

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RAQUEL NOBRE SILVA

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO
SUBSTRATO PARA CRESCIMENTO DE MICÉLIO FÚNGICO VISANDO OBTER
UM MATERIAL SUSTENTÁVEL ALTERNATIVO AO COURO ANIMAL**

PONTA GROSSA

2023

RAQUEL NOBRE SILVA

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO
SUBSTRATO PARA CRESCIMENTO DE MICÉLIO FÚNGICO VISANDO OBTER
UM MATERIAL SUSTENTÁVEL ALTERNATIVO AO COURO ANIMAL**

**Evaluation of the viability of agroindustrial waste as a substrate for growing
fungal mycelium aiming to obtain a sustainable alternative material to animal
leather**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e
Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Alessandra Cristine Novak Sydney.
Coorientador(a): Janaina Marques de Almeida.

**PONTA GROSSA
2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RAQUEL NOBRE SILVA

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO
SUBSTRATO PARA CRESCIMENTO DE MICÉLIO FÚNGICO: UM MATERIAL
SUSTENTÁVEL ALTERNATIVO AO COURO ANIMAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e
Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 02 de junho de 2023

Alessandra Cristine Novak Sydney
Doutorado em Processos Biotecnológicos
Universidade Federal do Paraná

Eduardo Bittencourt Sydney
Doutorado em Engenharia de Bioprocessos e Engenharia de Processos
Universidade Federal do Paraná e Université Blaise Pascal

Aline de Cássia Campos Pena
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

PONTA GROSSA

2023

Dedico este trabalho à minha família, amigos, orientadores e à startup MUSH que deram suporte durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos e família que me apoiaram e estiveram presentes dando suporte durante toda minha trajetória na Universidade e na vida.

Aos professores por todo conhecimento e ensinamentos passados durante as aulas e fora delas. A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Agradeço a minha orientadora Prof.(a) Dr.(a) Alessandra Cristine Novak Sydney pela sabedoria e auxílio nessa trajetória e à minha coorientadora Dr.(a) Janaina Marques de Almeida por todo conhecimento, apoio e por abraçar esse desafio durante meu período de estágio e desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, a todos os envolvidos na startup MUSH por proporcionar todo o espaço, material e acima de tudo acreditar no meu potencial para desenvolver esta pesquisa durante o período de estágio.

:

RESUMO

O impacto ambiental que a indústria coureira gera com a produção de resíduos tóxicos e não tóxicos, principalmente na etapa de curtimento, é uma problemática atual. Visando minimizar a contaminação das águas, a contaminação dos solos e a emissão de gases poluentes gerados no processamento do couro surgem os tecidos ecológicos. Dentre eles destaca-se o tecido à base de micélio fúngico, que pode ser produzido por meio da fermentação em estado sólido (FES) utilizando resíduos agroindustriais. Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um material alternativo ao couro animal através do uso de FES com diferentes resíduos agroindustriais, seguido do curtimento vegetal do micélio produzido. O cultivo do Fungo X foi realizado com 6 resíduos agroindustriais, em 7 combinações diferentes, sendo elas: serragem, fibra de palma, casca de arroz, bagaço de cana de açúcar, casca de soja com serragem, bagaço de cana de açúcar com serragem e resíduo de milho com serragem. O micélio crescido no substrato com serragem e resíduo de milho foi o substrato que gerou os materiais com os melhores resultados de resistência à tração e força de rasgamento. Portanto, estes substratos foram utilizados para crescimento de micélios fúngicos para realização de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para otimização do processo de curtimento, sendo variados a concentração de tanino vegetal e o tempo de tratamento. Através do DCCR foi possível concluir que as condições de tempo de curtimento (6 dias) e concentração de tanino vegetal (12,9%) para o curtimento, forneceram ao material fúngico características físicas semelhantes ao couro animal.

Palavras-chave: couro; micélio; resíduos; sustentável.

ABSTRACT

The environmental impact that the leather industry generates with the production of toxic and non-toxic waste, especially in the tanning stage, is a current problem. In order to minimize water contamination, soil contamination and the emission of polluting gases generated in leather processing, "ecological leathers" appear. Among them, tissue based on fungal mycelium stands out, which can be produced through solid state fermentation (SSF) using agro-industrial residues. This work aimed to develop an alternative material to animal leather through the use of FES with different agro-industrial residues, followed by vegetable tanning of the produced mycelium. The cultivation of Fungus X was carried out with 6 agro-industrial residues, in 7 different combinations, namely: sawdust, palm fiber, rice husks, sugarcane bagasse, soybean husks with sawdust, sugarcane bagasse with sawdust and corn on the cob with sawdust. The mycelium grown on sawdust substrate with corn cob and sawdust with soybean hulls were the substrates that showed the best results in terms of resistance to traction and tearing and water absorption. Therefore, these substrates were used for the growth of fungal mycelia to carry out a Rotational Central Composite Design (DCCR), to optimize the tanning process, varying the concentration of vegetable tannin and the treatment time. Through the DCCR it was possible to conclude the best conditions of tanning time and concentration of vegetable tannin for tanning that provided the fungal material with physical characteristics similar to animal leather.

Keywords: leather; mycelium; waste; sustainable.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Regiões da pele bovina utilizadas na produção do couro.....	16
Fotografia 1 - Micélio aéreo extraído do substrato resíduo de milho com serragem	27
Figura 2 – Processo de cultivo e curtimento do micélio fúngico.....	28
Fotografia 2 – Corpo de prova para teste de tração e acomodação do mesmo no equipamento.....	29
Fotografia 3 – Corpo de prova para teste de rasgamento e acomodação do mesmo no equipamento.....	30
Fotografia 4 – Corpos de prova submersos para medição de absorção de água.....	31
Gráfico 1 – Gráfico de Pareto para resistência à tração	37
Gráfico 2 – Gráfico de contorno para a variável resistência à tração	37
Gráfico 2 – Superfície de resposta para a variável força de rasgamento em resíduo de milho com serragem	36
Gráfico 3 – Gráfico de Pareto para força de rasgamento	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de insumos e efluentes gerados no tratamento de 1 tonelada de pele de couro com cromo.....	17
Tabela 2 – Relação entre <i>commodity</i> e seus respectivos resíduos agroindustriais gerados no Brasil (2021/2022).....	26
Tabela 3 – Combinações de substratos preparados a partir de diferentes resíduos agroindustriais.....	26
Tabela 4 – Delineamento Composto Central Rotacional para tratamento do micélio fúngico com as variáveis codificadas e reais.....	32
Tabela 5 – Avaliação dos substratos pelo teste Tukey.....	33
Tabela 6 – Resultados do Delineamento composto central rotacional para tratamento do micélio fúngico dos resíduos de milho com serragem e serragem com as variáveis codificadas e reais.....	35
Tabela 7 – Análise da variância (ANOVA) e coeficientes de regressão para a variável resistência à tração.....	36
Tabela 8 – Análise da variância (ANOVA) e coeficientes de regressão para a variável força de rasgamento.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FES	Fermentação em Estado Sólido
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR-PG	Universidade Tecnológica Federal do Paraná câmpus Ponta Grossa
IPPC	International Plant Protection Convention
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Aicsul	Associação de Indústrias de Curtumes do Rio Grande do Sul
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CICB	Centro das Indústrias de Curtumes no Brasil
UV	Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

Tn	Força de resistência à tração
°C	Grau Celsius
Mpa	Mega Pascal
N	Newton
rpm	Rotações por minuto
O ₂	Gás oxigênio

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivos gerais.....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Indústria coureira	16
3.2	Materiais alternativos ao couro.....	18
3.3	Tecido a base de micélio fúngico.....	20
3.4	Resíduos agroindustriais.....	21
3.4	Fermentação em estado sólido (FES).....	23
3.5	Fungos	24
4	METODOLOGIA.....	25
4.1	Microrganismo.....	26
4.2	Preparo do inóculo	26
4.3	Preparo dos substratos para cultivo do fungo	26
4.4	Extração do micélio, pré-tratamento e curtimento	27
4.5	Preparo e acondicionamento das amostras para testes de resistência a tração, rasgamento e absorção de água.....	28
4.5.1	Resistência a tração.....	28
4.5.2	Força de rasgamento.....	29
4.5.3	Absorção de água.....	30
4.6	Delineamento Composto Central Rotacional.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1	Análise do efeito de diferentes substratos para cultivo do micélio fúngico	32
5.2	Otimização do curtimento do micélio fúngico utilizando delineamento composto central rotacional.....	35
6	CONCLUSÃO.....	40

REFERÊNCIAS.....	41
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A economia circular vem ganhando atenção especial no mercado atual, ao passo que a aplicação da economia linear nas indústrias decai, devido aos impactos negativos por ela gerados ao meio ambiente (MOKTADIR, 2019). Em paralelo surge uma preocupação neste cenário com a redução no consumo de matéria prima de origem animal nos setores alimentício, cosmético e de vestuário, uma vez que a demanda por esses produtos requer a utilização de mais recursos naturais e geram maiores emissões de gases do efeito estufa e poluições com componentes químicos agressivos ao meio ambiente (EMBRAPA, 2023).

A indústria coureira é um grande exemplo no país da utilização de matéria prima de origem animal e possui grande participação para poluição do meio ambiente, já que o Brasil está classificado como o terceiro exportador mundial de couro curtido, representando 14,23% do total mundial de rebanho bovino (CICB, 2021). Conseqüentemente este setor gera diversos tipos de rejeitos, incluindo efluentes líquidos, emissões atmosféricas, rejeitos sólidos e metais pesados que podem contaminar lençóis freáticos, solos, animais e plantas (CETESB, 2005).

Na busca por reduzir os impactos gerados pela indústria coureira surgem os tecidos ecológicos que podem ser produzidos a partir de kombuchá (colônia formada por bactérias e leveduras), cactos (*Opuntia ficus-indica*), folhas de orelha-de-elefante (*Alocasia macrorrhizos*), micélio fúngico, entre outros (GOMES, 2022). Dentre as alternativas citadas, a produção de um material alternativo ao couro animal a partir de fungos filamentosos torna-se interessante, uma vez que os resíduos agroindustriais podem ser reaproveitados para cultivo destes microrganismos através da fermentação em estado sólido (FES) (MARZO *et al.*, 2019). Além disso, o tratamento para transformar a estrutura do micélio em um produto similar ao couro reduz os riscos ao meio ambiente e à saúde, sendo utilizadas substâncias vegetais como os taninos (ATIAS *et al.*, 2017).

