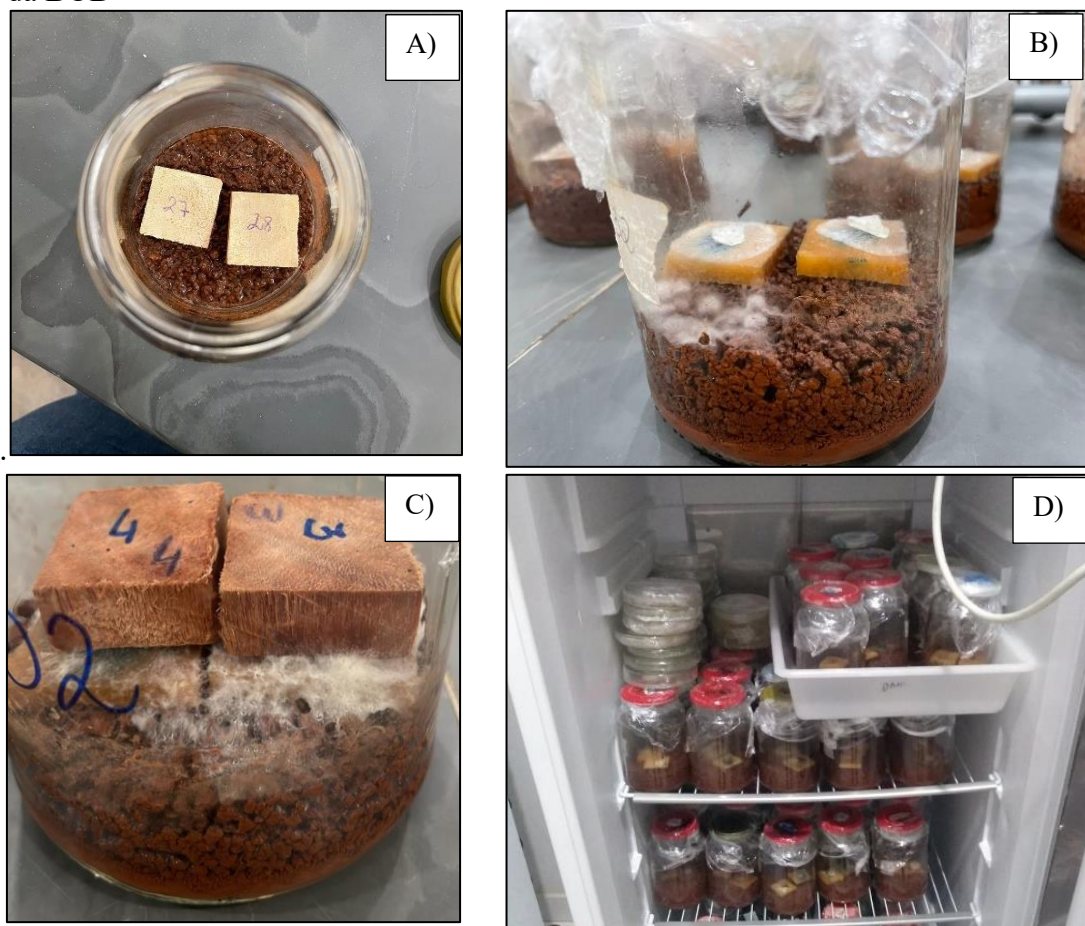
Os porta-fungos de madeira de pinus e os corpos de prova de eucalipto, foram identificados e foram secos ao ar até alcançarem o peso constante e que foi registrado como o peso inicial. Posteriormente, os corpos de prova foram imersos em água e submetidos a vácuo para remoção de bolhas de ar por um período de 30 minutos e pesados novamente. Eles foram então embalados, pesados e foram esterelizados em autoclave. Após a esterilização, os corpos de prova foram pesados mais uma vez, este valor foi utilizado para a determinação da perda de massa e foi denominado de S3.

Para a inoculação dos fungos, os porta fungos estéreis foram colocados nos potes contendo solo e água, também estéreis (Figura 8a). Em seguida, as culturas fúngicas obtidas previamente foram

inoculadas nos porta fungos com o auxílio de material estéril, para tal procedimento se utilizou capela de fluxo. Após a inoculação, aguardou-se duas semanas para o crescimento do fungo (Figura 8b).

Após o crescimento das colônias fungícas sobre os porta fungos, inseriu-se os corpos de prova de eucalipto estérís sobre os porta fungos utilizado (Figura 8c). Os potes foram fechados e lacrados com papel filme e mantidos em uma câmara climatizada do tipo Demanda Bioquímica do Oxigênio - BOD pelo período total de três meses, com acompanhamento realizado a cada quatro dias. Durante essas inspeções, os potes eram rotacionados para garantir condições uniformes de crescimento do fungo (Figura 8d).

Figura 8 - A) Pote com solo, água e o porta fungo. B) Porta fungo após duas semanas inoculado. C)Corpos de prova posicionados sobre os porta fungos. D) Potes dentro da BOD



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

Ao final do experimento, os corpos de prova foram removidos dos potes com o auxílio de pinças, lavados com água destilada para remover o excesso de fungo. Em seguida, as amostras de

madeira atacadas foram secas até peso constante, seus pesos finais foram registrados e denominados de S4. A perda de massa dos corpos de prova foi calculada utilizando a equação 4.

$$\text{Perda de Massa (\%)} = \frac{(S3-S4)}{S3} * 100 \quad (4)$$

Posteriormente, os corpos de prova foram preparados para análises químicas, conforme descrito no item 3.1, incluindo a determinação do teor absolutamente seco (a.s.), extrativos, lignina solúvel e insolúvel, e holocelulose. Os resultados foram expressos como média aritmética de cinco repetições, com duas casas decimais.

O experimento foi conduzido como um delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos, a saber: quatro tratamentos com isolados fúngicos (T1, T2, T3 e T4) e um tratamento testemunha. Todos os ensaios foram realizados com 20 corpos de prova.

Os valores de perda de massa e da caracterização química da madeira antes e após o ensaio laboratorial 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 entre as médias dos tratamentos, utilizando a planilha disponibilizada pelo Centro de Ciências Agrárias da UFSCar (CCA,2009). Para a análise estatística da perda de massa utilizou-se as vinte repetições. Para a realização da análise estatística dos parâmetros químicos da madeira utilizou-se uma amostra composta para a madeira antes do ensaio e também para cada tratamento, o ensaio foi realizado com cinco repetições para cada amostra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA ANTES DO ENSAIO

A caracterização da madeira foi realizada antes da exposição ao fungo, sendo denominada como ‘antes do ensaio’. Nesse estágio, foram analisados os parâmetros: densidade básica, teores de extrativos solúveis em acetona, lignina solúvel, insolúvel, total e holocelulose. (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização da madeira antes do ensaio quanto à sua densidade básica e composição química

Parâmetros	Unidade	Média	C.V.	Desvio Padrão
Densidade básica	(g.cm ⁻³)	0,7720	2,00	0,01
Teor de Extrativos	(%)	12,32	9,71	1,20
Lignina Solúvel	(%)	0,89	17,83	0,16
Lignina Insolúvel	(%)	28,77	0,51	1,76
Lignina Total	(%)	29,66	0,59	2,01
Holocelulose	(%)	58,02	-	-

Fonte: A Autora.

A madeira analisada antes do ensaio apresentou densidade básica de 0,7720 g.cm⁻³, e o teor de extrativos atingiu 12,32%. Os teores de lignina solúvel, insolúvel e total foram de 0,89%, 28,77% e 29,66%, respectivamente, enquanto a holocelulose correspondeu a 58,02% da composição química.

O resultado de 0,772 g.cm⁻³ de densidade básica obtido no presente trabalho indica que a madeira analisada apresenta densidade básica acima da média relatada por Guimarães et al. (2013) para *Eucalyptus cloeziana* (0,730 g.cm⁻³) e se enquadra na categoria de alta densidade, conforme a classificação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1985), que considera como densas as madeiras com valores superiores a 0,72 g.cm⁻³. Ao se comparar esse valor com espécies nativas do cerrado estudadas por Santos (2008), observa-se que o valor obtido está dentro da faixa apresentada (0,58 a 0,82 g.cm⁻³), aproximando-se dos valores mais elevados, como os de *Pterodon pubescens* (0,82 g.cm⁻³), *Dalbergia miscolobium* (0,80 g.cm⁻³) e *Sclerolobium paniculatum* (0,78 g.cm⁻³), que foram as espécies com maior densidade no estudo.