Atualmente já existem empresas no Brasil e no mundo que apresentam destaque na fabricação destes tecidos à base de micélio (RAMAN *et al.*, 2022). A Bolt Threads produz o tecido chamado Mylo™, a qual já desenvolveu produtos como bolsas e o tênis Stan Smith Mylo™, em parceria com a empresa Adidas LTDA. Outras empresas relevantes no setor são a Ecovative LLC (Nova York, USA) que produz o Forager™, a Mycoworks (Califórnia, USA) com o Reishi™ e a Mycotech (Texas, USA)

com o Mylea™. No Brasil, a startup Mush, fundada em 2019 é a pioneira no país e segue com estudos para o desenvolvimento deste tecido fúngico, sendo que o presente trabalho foi elaborado juntamente à startup a fim de melhorar e otimizar o processo de produção deste tecido.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Produção de micélio fúngico utilizando diferentes resíduos agroindustriais e otimização do processo de curtimento do micélio para obtenção de um material sustentável e alternativo ao couro animal.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o crescimento da biomassa e a espessura do micélio cultivado nos seguintes resíduos agroindustriais: serragem, fibra de palma, casca de arroz, bagaço de cana de açúcar, casca de soja com serragem, bagaço de cana de açúcar com serragem, resíduo de milho com serragem.
- Submeter o micélio fúngico produzido com a melhor combinação de substrato ao processo de curtimento com tanino vegetal e avaliar a resistência à tração e a força de rasgamento.
- Estabelecer os parâmetros ótimos para o processo de tratamento com tanino vegetal, utilizando o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) aplicável à metodologia de superfície de resposta.

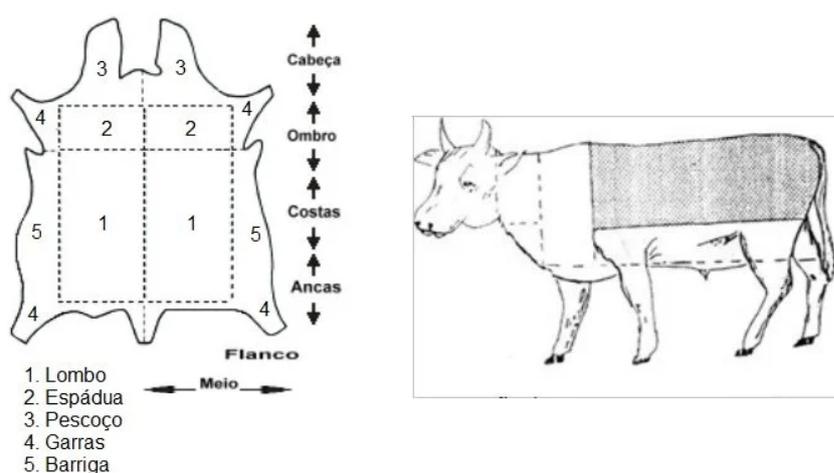
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Indústria coureira

De acordo com o Centro das Indústrias de Curtumes no Brasil (2022) o país é detentor do maior rebanho bovino comercial do mundo, tendo exportado mais de 171,5 m² de couro e pele sem tratamento em 2020. Este setor gera mais de 30 mil empregos anuais sendo classificado em 5º lugar na produção de couro no mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos, Rússia, Índia e Argentina (CICB, 2022). O setor do couro no país é composto por 244 plantas curtidoras representando 120 fábricas de máquinas e equipamentos voltados para produção do material (CICB, 2022).

Existem diversas formas de retratar a quantidade produzida de couro, seja em metros quadrados, toneladas e peças. Quando se fala em peça é importante ressaltar que cada zona da pele do gado gera couros com espessuras, tamanhos e características diferentes, variando também de acordo com o tratamento submetido. Por isso, cada peça é destinada para ramos específicos no mercado, por exemplo, couros curtidos com espessuras maiores que 5,0 mm são em sua maioria destinados à produção de solas de sapato (HUNIFORME, 2023) a Figura 1 mostra as regiões da pele bovina dividida em diferentes tipos de peças.

Figura 1 – Regiões da pele bovina utilizadas na produção do couro



Fonte: HUNIFORME (2023)

A qualidade dos couros está vinculada à algumas características extrínsecas do animal, como a raça, idade, condições de crescimento em que foram submetidos,

dieta, dentre outras interferências ambientais que podem refletir na qualidade do produto final. Para amenizar esses fatores as peças são destinadas a alguns testes durante o seu processamento como resistência à rasgamento, resistência à tração e absorção de água que são aplicados para validar essas características e dar o destino adequado das peças ao mercado (JACINTO, 2000). O teste de resistência à tração, força de rasgamento e absorção de água, simulam de modo geral a forma de uso em que serão submetidos. Além destes testes, outros dois que podem ser aplicados são: a adesão ao acabamento e a resistência à flexão, uma vez que ao caminhar existem forças que podem desgastar mais o material em comparação à sua aplicação em carteiras, por exemplo (EMBRAPA, 2022).

Para garantir melhor acabamento, resistência e evitar deterioração do material, a pele animal é submetida a diversos processos que incluem a conservação e armazenamento da pele, limpeza (ribeira), curtimento e acabamento. No entanto, todas essas etapas envolvem um grande consumo de insumos como água, energia elétrica, produtos químicos, como cromo, sal, hidróxido de sódio (soda cáustica), ácidos, fungicidas, solventes, corantes, óleos e resinas que geram efluentes líquidos, sólidos e gasosos. Na Tabela 1, está a relação de água utilizada e resíduos gerados para o tratamento de uma tonelada de pele, correspondente a 142,86 m² de pele bovina considerando o processo produtivo convencional para couro bovino salgado, com curtimento ao cromo (CETESB, 2005).

Tabela 1 - Relação de insumos e efluentes gerados no tratamento de 1 tonelada de pele de couro com cromo

Insumos e efluentes	Valor consumido/Gerado
Água	12-37 m ³
Efluentes líquidos	15-40 m ³
Resíduos sólidos	~450-730 kg
Poluentes atmosféricos	~40 kg

Fonte: IPPC (2013)

Todas as etapas de produção do couro e utilização dos insumos citados causam impactos ambientais como a contaminação de águas superficiais, subterrâneas e de solos por produtos químicos. Na etapa da ribeira, ocorre a geração de gás sulfídrico que é altamente tóxico ao ser humano liberando odor desagradável, também utiliza o óxido de cálcio que modifica o pH da água e gera efluentes ricos em matéria orgânica como sais, proteínas, aminoácidos e amins causando eutrofização de lagos (GANEM, 2007).

Além disso, o incentivo pelo consumo e utilização de produtos de origem animal contribui para o aumento da atividade pecuária, responsável por 10 a 15% de emissões de gases do efeito estufa provenientes da atividade humana (WOLFE, 2023). Ainda, há o desmatamento em grande escala devido a criação de gado de corte que corresponde à 90% de todo agronegócio nacional e ocorre prioritariamente de forma extensiva, ou seja, é necessário grande área de pasto para exercer esta atividade que foi responsável em 2021 por 97% de perda de vegetação nativa no Brasil (ROCHFER, 2023).

Os impactos gerados por curtumes da indústria coureira são reduzidos com a implementação de sistemas de tratamento de efluentes, neutralização química dos produtos aplicados em sua produção, instalação de caixas de gordura para coletar os resíduos da etapa de descarte e limpeza, remoção de gases com soluções depuradoras, dentre outras soluções que vêm sendo estudadas para minimizar toda a poluição gerada (GANEM, 2007). No entanto, essas ações não são suficientes para minimizar os impactos ambientais associados à criação de gado e curtimento de peles.

3.2 Materiais alternativos ao couro animal

A indústria coureira está consolidada no mercado e movimenta a economia nacional com US\$ 2 bilhões por ano (CICIB, 2021), mas devido a todo o impacto negativo ao meio ambiente houve a ascensão de políticas ambientais mais rigorosas, como o compromisso assinado pelo Brasil com a Agenda 2030 da ONU em 2015. Em paralelo surgiram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), iniciativa com objetivo de estabelecer as metas que os países comprometidos com a agenda 2030 pretendem atingir. Alguns ODS que se relacionam com o crescimento do mercado de produtos sustentáveis, são: cidades e comunidades sustentáveis (11), consumo e produção sustentáveis (12), Ação contra a mudança global do clima (13), vida na água (14) e vida terrestre (15), caminhando então para uma economia limpa e menos nociva ao meio ambiente (SERINTER, 2022).

Neste contexto, a busca por materiais alternativos ao couro está em crescimento e como consequência há uma tendência na diminuição da procura por couro legítimo no mercado. Visando a redução desses impactos ambientais, surgiram soluções que apostam numa produção mais sustentável de tecidos que simulam o

couro animal. Um dos primeiros produtos lançados foi o tecido sintético que consiste em um material composto por poliuretano (PU) poroso, poliéster, cloreto de polivinila (PVC) e outros materiais com elevada flexibilidade, resistência a tração e rasgamento, mais leve, econômico que o couro animal e muito aplicado no mercado de estofados e na indústria têxtil. Contudo, o Greenpeace (organização não governamental ambiental) classifica o PVC e o PU como uns dos plásticos mais poluentes ao meio ambiente, uma vez que são derivados de combustíveis fósseis e levam mais de 100 anos para se decompor na natureza. Além disso, o couro sintético possui uma durabilidade menor do que a de um couro animal e ainda liberam gases poluentes e diversos químicos durante seu processo de fabricação, não sendo a melhor alternativa em âmbito ambiental para substituir o couro animal (ECYCLE, 2023).

Existem outras alternativas no mercado que estão ganhando força no mundo da moda, principalmente os “couros” feitos de plantas, bactérias, leveduras e fungos. O Piñatex™ desenvolvido pela empresa londrina Ananas Anam, feito das fibras de celulose das sobras de folhas do abacaxi, leva polímeros como o poliácido láctico (PLA) em sua composição garantindo flexibilidade e durabilidade, no entanto, não é completamente biodegradável. Assim como o VIRIDIS™ da empresa italiana Panama Trimmings feito de políois do milho, o Pellemela™ da empresa também italiana Frumat feito com a casca e fibras da maçã e o beLEAF™ desenvolvido com folhas da planta Orelha-de-Elefante pela empresa brasileira Nova Kaeru que levam PU em sua composição (GOMES, 2022).

A adição de polímeros plásticos, apesar de nociva ao meio ambiente proporciona maior durabilidade devido a maior resistência a tração, rasgamento e flexão, podendo ser aplicados em calçados, bolsas e materiais que podem ter maior desgaste com o tempo. Portanto, uma grande aposta para sustentabilidade são os tecidos que não levam plásticos em sua composição como o Desserto Pele™ da empresa mexicana Desserto que é feito de cactos e pode ser aplicado tanto na indústria da moda como na automobilística (GOMES, 2022).