O teor de extrativos obtido neste estudo, que foi de 12,32%, é um valor considerado elevado para espécies de eucalipto quando comparado à faixa normalmente relatada para madeiras do mesmo gênero que segundo Silvério et al. (2016) que varia de 4% a 10%. O elevado teor de extrativos encontrado sugere maior durabilidade natural, resistência biológica e menor higroscopicidade, resultando em maior estabilidade dimensional, sendo vantajoso em aplicações que exigem resistência

a variações climáticas (Hillis, 1987).

Quanto aos teores de lignina, os valores obtidos neste trabalho estão dentro da faixa apresentada por Guimarães et al. (2013), que registraram teores de lignina total entre 27,27% e 32,75% para madeiras de eucalipto, e por Santos (2008), com variações de 25,16% e 32,31%, em estudo com madeiras nativas do cerrado.

O teor de holocelulose obtido neste trabalho foi inferior à faixa geralmente encontrada em espécies de eucalipto, que varia entre 60% e 70% (Neves et al., 2011; Gomide; Fantuzzi; Regazzi, 2010). Estudos indicam que os fungos xilófagos iniciam a degradação da madeira preferencialmente pelos carboidratos estruturais, como as hemiceluloses. Silva et al. (2014) observaram que fungos isolados de *Eucalyptus* spp. causaram degradação de componentes da madeira, incluindo hemiceluloses, ainda que a redução no teor de holocelulose tenha sido discreta.

4.2 SELEÇÃO DOS FUNGOS

Durante a coleta realizada no Parque da Matinha, em Monte Carmelo – MG, foram coletadas 19 amostras de fungos, distribuídas ao longo da trilha que percorre o parque. No entanto, após o processo de isolamento no laboratório, apenas 4 dessas amostras apresentaram crescimento significativo em placas de Petri, sendo selecionadas para o estudo.

Esses fungos selecionados são os que melhor se desenvolveram nas condições oferecidas, sendo, portanto, os mais indicados para a análise da atividade degradadora sobre a madeira (Figura 9 A, B, C e D).

Figura 9 - Fungos seleccionados para o estudo. A) Tratamento 1, B) Tratamento 2, C) Tratamento 3 e D) Tratamento 4.



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

A seleção considerou o vigor do crescimento micelial e a adaptação às condições do meio de

cultivo, seguindo protocolos de esterilização para minimizar contaminações. No entanto, mesmo com os cuidados adotados, o Tratamento 2 apresentou contaminação por *Trichoderma* sp., o que interferiu na análise isolada desse microrganismo (Figura 10). Optou-se por manter a análise deste tratamento visando avaliar o efeito do *Trichoderma* sp. na perda de massa e nas alterações da composição química da madeira, uma vez que este fungo apresenta atividade lignocelulolítica comprovada e capacidade de degradar componentes da parede celular vegetal (Dias, 2011).

Figura 10 - Tratamento 2 contaminado por *Trichoderma* sp.



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

No entanto, segundo Leighton e Schmidt (2015), a obtenção de culturas puras a partir de amostras coletadas em campo, é frequentemente dificultada pela presença de diversos microrganismos competidores, além da sensibilidade das espécies de fungos às condições ambientais.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A caracterização do solo foi realizada antes da exposição aos fungos, sendo analisados os

parâmetros capacidade de retenção de água (CRA %) e o pH do solo, uma vez que essas características podem influenciar o desenvolvimento microbiano. A Tabela 2 apresenta os valores médios obtidos para cada variável, acompanhados do coeficiente de variação (C.V.%) e do desvio padrão (D.P.).

Tabela 2 - Resultados da determinação de pH e capacidade de retenção de água do solo (CRA)

Parâmetro	Média	C.V. (%)	D.P.
pH	4,82	0,63	0,03
CRA (%)	28,26	1,16	0,33

Fonte: A Autora.

O valor médio de pH do solo foi de 4,82 com um desvio padrão de 0,03 e um coeficiente de variação de 0,63%, indicando baixa variabilidade entre as amostras. De acordo com a classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997), esse pH indica que o solo é fortemente ácido, já que está entre 4,3 e 5,3, o que pode influenciar a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana (Pavinato; Rosolem, 2008). Esse valor é um pouco abaixo do ideal para ensaios de degradação fúngica, conforme a norma AWWA (2016) que recomenda um pH entre 5 e 8 para que os fungos se desenvolvam melhor, no entanto, optou-se por não se realizar a correção do pH, visando simular a ação dos fungos em condições de solo de cerrado.

A acidez do solo exerce influência direta sobre a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana. De acordo com Sousa e Lobato (2007), solos com pH inferior a 5,5 tendem a apresentar elevada saturação por alumínio, o que pode comprometer o crescimento de microrganismos e raízes. No entanto, esse resultado era esperado, visto que os solos do bioma cerrado são naturalmente ácidos, devido a fatores como intensa lixiviação, baixa fertilidade natural e predominância de material parental pobre em bases (Melo; Silva, 2008).

O pH do ambiente é um fator determinante para a colonização e desenvolvimento dos fungos, pois afeta os processos fisiológicos, como a produção de enzimas e a absorção de nutrientes. Fungos filamentosos, em geral, têm um crescimento ideal em faixas de pH entre 4,0 e 6,5 o que os torna mais ativos em substratos com acidez moderada a elevada, como os encontrados nos solos do cerrado (Bazzo, 2022). O pH do solo regula a diversidade e atividade de fungos, impactando diretamente o metabolismo, a produção de enzimas e a decomposição da matéria orgânica (Smith; Read, 2008).

Quanto à capacidade de retenção de água, foi obtida uma média de 28,26%, com desvio padrão de 0,33% e coeficiente de variação de 1,16%, o que demonstra consistência entre as amostras

analisadas. Conforme Brady e Weil (2013), solos com maior capacidade de retenção hídrica tendem a favorecer a atividade microbológica, estimulando a decomposição da matéria orgânica e melhorando a disponibilidade de nutrientes no solo.

4.4 PERDA DE MASSA APÓS ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO

Após o ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório os corpos de prova foram avaliados quanto à perda de massa provocada pelos isolados fúngicos T1, T2, T3 e T4, além do tratamento testemunha (sem fungo). A análise de variância (ANOVA) aplicada aos dados de perda de massa indicou que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$), conforme apresentado na Tabela 3. Apesar das variações numéricas observadas, os tratamentos não diferiram entre si quanto à perda de massa após o ensaio. Assim sendo, todos os tratamentos foram classificados dentro do mesmo grupo estatístico, conforme indicado pelas letras “ns” (Tabela 4).

Tabela 3 – ANOVA Perda de Massa

Fonte da variação	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Tratamentos	4	5,55	1,39	0,83	0,5090
Resíduo	95	158,81	1,67		
Total	99	164,37			

Nível de significância: *: 5%

Fonte: A Autora.

Tabela 4 – Médias de perda de massa dos tratamentos.

Tratamentos	Médias	Significância
Testemunha	6,67	ns
T1	6,44	ns
T2	6,10	ns
T3	6,72	ns
T4	6,26	ns

ns: Médias seguidas por essa sigla não apresentam diferenças significativas pela ANOVA ao nível de 5% de significância.

Fonte: A Autora.

A análise dos resultados indicou que, em todos os tratamentos, as médias de perda de massa variaram entre 6,10% e 6,72%, sem diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabela 4). Isso indica que, apesar da inoculação de diferentes fungos, não houve uma degradação suficiente distinta entre os tratamentos.

A ausência de diferenças significativas (ns) entre os tratamentos pode estar relacionada ao

período de incubação de apenas 3 meses. Conforme a norma ASTM D-2017 (2005) e estudos como Monteiro (1997) ensaios de degradação acelerada em laboratório geralmente requerem períodos de no mínimo a 12 semanas para detectar variações significativas.

O pH inicial do solo também pode ter contribuído para os resultados não significativos, uma vez que a atividade ótima de fungos decompositores ocorre em meio ácido (pH 4,5-6,0), segundo Castro (2018). Valores próximos à neutralidade ou alcalinidade podem inibir a ação enzimática desses microrganismos, como demonstrado por Ruegger (2001). Assim, além do tempo limitado de incubação, as condições do solo natural podem explicar porque não houve diferenças significativas.