A área da fermentação também apresenta alto potencial para produção de tecidos sustentáveis. A empresa estadunidense Modern Meadow por exemplo, desenvolve o ZOA, tecido feito de colágeno produzido por leveduras selecionadas através da tecnologia de proteína recombinante e sem a utilização de materiais derivados do petróleo, de origem animal e processos químicos (G1, 2019). Também existe o biotecido feito com colônias de bactérias e leveduras (Scooby) da kombucha,

bebida fermentada a partir de chá (*Camelia sinensis*) (NGUYEN, 2021). Ainda neste ramo, há o desenvolvimento por diversas empresas citadas anteriormente do tecido composto por micélio fúngico que não leva produtos químicos nocivos ao meio ambiente e reutiliza resíduos agroindustriais como serragem e resíduo de milho para fermentação (JONES, 2021).

3.3 Tecido a base de micélio fúngico

O micélio fúngico possui uma estrutura que consiste em um emaranhado de hifas septadas, estruturas somáticas filamentosas. Essas ramificações ou filamentos são envoltos por uma parede celular composta majoritariamente por quitina, polissacarídeo de cadeia longa, responsável por fornecer resistência estrutural ao tecido micelial. Além da quitina, o micélio também possui proteínas, ergosterol, compostos fenólicos e outros polissacarídeos que além de fornecer propriedades farmacológicas como antimicrobiana, antiinflamatórias, antioxidantes, vem despertando o interesse de pesquisadores para a aplicação deste tecido como alternativa ao couro animal (SANTOS, 2015).

A estrutura física do micélio se desenvolve de maneira não uniforme devido a quitina que é formada por cadeias longas de N-acetilglicosamina, esta característica confere às hifas, unidades formadoras do micélio, uma organização estrutural resistente, flexível, mas irregular (ARISTIMUNHA, 2014). No entanto, é importante ressaltar que o couro bovino também possui diversas imperfeições, como marcas de carrapatos, de ferro candente em locais não permitidos e de machucados provenientes de arame farpado (OLIVEIRA, 2014).

Além disso, os impactos ambientais gerados para produzir o tecido fúngico são muito menores quando comparados aos gerados pela cadeia produtiva do couro. Também vale destacar que o custo para produzir um metro quadrado de couro bovino sem tratamento varia na faixa de US\$5,38-6,24, enquanto o valor da produção do metro quadrado do micélio fúngico sem tratamento varia entre US\$ 0,18-0,28. Portanto, pode-se notar que além de sustentável o custo para sua produção é reduzido e não perde no critério economia ao comparar com o couro sintético que pode custar uma faixa de US\$4,43-23,30 (PINEDA, 2020).

É importante ressaltar que os custos de produção são contabilizados desde o início de toda cadeia produtiva, ou seja, para a produção do couro animal os custos

são considerados desde o nascimento do filhote até o seu abate que atualmente dura em média de 5 a 6 anos. Durante esse tempo existem gastos de recursos necessários para garantir um produto de qualidade, como vacinas, veterinário, medicamento, alimentação, água e que caracterizam o fenômeno da flutuação de preço tanto dos produtos cárneos quanto do couro (EMBRAPA, 2023).

Para o cultivo do micélio, dependendo do fungo, há o preparo e ambientação do mesmo com o meio de cultivo líquido e depois com o meio sólido que demora cerca de 14 dias. Em seguida, há a inoculação no substrato e cultivo que leva em torno de 14 a 21 dias para colonização total do micélio e 30 dias para início da formação dos corpos de frutificação, quando o micélio aéreo já está bem consolidado, ou seja, total de 44 dias para todo o processo de produção do micélio (FUNGICULTURA, 2022). Essa diferença significativa em relação ao tempo de produção do couro animal e o tecido a base de fungo ressalta a vantagem econômica para o mercado, reduzindo custos e impactos ambientais.

3.4 Resíduos agroindustriais

A geração dos resíduos agroindustriais, em grande parte ocorre a partir do processamento de alimentos, da indústria coureira, produção de etanol, álcool, papel, etc (COSTA FILHO *et al.*, 2017). Os resíduos agroindustriais orgânicos são aqueles que provêm do setor agrário (como rejeitos de soja, milho, banana, café, cana de açúcar), além dos rejeitos e efluentes produzidos em abatedouros, frigoríficos e pela indústria coureira. Já os resíduos sólidos agroindustriais inorgânicos correspondem às embalagens geradas pelas indústrias de agrotóxicos, medicina veterinária, dentre outros (RODRIGUES *et al.*, 2013).

Os resíduos agroindustriais orgânicos apresentam grande carga nutritiva, principalmente formada por lignocelulose, polímero estrutural composto por celulose, lignina e hemicelulose (CHANDEL; SINGH, 2011). Por ser uma estrutura com heteropolímeros ramificados o acesso ao nutriente para a maioria dos microrganismos é dificultado, exceto para os fungos, que conseguem acessar essas estruturas através de enzimas liberadas por seu metabolismo, aproveitando a disponibilidade de nutrientes que os resíduos fornecem (KUMAR; SINGH; KORSTAD, 2017; MARZO *et al.*, 2019).

O Brasil possui uma economia dependente da agricultura, sendo o quarto maior produtor mundial de alimentos, por este motivo gera muitos resíduos agroindustriais, principalmente provindos da plantação de soja, milho e cana-de-açúcar que são algumas das suas principais *commodities* agrícolas. Entretanto, em segundo plano são gerados também outros resíduos a partir da produção de arroz, palma e da indústria madeireira (FIA, 2021).

A soja é a *commodity* mais presente no país, por este motivo o Brasil é o maior produtor e exportador de soja no mundo, sendo o seu resíduo considerado com alto potencial de reutilização, como a utilização de sua biomassa para fins energéticos, podendo ser aplicado também como substrato no cultivo de fungos. Além da soja, todos os resíduos citados possuem algum potencial de reutilização, seja como componentes de ração animal, matriz para gerar energia e principalmente como matéria prima para fermentação de microrganismos como os fungos (IBGE, 2021).

Por fim, a indústria madeireira gera resíduos na maioria das etapas de sua transformação em produtos e estão presentes desde a extração da madeira onde é produzida a serragem, resíduo sólido provindo da manipulação das toras de madeira com serra, até a industrialização da madeira que engloba a geração de resíduos com potencial para a conversão em energia através da queima (FEITOSA, 2007).

A maior parte dos resíduos gerados pela indústria madeireira ainda ocorre pelo processamento da madeira serrada, como a serragem que apresenta um longo tempo para degradação devido ao elevado conteúdo de carbono, dificuldade de combustão, elevada impureza e facilidade de disseminação pelo ar devido à sua baixa densidade. Quando o resíduo entra em contato com a água da chuva, promovendo a liberação de compostos fenólicos e taninos contaminando solos e lençóis freáticos (CARDOSO, 2006). Na Tabela 2, está descrita a relação de algumas *commodities* produzidas no país e seus respectivos resíduos agroindustriais, sua produção anual e quantificação de seus resíduos em toneladas por ano e safra.

Tabela 2 – Relação entre *commodity* e seus respectivos resíduos agroindustriais gerados no Brasil (2021/2022)

Produto	Produção (ton/ano) (IBGE, 2021)	Resíduo	Geração (ton/safra 2021/2022) (ABIB, 2022)
Soja	135 milhões	Palha	116,2 milhões
Grão de milho	88,5 milhões	Palha e sabugo	111,9 milhões
Cana de açúcar	715,7 milhões	Bagaço	596,1 milhões
Palma	2,89 milhões	Casca e fibra	395 mil
Arroz	11,7 milhões	Casca e palha	10,3 milhões
Madeira	148,5 milhões (m ³)	Serragem	91,9 mil (m ³)

Fonte: Aatoria própria (2022)

Portanto, o reaproveitamento desses resíduos reflete de forma positiva para a construção de uma economia circular e sustentável (JONH, 2000). O aproveitamento desses resíduos deve ser feito de maneira inteligente, viabilizando a sua utilização de forma a desenvolver produtos que possam substituir os tradicionais, de origem fóssil ou tecnologias que causam grande impacto ambiental. Um exemplo, é a aplicação dos resíduos agroindustriais em cultivos de microrganismos, mais especificamente, fungos que consomem os nutrientes dos substratos através da técnica FES (Fermentação em estado sólido) (FAGUNDES, 2003).

3.5 Fermentação em estado sólido (FES)

A fermentação em estado sólido (FES) caracteriza-se por um bioprocessos que fornece um ambiente com restrição de água disponível para o crescimento de microrganismos, oferecendo o mínimo para atuação ótima de seu metabolismo. Além disso, é uma fermentação denominada heterogênea trifásica, ou seja, ocorre sob as seguintes fases físicas: sólido, líquido e gasoso, onde os microrganismos crescem na superfície sólida, desde que as condições ótimas de crescimento sejam fornecidas (DIAZ *et al.*, 2016).

A FES é um processo que pode demandar a utilização de biorreatores ou não. Quando há o uso de biorreatores simples, ou até fermentação em bandeja, uma das vantagens é o custo energético reduzido, já que não precisa do maquinário que a instalação e funcionamento que biorreatores complexos exige. Além disso, a matéria-prima utilizada pode vir de resíduos agroindustriais, contribuindo ainda mais para uma economia sustentável (SADH *et al.*, 2018). Outra vantagem da utilização deste bioprocessos é a versatilidade que existe para escolha do substrato, sendo considerada uma opção muito viável para o aproveitamento de resíduos agrícolas, gerados em grande quantidade no Brasil (BOSSA *et al.*, 2019; MARZO *et al.*, 2019).

No entanto, para aplicação da FES no crescimento de fungos, parâmetros de controle devem ser inseridos durante o crescimento microbiano. Uma vez que, condições físico-químicas, biológicas e ambientais podem afetar a fermentação. Portanto, os parâmetros que devem ser controlados, são: temperatura, pH, umidade, tempo de fermentação, atividade de água, relações nutricionais, dentre outras, variando de acordo com cada objetivo aplicado no processo. Outra variável que pode

interferir no processo é o tipo de resíduo lignocelulósico utilizado, pois de acordo com as características metabólicas do microrganismo o consumo dos nutrientes pode variar dependendo da fonte nutritiva que é fornecida. Por isso, é importante conhecer os tipos de nutrientes existentes no resíduo e o padrão de crescimento metabólico do microrganismo utilizado (KRISHNA, 2005).

3.6 Fungos

Os fungos são organismos que podem ser encontrados em diversos nichos ecológicos. De acordo com Hawksworth (1991), é estimado que existem por volta de 1,5 milhões de espécies de fungos na natureza, sendo que somente 74 mil são descritos na literatura. Essa diversidade permite que eles possam ser utilizados em diversos seguimentos, como na produção de bebidas, na indústria farmacêutica, em processos de biodegradação e tratamento de efluentes, produção de enzimas, dentre inúmeras outras aplicações. Vale ressaltar sua enorme importância no equilíbrio ecológico, como agentes degradadores de matéria orgânica e inorgânica (ABREU *et al.*, 2015).

O Reino Fungi, é subdividido em cinco principais Filos: Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota e Basidiomycota. Esta subdivisão, ocorre de acordo com as características agrupadas em relação à presença de quitina na parede celular, pela nutrição, se possuem o glicogênio como substância de reserva e por sua estrutura reprodutiva (Nather K & Munro CA, 2012).

Os fungos do filo Basidiomycota são sapróbios, possuindo papel de decompositores de matéria orgânica morta no ecossistema. Os basidiomicetos produzem cogumelos (corpos de frutificação) e apresentam os basídios como estrutura reprodutiva, sua parede celular é majoritariamente composta por quitina e glucanas e desenvolvem hifas septadas, estruturas ramificadas que são aglomeradas para formar o micélio (SANTOS, 2015). O micélio pode ocorrer em duas formas gerais: micélio reprodutivo e micélio vegetativo, sendo que o reprodutivo apresenta os basídios, portadores de esporos, que são liberados no ambiente e germinam produzindo as hifas, que através de divisões celulares, diferenciam-se em basidioma que compõe o corpo de frutificação do micélio. Já o micélio vegetativo é aquele que se desenvolve no interior do substrato e possui como função a estruturação e absorção de nutrientes, podendo diferenciar-se em micélio aéreo, que cresce na camada superior do substrato e sustenta os corpos de frutificação (SANTOS, 2015).

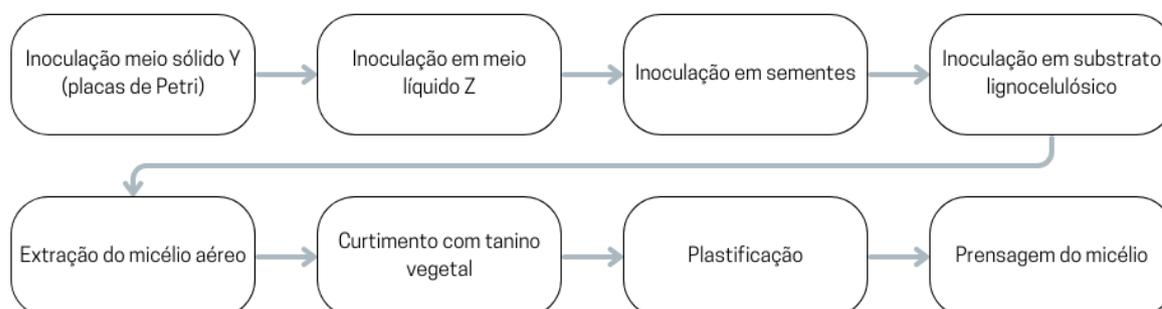
As condições de cultivo para os basidiomicetos podem variar dependendo da espécie. A temperatura de crescimento ocorre numa faixa de 25 a 37 °C e necessita de ambientes úmidos e escuros para seu desenvolvimento. Dependendo das condições que são submetidos, podem favorecer o crescimento do micélio vegetativo ou reprodutivo, além da produção de metabólitos secundários como ácidos orgânicos, antibióticos, pigmentos, entre outros (TAKAHASHI, 2017). Portanto, é importante conhecer a técnica empregada para cultivo e os parâmetros necessários para melhor desempenho no crescimento do fungo filamentososo, como exemplo, a técnica de Fermentação em Estado Sólido, muito utilizada para cultivo de cogumelos e fungos filamentosos (HÖLKER *et al.*, 2005).

4 METODOLOGIA

Para execução dos testes apresentados neste trabalho foi utilizado o laboratório de fermentações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta Grossa, Paraná e o laboratório de análises mecânicas da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

Todas as informações que envolvem segredo industrial, tais como: os meios de cultivo utilizados, nomenclatura do microrganismo e especificações de algumas etapas da produção foram mantidas em sigilo, por ser um trabalho realizado em parceria com a Startup Mush. Portanto, o fungo foi nomeado como “Fungo X”, o meio de cultivo sólido foi nomeado como “Meio sólido Y” e o meio de cultivo líquido como “Meio líquido Z”. O esquema do processo produtivo está apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Processo de cultivo e curtimento do micélio fúngico



Fonte: autoria própria (2023)

4.1 Microrganismo

O Fungo X utilizado no trabalho foi cedido por uma empresa parceira e conservado em placas de Petri em meio sólido Y, mantido sob refrigeração até sua utilização.

4.2 Preparo do inóculo

O preparo do inóculo do fungo X ocorre em três etapas. A primeira consiste no cultivo em placas de Petri contendo meio sólido Y previamente esterilizado em autoclave e vertido em placas, até solidificação, conforme indicações do fabricante. As placas com meio sólido foram inoculadas com pedaços de aproximadamente 1 cm² de micélio do fungo X e posteriormente incubadas em estufa à 30 °C por 7 dias.

Após esta etapa, o fungo X cultivado em meio sólido seguiu para um cultivo em meio líquido Z, esterilizado em autoclave. Os meios líquidos inoculados foram incubados em shaker por 7 dias sob agitação de 120 rpm a 25 °C.

Na terceira etapa, sementes de trigo foram inoculadas a partir do cultivo em meio líquido. Para isso, as sementes foram cozidas e autoclavadas em sacos plásticos. A inoculação foi realizada em ambiente estéril (fluxo laminar) em uma proporção específica de inóculo líquido em relação ao peso das sementes.

4.3 Preparo dos substratos para cultivo do fungo

Os resíduos agroindustriais utilizados para cultivo do micélio fúngico foram obtidos de produtores nacionais. Estes resíduos foram utilizados secos e triturados com auxílio de moinho de facas em granulometria de aproximadamente 10 mm e aplicados de forma isolada ou combinados entre si (Tabela 3).

Tabela 3 - Combinações de substratos preparados a partir de diferentes resíduos agroindustriais

Numeração do substrato	Combinações dos resíduos
1	Serragem
2	Fibra de palma
3	Casca de arroz
4	Bagaço de cana-de-açúcar
5	Casca de soja e serragem
6	Bagaço de cana de açúcar e serragem
7	Espiga de milho e serragem

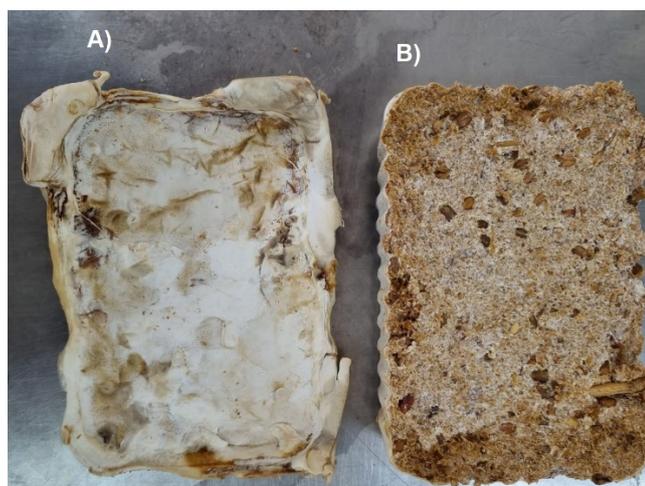
Fonte: Autoria própria (2022)

Cada substrato foi preparado com adição de água e outros nutrientes sólidos ao resíduo agroindustrial. O substrato misturado foi dividido em sacos plásticos com

o mesmo peso em cada saco. Após esterilização e resfriamento à temperatura ambiente seguiram para a etapa de inoculação.

A inoculação e cultivo foram realizados em recipientes plásticos com tamanho 15x10x5 cm, sendo respectivamente o comprimento, largura e altura. A acomodação do substrato esterilizado no recipiente de cultivo foi realizada em cabine de fluxo laminar e para cada combinação de substrato foi feito triplicata. Ao substrato foi adicionado uma proporção específica de sementes de trigo com micélio em relação ao peso total de substrato. Essa mistura foi compactada no recipiente plástico e então acomodados na sala de cultivo sob temperatura de 25 °C, umidade de 80% e sem a presença de luz. O crescimento do micélio foi acompanhado durante todo o tempo de incubação (30 dias) para garantir a qualidade do micélio aéreo extraído e utilizado para desenvolvimento do tecido similar ao couro bovino. O micélio aéreo extraído dos substratos está representado na Fotografia 1.

Fotografia 1 – Micélio aéreo extraído do substrato resíduo de milho com serragem



Legenda: A) micélio aéreo extraído, B) substrato com micélio vegetativo.

Fonte: autoria própria (2022)

4.4 Extração do micélio, pré-tratamento e curtimento

Após o período do cultivo, os micélios aéreos foram extraídos dos substratos, suas respectivas dimensões e pesos foram registrados. Depois da extração, os substratos com micélio vegetativo foram doados para produtores agrícolas da região de Ponta Grossa/Paraná para serem utilizados como condicionadores de solo. Então, os micélios aéreos foram submetidos a um pré-tratamento para modificar seu pH e

melhorar as ligações do mesmo com o tanino, após o tempo que os micélios ficaram sob o pré-tratamento, foram lavados com água e submetidos ao procedimento de curtimento com tanino vegetal fornecido pela empresa Seta (BAYER *et al.*, 2015). Todas as amostras de micélio foram tratadas com as mesmas condições de concentração de tanino e tempo de curtimento.