Além disso, estudos como o de Silva (2014) demonstram que madeiras com teores de lignina acima de 28% podem ter perdas de massa inferiores a 8% após 90 dias de exposição a fungos, mesmo em condições ideais de umidade (80-85%).

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA ANTES E APÓS O ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO

Os valores médios dos parâmetros químicos (extrativos, ligninas e holocelulose) por tratamento constam na Tabela 6, com os resultados do teste de Tukey (nível de 5% de significância) para todos os componentes exceto holocelulose, evidenciando diferenças estatísticas entre os tratamentos nos demais casos.

Tabela 5 – Análise de variância (ANOVA) para os parâmetros químicos da madeira antes e após o ensaio de apodrecimento acelerado

<i>Parâmetro: Teor de Extrativos</i>					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Prob {> F}
Tratamentos	5	101,98	20,40	40,82	0,0000**
Resíduo	24	11,99	0,50		
Total	29	113,97			
<i>Parâmetro: Lignina Solúvel</i>					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Prob {>F}
Tratamentos	5	0,81	0,16	6,36	0,0007**
Resíduo	24	0,61	0,03		
Total	29	1,42			
<i>Parâmetro: Lignina Insolúvel</i>					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Prob {> F}
Tratamentos	5	908,11	181,62	591,43	0,0000**
Resíduo	24	7,37	0,31		
Total	29	915,48			
<i>Parâmetro: Lignina Total</i>					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Prob {> F}
Tratamentos	5	957,08	191,42	590,26	0,0000**
Resíduo	24	7,78	0,32		
Total	29	964,87			

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

Fonte: A Autora.

Tabela 6 – Médias dos parâmetros químicos da madeira antes (AE) e após o ensaio de apodrecimento acelerado para os diferentes tratamentos

Tratamento	Teor Extrativos (%)	Teor Lignina Solúvel (%)	Teor Lignina Insolúvel (%)	Teor Lignina Total (%)	Teor Holocel.(%)
AE	12,32 b	0,89 a	28,77 a	29,66 a	58,02
Testemunha	15,05 a	0,60 ab	20,14 b	20,74 b	64,21
T1	11,29 b	0,43 b	13,16 d	13,59 d	75,12
T2	15,64 a	0,44 b	13,46 d	13,90 d	70,47
T3	15,61 a	0,45 b	15,22 c	15,67 c	68,72
T4	16,14 a	0,66 ab	14,80 c	15,46 c	68,40

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

Fonte: A Autora.

Os resultado obtidos apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos analisados. Os teores de extrativos, apresentaram aumento considerável nos tratamentos Testemunha (15,05%), T2 (15,64%), T3 (15,61%) e T4 (16,14%) quando comparados à madeira AE (12,32%). Já o tratamento T1 apresentou um teor inferior (11,29%), sendo o único entre os tratamentos a apresentar valor médio menor que a madeira AE.

Um aspecto interessante foi o alto valor observado na testemunha, o que sugere que parte desse aumento pode estar relacionado não apenas à ação fúngica, mas também às diferentes condições do ensaio em relação à madeira antes do ensaio (AE), como o tempo de incubação, umidade, ou processos de preparação das amostras, que podem ter favorecido a liberação ou concentração de certos compostos.

Em relação à lignina solúvel, observou-se uma leve redução nos tratamentos T1, T2 e T3, em comparação à madeira antes do ensaio. De acordo com Maciel (2020), os fungos de podridão branca, como *Trametes versicolor*, iniciam a degradação da lignina pelas frações mais acessíveis, especialmente as solúveis, devido à ação de enzimas oxidativas, como lacases e peroxidases, que atuam nas estruturas amorfas dessa fração.

Já os menores teores de lignina insolúvel e lignina total observados nos tratamentos T1 e T2 indicam que esses fungos foram mais eficientes na degradação da lignina estrutural, especialmente da fração insolúvel. Esse comportamento também foi relatado por Gomes, Silva e Oliveira (2019), que observaram redução acentuada da lignina em madeiras de pinus expostas a fungos com maior capacidade ligninolítica, especialmente quando a madeira apresentava menor densidade e teor de extrativos antioxidantes.

Os resultados obtidos de teores de holocelulose indicaram um aumento substancial nos tratamentos com fungos, especialmente nos tratamentos T1 (75,12%), T2 (70,47%) e T3 (68,72%) quando comparados à madeira antes do ensaio (58,02%). Como demonstrado por Martínez et al. (2005), esse fenômeno resulta da degradação seletiva de lignina por fungos ligninolíticos, que preservam parcialmente os carboidratos estruturais (celulose e hemiceluloses), concentrando-os na madeira residual. Corroborando esses achados, Pinto (2006) observou que fungos lignolíticos, ao degradarem a lignina, acabam deixando a celulose mais acessível e estável, o que pode explicar o aumento observado nos teores de holocelulose (T1: 75,12%; T2: 70,47%) nos tratamentos com fungos.

O teor de holocelulose observado na Testemunha (64,12%) foi maior que o da madeira antes do ensaio (58,02). Essa diferença, no entanto, não indica um aumento real na quantidade de celulose. Ela pode ser explicada pela forma como o valor da holocelulose é obtido – de maneira indireta, considerando a proporção entre os outros componentes da madeira. Como a Testemunha apresentou menor teor de lignina total (20,74%) em comparação ao AE (29,66%) e uma quantidade maior de extrativos (15,05% contra 12,32%), a soma dessas reduções e acréscimos afeta o cálculo, resultando

em um valor aparentemente mais alto de holocelulose. É importante ressaltar que esse aumento pode refletir uma alteração proporcional causada pela diminuição da lignina e pelo acúmulo de extrativos. Esses extrativos adicionais podem incluir compostos que não foram completamente removidos ou que se concentraram ao longo do tempo de incubação no ensaio. ensaio.

5 CONCLUSÃO

O ensaio de apodrecimento acelerado realizado por 12 semanas não apresentou diferenças estatísticas significativas na perda de massa entre os tratamentos testados. Embora o tempo de incubação e o pH inicial do solo possam influenciar a atividade microbiana. Portanto, a ausência de diferenças significativas pode estar relacionada à similaridade na ação dos isolados utilizados ou à resistência natural da madeira frente ao ataque dos microrganismos.

Embora não tenha sido observada diferença significativa na perda de massa, a análise da composição química revelou mudanças importantes, como a redução significativa nos teores de lignina total (de 29,66% para 13,59 – 15,67%) nas amostras expostas aos fungos em comparação ao controle (AE), indicando degradação parcial dos componentes da madeira.

Os resultados demonstraram que os isolados fúngicos atuaram de forma diferenciada na degradação da madeira, mesmo sem perda expressiva de massa. A análise química revelou que, no tratamento T1, houve redução dos teores de lignina total (de 29,66% para 13,59%) e insolúvel (de 28,77% para 13,16%), indicando que os fungos atacaram preferencialmente esse componente. Além disso, os extrativos variaram bastante, onde aumentaram na testemunha (15,05%) e no T2 (15,64%), mas ficaram próximos do tratamento T1 (11,29%).

O presente trabalho fornece informações iniciais sobre a ação de fungos do cerrado sobre a madeira de eucalipto. No entanto, destaca-se a relevância de realização de estudos adicionais para aprofundar o entendimento sobre a interação entre diferentes espécies de fungos e madeiras de reflorestamento. Também é necessário otimizar as condições experimentais para melhor avaliar o potencial degradativo dos isolados fúngicos. Entre as melhorias sugeridas, estão: aferir o pH do solo ao final do experimento, adequar o pH inicial do solo ao indicado na norma, e utilizar mecanismos mais eficientes para a vedação dos potes, a fim de se retardar ou dificultar a ação de ácaros. Além disso, recomenda-se incluir a análise dos carboidratos da madeira, o que pode contribuir para uma melhor interpretação dos efeitos da degradação fúngica.

REFERÊNCIAS

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

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 14660**: Madeira – Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro, 2004.

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.

Archer, K.; Lebow, S. Wood preservation. In: Walker, J.C.F. (Ed.). **Primary wood processing: principles and practice**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 297-338.

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

BAZZO, V. et al. Bioprospecção e caracterização da atividade amilolítica de fungos filamentosos. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 33314-33330, 2022. Disponível em: DOI: www.doi.org/10.34117/bjdv8n5-047

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução de Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.