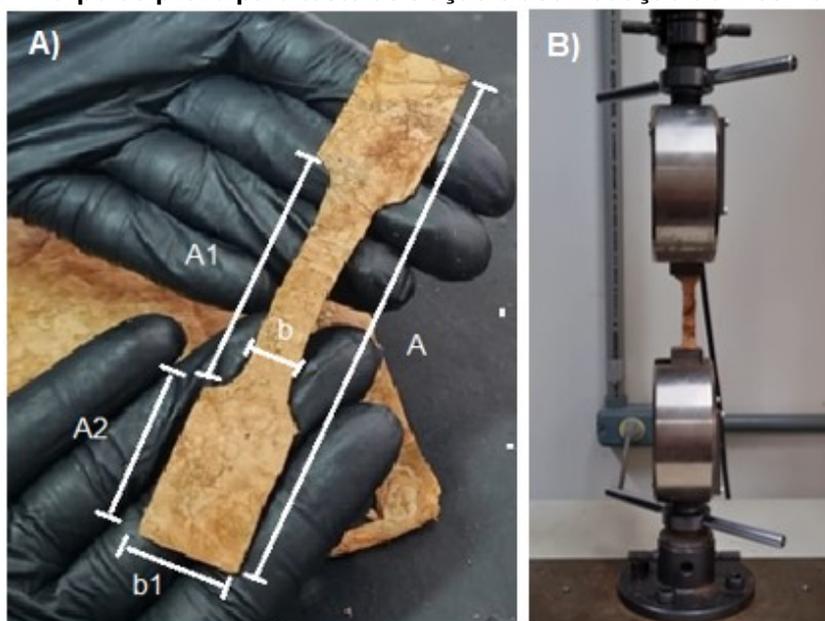
Em seguida todos os tecidos foram prensados com prensa de ar comprimido com 3,5 bar durante 3 minutos à 50 °C. (BAYER *et al.*, 2015). Por fim, foram realizados testes de resistência a tração, resistência ao rasgamento e absorção de água. Os resultados foram analisados através do método estatístico ANOVA com nível de significância (p-valor) de 5% para selecionar a combinação de substrato utilizado para otimização.

4.5 Preparo e acondicionamento das amostras para testes de resistência a tração, rasgamento e absorção de água

4.5.1 Resistência à tração

Os testes de resistência à tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG. Os corpos de prova foram cortados em triplicata e acondicionados seguindo as indicações da norma ABNT NBR ISO 3376 (2014) ilustrado na Fotografia 2, suas dimensões foram medidas e padronizadas. Os corpos de prova foram submetidos à uma velocidade de separação das garras de 100mm/min e a uma força de 100 N no equipamento universal Shimadzu, modelo AG-I 10kN com célula de carga de capacidade de 10 kN.

Fotografia 2 - Corpo de prova para teste de tração e acomodação do mesmo no equipamento



Legenda: A) Corpo de prova (A:110 mm, A1: 50 mm, A2: 30 mm, b: 10 mm e b1: 20 mm); B) equipamento para o teste de resistência à tração.

Fonte: autoria própria (2023)

Para determinação da resistência a tração, Tn , em N/mm^2 (Newton por milímetro quadrado), foram registrados os valores obtidos nos ensaios para o cálculo, seguindo a Equação 1.

$$Tn = \frac{F}{w*t} \quad (1)$$

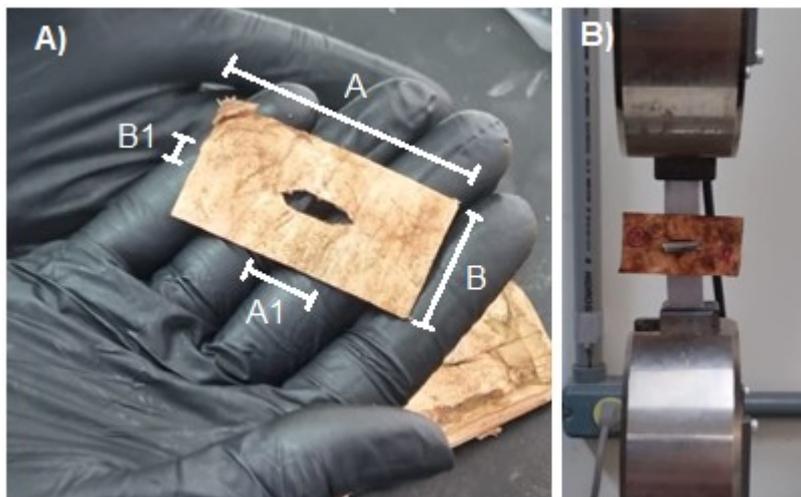
Onde F é a maior força registrada, em Newtons; w é a média da largura do corpo de prova, em milímetros e t é a média da espessura do corpo de prova, em milímetros.

4.5.2 Força de rasgamento

Os corpos de prova para o teste de rasgamento de extremidade dupla foram cortados em triplicata tendo suas dimensões medidas com os valores descritos na legenda, sendo acondicionados seguindo as indicações da norma ABNT NBR ISSO 3377-2 (2014) ilustrados na Fotografia 3. Para o teste de força de rasgamento, os corpos de prova foram submetidos à uma velocidade de separação das garras de 100mm/min e a uma força de 100 N no equipamento universal Shimadzu, modelo AG-

l 10kN com célula de carga de capacidade de 10 kN adicionando a garra específica para o teste também determinada pela norma.

Fotografia 3 – Corpo de prova para teste de rasgamento e acomodação do mesmo no equipamento



A) Corpo de prova (A: 50 mm, A1: 20 mm, B: 25 mm e B1: 5 mm);
B) equipamento para o teste de força de rasgamento.

Fonte: autoria própria (2023)

A determinação da força de rasgamento foi obtida por meio do cálculo da média entre a força de rasgamento (N) dos três corpos de prova de cada substrato.

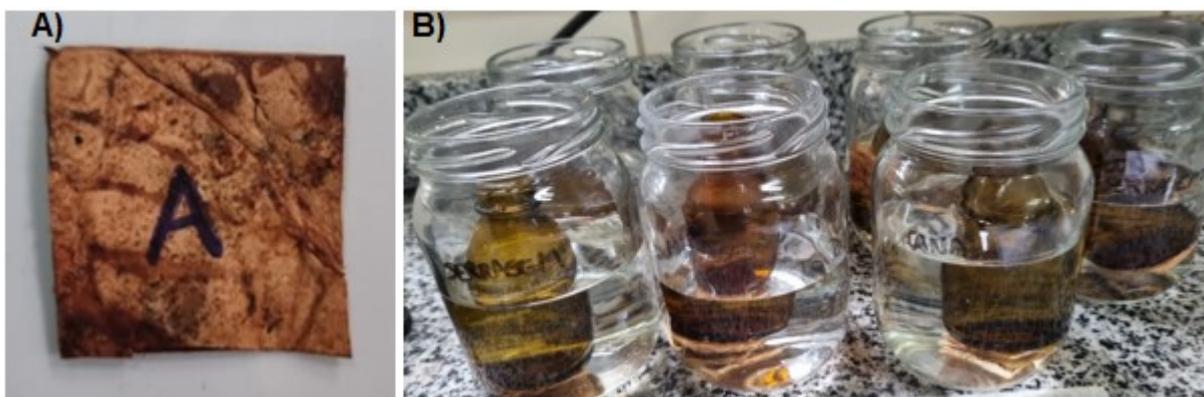
4.5.3 Absorção de água

Os testes de absorção de água foram realizados no Laboratório de fermentações da UTFPR-PG. Para o teste de absorção de água seguiu-se uma adaptação da norma ASTM D6015-21 que consiste em determinar a absorção de água estática para couro bovino através da diferença de massa para quantificar a água absorvida pelo tecido. O tamanho do corpo de prova utilizado foi um quadrado de 4 cm² e o experimento foi realizado ambientando os corpos de prova a 23±2 °C em estufa por 24 horas, foram realizados em temperatura ambiente. No presente trabalho os corpos de prova foram medidos 3 tempos diferentes para fins de triplicata. Foi medida a massa seca do tecido, a massa depois de 15 minutos, 120 minutos e 24 horas que o corpo de prova foi submerso em água. Para o cálculo da absorção de água, Q (%), utilizou-se a Equação 2 e o resultado obtido em porcentagem.

$$Q = \frac{m_i - M}{M} \times 100 \quad (2)$$

Onde m_i é a massa do corpo de prova em gramas depois de 15 minutos, 120 minutos e 24 horas submerso e M é a massa do corpo de prova seco, em gramas.

Fotografia 4 – Corpos de prova submersos para medição da absorção de água



Legenda: A) Corpo de prova (A:2cm²); B) teste de absorção de água

Fonte: autoria própria (2023)

4.6 Delineamento Composto Central Rotacional

As condições de curtimento obtido pelo resultado dos testes descritos foram otimizadas através da aplicação de Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

Este delineamento foi planejado com auxílio do software e Excel, foram realizados 12 ensaios nos quais 4 deles foram testes de ponto central sendo as variáveis independentes a concentração de tanino vegetal (%) e o tempo de curtimento (dias) e como variáveis dependentes: a resistência à tração (MPa) e força de rasgamento (MPa) (Tabela 4). A concentração de tanino variou de 10% a 30% em relação a massa de micélio e o tempo de curtimento de 1 a 7 dias (BAYER *et al.*, 2015).

Tabela 4 – Delineamento Composto Central Rotacional para tratamento do micélio fúngico, com as variáveis codificadas e reais

Ensaio	X1 - Tanino (%)	X2 - Tempo (dias)
1	12,9 (-1,00)	1,9 (-1,00)
2	27,1 (1,00)	1,9 (-1,00)
3	12,9 (-1,00)	6,1 (1,00)
4	27,1 (1,00)	6,1 (1,00)
5	10,0 (-1,41)	4,0 (0,00)
6	30,0 (1,41)	4,0 (0,00)
7	20,0 (0,00)	1,0 (-1,41)
8	20,0 (0,00)	7,0 (1,41)
9	20,0 (0,00)	4,0 (0,00)
10	20,0 (0,00)	4,0 (0,00)
11	20,0 (0,00)	4,0 (0,00)
12	20,0 (0,00)	4,0 (0,00)

Fonte: Autoria própria (2022)

Após o curtimento, plastificação e prensagem foram realizados o teste de resistência à tração (ABNT – NBR 3376, 2014) e resistência à rasgamento (ABNT – NBR 3377-2, 2014) em que foram feitos novamente os corpos de prova de micélio seguindo as dimensões respectivas para cada teste. Os dados obtidos foram aplicados de acordo com a seguinte equação polinomial de segunda ordem (3).

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \varepsilon \quad (3)$$

Onde Y é a resposta prevista; β_0 é a interseção; β_1 e β_2 são os coeficientes lineares; β_{11} e β_{22} são os coeficientes quadráticos; β_{12} é o coeficiente de interação e x_1 e x_2 são as variáveis independentes, concentração de tanino (%) e tempo (dias), respectivamente; e ε é o erro experimental (RODRIGUES, 2014). A análise de variância (ANOVA) e os gráficos de superfície de resposta foram realizados com auxílio do programa Statistica versão 10.0 (StatSoft, USA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise do efeito de diferentes substratos para cultivo do micélio fúngico

Os micélios cultivados nos diferentes substratos foram avaliados em relação a biomassa (g), espessura (mm), resistência à tração (MPa), força de rasgamento (N) e absorção de água (%). Os dados foram analisados estatisticamente ao nível de significância de 5% pela análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi aplicado para verificar a diferença estatística entre as médias dos valores dos fatores avaliados (Tabela 6).

Tabela 5 – Avaliação dos substratos pelo teste estatístico Tukey

Substratos	Biomassa (g)	Espessura (mm)	Resistência à tração (MPa)	Força de rasgamento (N)	Absorção de água (%)
Serragem	23,67 ± 4,04 ^a	1,35 ± 0,31 ^c	2,47 ± 0,55 ^d	8,28 ± 2,64 ^{gh}	251,28 ± 29,90 ^{ij}
Serragem com milho	22,00 ± 0,00 ^a	1,57 ± 0,21 ^c	2,42 ± 0,31 ^d	16,65 ± 5,60 ^f	286,82 ± 15,34 ⁱ
Bagaço de cana-de-açúcar	8,00 ± 0,00 ^b	1,15 ± 0,19 ^c	0,86 ± 0,12 ^e	4,98 ± 0,87 ^{gh}	272,60 ± 2,39 ⁱ
Cana com serragem	15,33 ± 2,89 ^{ab}	1,11 ± 0,11 ^c	1,32 ± 0,28 ^e	7,80 ± 1,34 ^{gh}	257,43 ± 14,83 ⁱ
Soja com serragem	24,00 ± 0,00 ^a	1,87 ± 0,30 ^c	2,26 ± 0,21 ^d	12,33 ± 2,89 ^{fg}	205,96 ± 11,77 ⁱ
Palma	19,00 ± 3,46 ^a	1,18 ± 0,38 ^c	0,96 ± 0,23 ^e	3,02 ± 0,92 ^h	249,99 ± 20,77 ^{ij}
Casca de arroz carbonizado	17,33 ± 8,08 ^{ab}	1,54 ± 0,72 ^c	1,17 ± 0,10 ^e	4,50 ± 0,96 ^h	240,20 ± 9,89 ^{ij}

Legenda: Letras iguais significa que não há diferença estatística significativa, letras diferentes significa que há diferença estatística significativa entre os substratos testados ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2023)

Para a variável biomassa os substratos compostos por serragem ($23,67 \pm 4,04$ g), serragem com resíduo de milho ($22,00 \pm 0,00$ g), soja com serragem ($24,00 \pm 0,00$ g) e palma ($19,00 \pm 3,46$ g) tiveram suas médias estatisticamente idênticas, enquanto cana-de-açúcar ($15,33 \pm 2,89$ g) e casca de arroz carbonizado ($19,00 \pm 3,46$ g) foram estatisticamente iguais entre si e apenas cana-de-açúcar se diferenciou no valor de biomassa entre as demais. O primeiro conjunto citado que engloba os substratos elencados pela letra a na Tabela 5 foram destacados como melhores opções de micélio aéreo para aplicação no DCCR, por apresentarem os maiores valores de biomassa.

Em relação à espessura, nenhum valor apresentou diferença estatística entre si, portanto este parâmetro não influenciou os outros testes realizados, como de resistência à tração e força de rasgamento.

Para a resistência à tração os valores médios dos substratos de serragem ($2,47 \pm 0,55$ MPa), serragem com milho ($2,42 \pm 0,31$ MPa) e serragem com soja ($2,26 \pm 0,21$ MPa) foram estatisticamente semelhantes entre si, sendo os maiores valores obtidos. Os substratos de bagaço de cana-de-açúcar ($0,86 \pm 0,12$ MPa), bagaço de cana-de-açúcar com serragem ($1,32 \pm 0,28$ MPa), casca de arroz carbonizado ($1,17 \pm 0,10$ MPa) e resíduo de palma ($0,96 \pm 0,23$ MPa) apresentaram os menores valores e foram estatisticamente iguais. Para verificar se o curtimento realmente foi efetivo para resistência à tração foi realizado o teste em duplicata com o micélio sem tratamento cultivado em serragem (substrato padrão utilizado pela startup), sendo sua média de $1,22 \pm 0,22$ MPa, inferior ao de serragem com curtimento ($2,47 \pm 0,55$ MPa), comprovando a efetivação do tratamento.

A força de rasgamento foi o parâmetro que mais se distinguiu entre os substratos, sendo que milho com serragem apresentou o maior valor ($16,65 \pm 5,60$ N) e diferente estatisticamente dos demais. Soja com serragem ($12,33 \pm 2,89$ N) também apresentou diferença estatística entre os demais, já serragem ($8,28 \pm 2,64$ N), bagaço de cana-de-açúcar ($4,98 \pm 0,87$ N) e serragem com bagaço de cana-de-açúcar ($7,80 \pm 1,84$ N) apresentaram-se estatisticamente idênticos. Por fim, casca de arroz carbonizado ($4,50 \pm 0,96$ N) e resíduo de palma ($3,02 \pm 0,92$ N) também foram idênticos entre si, apresentando os menores valores. Em paralelo, para confirmar a efetivação do curtimento do micélio foi realizado o teste de força de rasgamento em duplicata para o micélio puro obtendo o valor médio de $6,44$ N, também inferior ao valor do micélio produzido em serragem com curtimento ($8,28 \pm 2,64$ N).

O teste de absorção de água apresentou três conjuntos de dados similares entre si, no entanto, os valores considerados como ideias devem ser os menores já que não é esperado pela startup que o tecido seja permeável. O primeiro conjunto com os menores valores de absorção de água incluiu apenas o substrato soja com serragem ($205,96\% \pm 11,77\%$), o segundo conjunto abrangeu serragem ($251,28 \pm 29,90\%$), resíduo de palma ($249,99 \pm 20,77\%$) e casca de arroz carbonizado ($240,20 \pm 9,89\%$), o terceiro, com os maiores valores de absorção incluiu serragem com milho ($286,82 \pm 15,34\%$), bagado de cana-de-açúcar com serragem ($257,43 \pm 14,83\%$) e bagaço de cana-de-açúcar ($272,60 \pm 2,39\%$). No entanto, este parâmetro foi desconsiderado na otimização do curtimento do micélio fúngico, pois normalmente é uma técnica empregada principalmente para avaliar a influência dos processos de acabamento no couro animal, as quais não foram abrangidas neste estudo (MANCOPES, 2011).

Como o resíduo de milho com serragem apresentou os melhores resultados de sendo biomassa, resistência à tração e destacando-se em força de rasgamento, o mesmo foi utilizado para a etapa de otimização do curtimento micelial aplicando a ferramenta DCCR. Apresentou os valores de resistência à tração de $2,42 \pm 0,31$ MPa, força de rasgamento de $16,65 \pm 5,60$ N, biomassa de $22,00 \pm 0,00$ g, espessura $1,57 \pm 0,21$ mm e absorção de água de $286,82 \pm 14,34\%$ (Tabela 5).

5.2 Otimização do curtimento do micélio fúngico utilizando Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

O curtimento do micélio fúngico realizado com tanino vegetal através de Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) teve o intuito de avaliar os efeitos que os parâmetros: tempo de curtimento e concentração de tanino surtiram na resistência à tração e força de rasgamento do tecido fúngico. Os micélios foram produzidos a partir do substrato composto por resíduos de milho com serragem, escolhido no item 5.1. A Tabela 6 apresenta os valores de resistência à tração e força de rasgamento obtidos para cada ensaio.

Tabela 6 – Resultado do Delineamento Composto Central Rotacional para tratamento do micélio fúngico com resíduo de milho com serragem com as variáveis codificadas e reais

Ensaio	X1 - Tanino (%)	X2 - Tempo (dias)	Tração (MPa)	Espessura rasgamento (mm)	Rasgamento (N/mm)
1	12,9 (-1,00)	1,9 (-1,00)	0,94	0,83	5,99
2	27,1 (1,00)	1,9 (-1,00)	1,38	2,09	9,48
3	12,9 (-1,00)	6,1 (1,00)	2,01	1,11	7,25
4	27,1 (1,00)	6,1 (1,00)	0,62	1,31	5,45
5	10,0 (-1,41)	4,0 (0,00)	1,87	1,55	7,20
6	30,0 (1,41)	4,0 (0,00)	1,35	1,52	6,50
7	20,0 (0,00)	1,0 (-1,41)	0,34	2,15	6,25
8	20,0 (0,00)	7,0 (1,41)	1,23	1,68	7,30
9	20,0 (0,00)	4,0 (0,00)	1,39	1,96	5,96
10	20,0 (0,00)	4,0 (0,00)	1,53	1,78	6,54
11	20,0 (0,00)	4,0 (0,00)	1,68	1,24	8,28
12	20,0 (0,00)	4,0 (0,00)	1,45	2,27	7,28

Fonte: Autoria própria (2023)

Os ensaios foram submetidos a análise de variância (ANOVA) com nível de significância 5%. O teste F foi aplicado e mostrou que o modelo apresentou alta significância estatística uma vez que o valor de F calculado foi maior que F tabelado. O modelo também apresentou alta precisão com o valor do coeficiente de determinação R^2 de 0,9352 indicando que 93,52% dos dados podem ser explicados pelo modelo gerado para a variável resistência à tração. A análise de variância (ANOVA) para o modelo gerado está descrita na Tabela 7.

Tabela 7 – Análise de variância (ANOVA) e coeficientes de regressão para a variável resistência a tração

Fatores	SQ	QM	Gl	F _{calc}	F _{tab}	F _{calc} /F _{tab}
M	2,400	2,400	5	17,08	4,387	19,008
R	0,166	0,028	6	-	-	-
T	2,566	-	11	-	-	-
R ²	0,9352					

Fatores	Coeficientes	p-valor
Interseção	1,511 (±0,083)	0,000002
[T]	-0,211(±0,060)	0,012122
[T] ²	0,060 (±0,067)	0,405709
t	0,196 (±0,060)	0,016462
t ²	-0,355(±0,067)	0,001783
[T] x t	-0,458(±0,084)	0,001595

Legenda: M: modelo; R: resíduo; T:total; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; gl: grau de liberdade; F_{calc}: F calculado; F_{tab}: F tabelado p<0,05; [T]: concentração de tanino; t: tempo; os valores destacados em negrito são estatisticamente significativos.