CASTRO, R. S. de. **Resíduos industriais como estimuladores da biodegradação de poda de árvores**. 2018. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

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

DIAS, S.C.J. **Avaliação do potencial biotecnológico de fungos isolados de solos do cerrado da região de Unaí, Minas Gerais**. 2011. Disponível em: <http://jbb.ibict.br/handle/1/479>

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Interpretação dos resultados da análise do solo**. Brasília, DF: Embrapa, 1997. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127238/1/LV-RecomendacaoSolo-2020-63-66.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2025.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Eucalipto**. 2023. Disponível em: <https://portaldxp-h.sede.embrapa.br/web/florestas/transferecia-de-tecnologia/eucalipto>. Acesso em: 15 mar. 2025.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. (Eds.) **Lignins**:

Occurrence, formation, structure and reactions. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-266.

GOMES, J. P.; SILVA, M. F.; OLIVEIRA, R. M. Alterações na composição química de madeira de Pinus após exposição a fungos apodrecedores. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 3, p. 1–8, 2019.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, ago. 1986.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010.

GUIMARÃES, I. L. et al. Caracterização química e física da madeira de procedências de Eucalyptus. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 636–645, 2013.

IDE -SISEMA - Infraestrutura de dados espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **IDE - SISEMA: Biomass**. Minas Gerais, 2024. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 27 dez. 2024.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeiras: características e usos**. São Paulo: IPT, 1985.

LEIGHTON, M.; SCHMIDT, E. L. **Decay testing in wood protection: a review of methodology and current practice**. Forest Products Journal, v. 65, n. 3/4, p. 114–123, 2015.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. **Recomendação de calagem para o Cerrado: critérios e procedimentos**. Embrapa Cerrados. Documentos, 38. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001.

MACIEL, G. M. **Bioprospecção de fungos causadores da podridão branca da madeira**. 2020. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/aguaterra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/giselle_maria_maciel.pdf.

MARTÍNEZ, Ángel T. et al. "Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin" **International Microbiology**, v. 8, n. 3, p. 195-204, 2005.

MELO, J. C. A.; SILVA, I. R. **Características e classificação dos solos do bioma Cerrado**. In: FERNANDES, R. B. A. (Org.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2008. p. 121–145.

MONTEIRO, M. B. B. **Método alternativo de ensaio acelerado para avaliação da resistência natural de madeiras ao ataque de fungos apodrecedores**. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Madeiras.) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 1997.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e Preservação da Madeira: Principais agentes deterioradores**. 4. ed. rev. [S. l.: s. n.], 2013. 53 p. v. 1.

NEVES, T.A. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegeta. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

PAES, J. B.; MORESCHI, J. C.; LELLES, J. G. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* lab. e de bracatinga (*Mimosa scabrella* BENTH.) pelo método de substituição da seiva. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, 2005.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.]. jun. 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4hh4VFLnCGwvBB6PcQfHXhw/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

PINTO, F.F. **Degradação de madeiras por fungos: aspectos biotecnológicos e de biorremediação**. 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9RPGD5>

RIBEIRO, M. A. et al. Durabilidade natural da madeira de jequitibá em ensaios de deterioração em campo aberto e floresta durante as estações de seca e chuva. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 4, p. 402-411, 2014.

RUEGGER, M. J. S. **Atividade enzimática e produção de ácido γ -linolênico por fungos filamentosos isolados do solo, da estação ecológica de Juréia-Itatins, SP**. 2001. xvi, 82 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2001.

SANTOS, Z. M. **Avaliação da durabilidade natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill: Maiden em ensaios de laboratório**. Dissertação de Mestrado (Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 75p. 1992.

SANTOS, I. D. dos. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies lenhosas do cerrado com vistas à produção de carvão vegetal**. 2008. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.

SANTOS, L. F. M. **Potencial de deterioração de fungos apodrecedores de madeira em ensaios de laboratório**. 2015. 47 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SILVA, L. F. da et al. Deterioração da madeira de *Eucalyptus* spp. por fungos xilófagos. **Cerne**, v. 20, p. 393-400, 2014.

SILVÉRIO, L. H. et al. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para fins energéticos**. **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, p. 877–886, 2006.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal Symbiosis**. 3. ed. London: Academic Press, 2008.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Efeito da qualidade do solo e da recuperação ambiental nas propriedades físicas e químicas**. Embrapa Cerrados, 2007.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI T 257 om-85: Sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: TAPPI, 1985. 5 p.