Fonte: Autoria própria (2023)

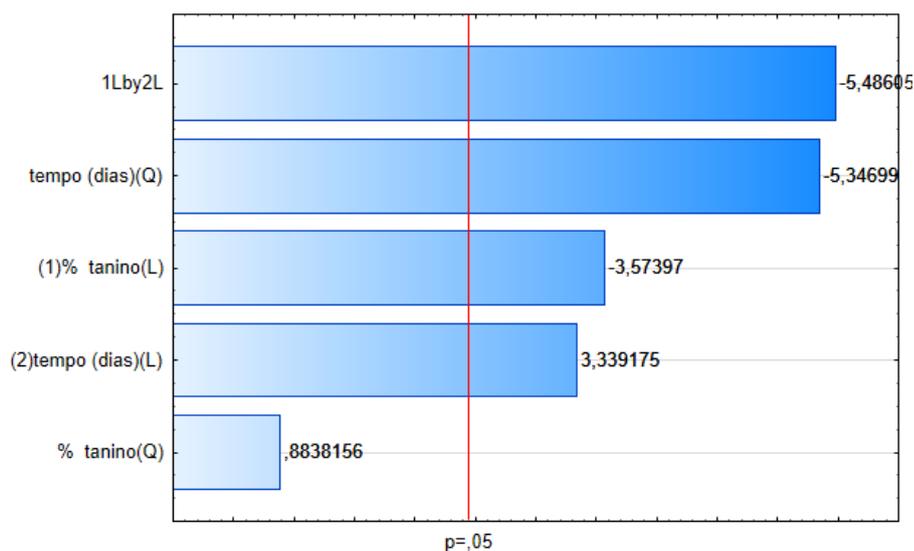
Nota-se na Tabela 7 que os dados analisados que geraram o modelo matemático representam estatisticamente o melhor curtimento para o micélio fúngico em relação à resistência à tração e pode ser expresso pela Equação 4, considerando apenas os termos significativos, destacados em negrito. A exclusão do fator tanino quadrático [T]² ocorreu, porque o mesmo mostrou-se não significativo quando seu valor de p não atingiu o requisito pré-estabelecido (<0,05), ou seja, não validou o modelo.

$$TC = 1,511 - 0,421T + 0,394t - 0,707t^2 - 0,914Tt \quad (4)$$

Onde TC é o curtimento, T é a concentração de tanino e t é o tempo.

O gráfico de Pareto (Gráfico 1) apresenta os efeitos positivo e negativo de cada fator e ilustra os termos significativos para o modelo à 95% de confiança. Os fatores negativos são aqueles multiplicados por -1 e possuem efeito inversamente proporcional em relação à sua aplicação, por exemplo, quanto maior o valor do fator concentração de tanino linear [T], menor será o efeito no modelo apresentado, o que explica que menores quantidades de tanino são mais favoráveis para o curtimento. Para o fator positivo, pode ser usado como exemplo o tempo linear [t], que confirma através de uma relação diretamente proporcional que quanto maior o tempo de curtimento melhores são os resultados.

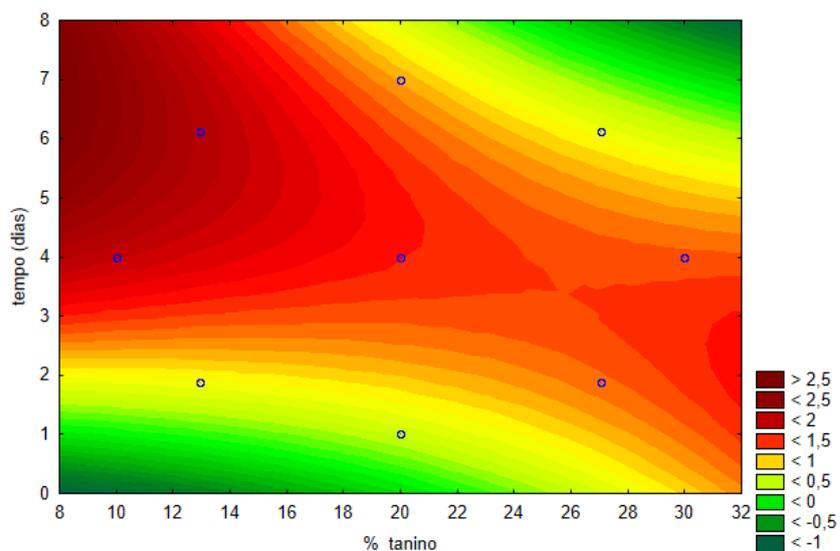
Gráfico 1 - Gráfico de Pareto para resistência à tração



Fonte: StatSoft, USA (2023)

No Gráfico 2, é possível observar uma afirmação dos resultados obtidos pelo Gráfico 1, onde o maior tempo de curtimento combinado com a menor concentração de tanino apresenta o maior efeito para a resistência à tração, sendo a faixa de valor ideal para o tempo entre 4 a 7 dias e para concentração de tanino entre 8 a 12%. As condições que levaram a máxima resistência a tração (2,01 MPa) foram com 12,9% de tanino e 6 dias de curtimento.

Gráfico 2 – Gráfico de contorno para a variável resistência à tração



Fonte: StatSoft, USA (2023)

A exposição por vários dias de curtimento combinada com agitação mecânica no processo de curtimento dos couros bovinos é utilizada para garantir a fixação de substâncias curtentes com o colágeno (proteína), chamada *crosslinkages* (ligações cruzadas). Esta etapa ocorre, pois, essas ligações necessitam de interferências físicas para efetivar a interação de hidrogênio que ocorre entre o colágeno e os taninos vegetais. Portanto, aplicando este princípio para o curtimento micelial, o maior tempo de exposição do micélio no curtimento sob agitação também pode promover ligações mais efetivas entre seu conteúdo de glicoproteínas e os taninos vegetais (LOPES, 2016).

O processo de transformação da pele animal em couro inclui a etapa de píquél, uma etapa preparatória da pele para o curtimento, em que as fibras de colágeno são preparadas para receber os agentes curtentes com solução de cloreto de sódio e ácido fórmico, processo que altera o pH e disponibiliza íons positivos (H^+) livres para as interações de hidrogênio. Assim como no processo de transformação da pele em couro, existe o processo de desacetilação do micélio, que transforma a quitina em quitosana liberando grupos amina (NH_2) que podem ser usados como *crosslinkers* adicionais, favorecendo as interações de hidrogênio (VANDELOOK *et al.*, 2021).

Como a desacetilação não foi aplicada no presente trabalho a confirmação exata da concentração ideal (12,9%) não pode ser totalmente concluída, tendo que aplicar outra análise mais eficiente como o FTIR (Infravermelho por Transformada de Fourier) para quantificar e identificar a presença de moléculas de quitosana, favorecendo as interações de hidrogênio entre os grupos amina e taninos que conferem resistência ao material. Mas, pode-se concluir que o emprego de concentrações menores de tanino vegetal foi eficiente para este experimento de curtimento do micélio e pode proporcionar à startup redução nos custos para tratamento do tecido fúngico e nas concentrações de resíduos orgânicos nos efluentes líquidos gerados (CETESB, 2015).

Para a variável força de rasgamento ($<0,05$), o F calculado foi maior do que o F tabelado, portanto, apresentou diferença estatística significativa. No entanto, o valor de R^2 foi baixo (0,536), representando que apenas 53,6% dos dados podem ser explicados pelo modelo gerado, o mesmo não pode ser considerado estatisticamente preditivo (RODRIGUES, 2014).

Tabela 8 – Análise de variância (ANOVA) e coeficientes de regressão para a variável força de rasgamento

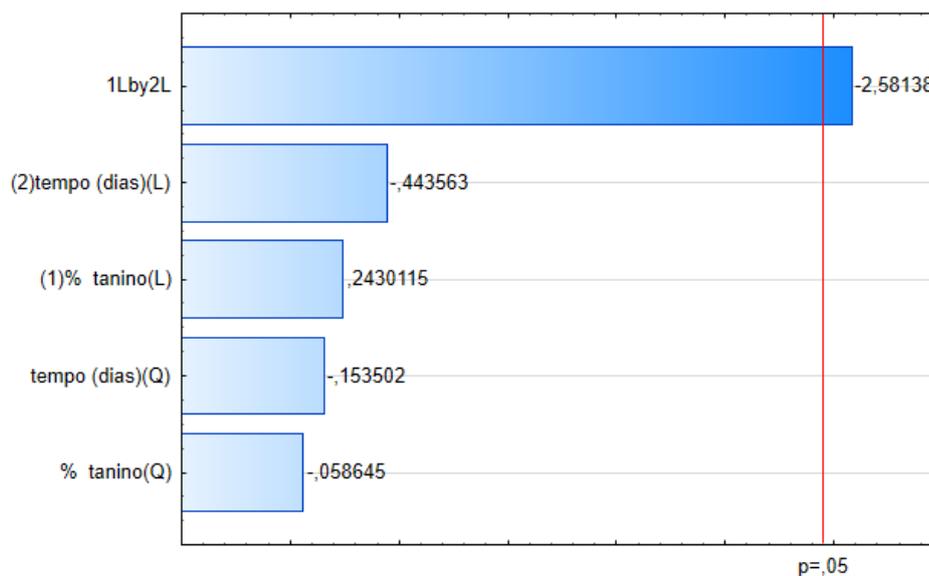
Fatores	SQ	QM	GI	F _{calc}	F _{tab}	F _{calc} /F _{tab}
M	7,260099	7,260099	5	6,946	4,387	1,583
R	6,274150	1,045691	6	-	-	-
T	13,53514	-	11	-	-	-
R ²	0,536					

Fatores	Coefficientes	p-valor
Intersecção	7,014 (±0,511)	0,000009
[T]	0,176 (±0,724)	0,816091
[T] ²	-0,048 (±0,812)	0,955139
T	-0,321 (±0,724)	0,672906
t ²	-0,125 (±0,812)	0,883035
[T] x t	-2,640 (±1,023)	0,041692

M: modelo; R: resíduo; T:total; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; gi: grau de liberdade; F_{calc}: F calculado; F_{tab}: F tabelado p<0,05; [T]: concentração de tanino; t: tempo; os valores destacados em negrito são estatisticamente significativos.

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 3 – Gráfico de Pareto para força de rasgamento



Fonte: StatSoft, USA (2023)

Na avaliação dos parâmetros de força de rasgamento foi adotada como unidade N/mm, para que os valores de espessura dos corpos de prova não influenciassem no resultado, uma vez que apresentaram espessuras diferentes entre si. Apesar de apresentar no gráfico de Pareto (Gráfico 3) um fator significativo (intersecção entre concentração de tanino e tempo), o baixo valor de R² indica que o teste de força de rasgamento não é o parâmetro ideal para avaliar os efeitos da concentração de tanino e tempo de curtimento do tecido fúngico. Isso porque, de acordo com a norma ABNT utilizada, para o couro bovino devem ser feitos dois corpos de prova, um que deve ser cortado paralelamente e outro perpendicularmente à

coluna dorsal do gado devido ao sentido das fibras de colágeno que se organizam de forma paralela à um eixo (SILVA, 2012).

No entanto, o tecido fúngico é o micélio tratado composto por hifas que se organizam de forma emaranhada e tendem a se desenvolver de forma apical, ou seja, não crescem uniformemente no substrato, pois estão em busca de oxigênio (O₂) com sua maior concentração na camada superior do substrato. Portanto, os resultados obtidos não podem ser aplicados para este tipo de material, uma vez que o micélio e o colágeno não são estruturalmente semelhantes (GRAF, 2004).

6 CONCLUSÃO

Para este estudo, a análise de variância (ANOVA) mostrou de forma efetiva que o resíduo de milho com serragem se diferenciou estatisticamente entre os resíduos, apresentando os melhores resultados de biomassa, resistência à tração e força de rasgamento, por isso foi escolhido como substrato para cultivo do micélio que posteriormente foi curtido com tanino vegetal. A variável absorção de água não foi incluída por não fornecer dados estatísticos representativos para a avaliação do processo de curtimento do micélio.

A ferramenta Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) permitiu concluir que o teste de resistência a tração para o substrato de milho com serragem apresentou significância estatística com o tempo de curtimento e concentração de tanino vegetal, ao mesmo tempo que para a força de rasgamento não houve significância estatística, sendo assim são necessárias outras ferramentas que avaliem sua influência para tecido.

Por fim, a análise de variância (ANOVA) e o Delineamento Composto Central Rotacional mostraram-se eficientes para a escolha e otimização do melhor processo para o curtimento do tecido, reduzindo a quantidade de tanino que é utilizada para o curtimento, desde que o micélio seja curtido pelo tempo necessário estabelecido.

REFERÊNCIAS

AGUSTINI, C. B. **Isolamento microbiano na biodegradação de resíduos de curtumes**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre. UFRGS, 2014.

ABIB. **Potencial de biomassa de resíduos agroindustriais no Brasil**: o potencial de energia primária dos resíduos agrícolas na projeção para 2030 requer investimentos para o desenvolvimento de rotas tecnológicas para sua recuperação. Avicultura. Sustentabilidade. Setembro, 2022. Disponível em: [https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/potencial-de-biomassa-de-residuos-agroindustriais-no-brasil/20220905-082359-e387#:~:text=No%20%C3%A2mbito%20dos%20res%C3%ADduos%20do,\(mil%20ton%2Fano\)](https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/potencial-de-biomassa-de-residuos-agroindustriais-no-brasil/20220905-082359-e387#:~:text=No%20%C3%A2mbito%20dos%20res%C3%ADduos%20do,(mil%20ton%2Fano).). Acesso em 12 Abril 2023.

ABREU, Jéssica Aline Soares de, ROVIDA, Amanda Flávia da Silva, PAMPHILE, João Alencar. **FUNGOS DE INTERESSE: APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS**. UEM, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015. Vol. 21, n.1, pp. 55-59. Disponível em: https://www.mastereditora.com.br/periodico/20150101_115351.pdf. Acesso em 21 Nov. 2022.

[AICSUL] ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUMES DO RIO GRANDE DO SUL. Boletim estatístico do couro 2001. Novo Hamburgo, RS.

AGROPÓS. **Plantação de milho: descubra em 10 passos o sucesso**. 2023. Disponível em: <https://agropos.com.br/plantacao-de-milho/#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20milho%20no,de%20agosto%2C%20na%20regi%C3%A3o%20Sul>. Acesso em 26 de abril de 2023.

Aristimunha, P. C. **Funções dos polissacarídeos estruturais em animais**. Seminário apresentado na disciplina Bioquímica do Tecido Animal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. 9 p. Disponível em: https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2014/08/polissac_estrut.pdf. Acesso em 13 de maio de 2023.

Attias, N.; Danai, O.; Ezov, N.; Tarazi, E.; Grobman, Y.J. Developing novel applications of mycelium based biocomposite materials for design and architecture. In Final COST FP1303 Conference **“Building with Bio-Based Materials: Best Practice and Performance Specification”**; The University of Zagreb: Zagreb, Croatia, 2017.

BAYER, Eben; MELNTYRE, Gavin R.; **Method for growing mycological materials**. Depositante: Eben Bayer e Gavin R. Melntyre. US 2015/0247115 A1. Depósito: 14 mai. 2015. Concessão: 03 set. 2015.

BENNETT, J.W. **Mycotechnology: the role of fungi in biotechnology**, Journal of Biotechnology, 66:101–107, 1998.

BOSSA, L. F. et al. **Resíduos agroindustriais para produção de produtos biotecnológicos**. In: Agroecologia: caminho de preservação do meio ambiente. [s.l: s.n.]. p. 9–25, 2019.

BRANCO, Claudia Maria; CRISTIANE, Regina Budziak; PAIXÃO, Ronei Ezequiel da; MANGRICH, Antonio Salvio. Aproveitamento de resíduo florestal para húmus. Revista da Madeira. Abril, 2015. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=738&subject=E. Acesso em 20 abr. 2023.

BRÁS, Natécia. **Polissacarídeos**. Revista Ciência Elementar. V3(4). 2015. Faculdade de ciências da universidade do Porto. Disponível em: <http://doi.org/10.24927/rce2015.231>. Acesso em: 24 de abril de 2023.

CETESB. Secretaria do Meio Ambiente. Curtumes: Série P+L. [São Paulo]: [GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO]. 2005. Disponível em: <https://www.crq4.org.br/downloads/curtumes.pdf>. Acesso em 20 nov. 2022.

CHANDEL, A. K.; SINGH, O. V. **Weedy lignocellulosic feedstock and microbial metabolic engineering: Advancing the generation of “Biofuel”**. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 89, n. 5, p. 1289–1303, 2011.

CICB. Exportações Brasileiras de couros e peles. Brazilian Leather. 2023. Disponível em: <https://cicb.org.br/storage/files/repositories/phpWIFcA0-exportacoes-couros-e-peles-mar23-vr.pdf>. Acesso em 17 abr. 2023.

COSTA FILHO, D. V. et al. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos**. In: II Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER-PDVAgro 2017. ISSN: 2526-7701.Oral. João Pessoa: Pernambuco, 2017, p. 1–8, 2017.

COUROS, MSul. O couro: informações gerais. 2022. Disponível em: <https://www.msulcouros.com.br/pagina/o-couro.html>. Acesso em 02 de Dezembro de 2022.

DIAZ, A. B.; BLANDINO, A.; CARO, I. **Value added products from fermentation of sugars derived from agro-food residues**. Trends in Food Science and Technology, v. 71, p. 52–64, 2018.

EMBRAPA. **Palma Forrageira na alimentação animal**. Teresina, 2015. ISSN 0104-866X. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139110/1/Doc233.pdf>. Acesso em 26 de abril de 2023.

EMBRAPA. **Aumento da importância das proteínas alternativas à carne**. 2023. Megatendências. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/transformacoes-rapidas-no-consumo-e-na-agregacao-de-valor/sinal-e-tendencia/aumento-da-importancia-das-proteinas-alternativas-a-carne>. Acesso em 20 de maio de 2023.

EMBRAPA. **Produção de couro**. Circular Técnica, pág. 33. 2023. Disponível em: <https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/ct/ct33/couro.htm>. Acesso em 25 de maio de 2023.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande**

do Sul. 2003. 173 f., Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

FEITOSA, B. da C. **Aproveitamento econômico dos resíduos de madeira como alternativa para minimização de problemas sócio-ambientais no estado do Pará.** 2007.

FIA. **Commodities agrícolas: O que são, mercado e benefícios de investir.** Estratégia e organizações. FIA Business School. 2021. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/commodities-agricolas/>. Acesso em 12 de abril de 2023.

FUNGICULTURA. 2022. Disponível em: <https://www.fungicultura.com.br/produto/ganoderma-multipileum-cultura-em-placa/>. Acesso em 25 de maio de 2023.

GANEM, Roseli Senna. **Curtumes: aspectos ambientais.** Consultoria legislativa. Junho, 2007. Biblioteca digital da câmara dos deputados. Acesso em 09 de maio de 2023.

GARCIA, Simone. **Por dentro do cocho – Bagaço de cana na alimentação de bovinos de corte.** Novembro de 2021. Disponível em: <https://agrocereasmultimix.com.br/blog/por-dentro-do-cocho-bagaco-de-cana-na-alimentacao-de-bovinos-de-corte/>. Acesso em 22 de abril de 2023.

GOMES, Ana Cristina. 9 alternativas de couro vegano que você precisa conhecer. VeganBusiness. 2022. Disponível em <https://veganbusiness.com.br/9-alternativas-de-couro-vegano-que-voce-precisa-conhecer/>. Acesso em 10 de maio de 2023.

GRAF, Letícia Vanessa. Biologia celular, interações micelianas e cultivo de *Lepista sórdida*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/33181/Monografia%20Leticia%20Vanessa%20Graf.pdf;jsessionid=D2DE7DF0FBB9C92C9BDA17A2E8036CE3?sequence=1>. Acesso 20 de maio de 2023.

G01. **Startup usa fermentação para criar um novo tipo de couro.** Empresas e negócios. 2019. Disponível em <https://revistapegn.globo.com/Startups/noticia/2019/04/startup-usa-fermentacao-para-criar-um-novo-tipo-de-couro.html>. Acesso em 10 de maio de 2023.

HABITABILITY. Economia circular: entenda o que é e como funciona. 2022. Disponível em: https://habitability.com.br/economia-circular-entenda-o-que-e-e-como-funciona/?utm_source=google_pago&utm_medium=&utm_content=&gclid=Cj0KCQiA4aacBhCUARIsAI55maHk_6k2hjPDhmJZoYqzmqw9Oht2dKTD5Wyk0sPmeDUs3IX4kY-cad08aAiQgEALw_wcB. Acesso em 02 de dezembro de 2022.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia Negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído.** 2000. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. 2000.

HÖLKER, U.; LENZ, J. **Solid-state fermentation - are there any biotechnological advantages?** Current Opinion in Microbiology, v.8, n.3, p.301-306, 2005.

HUNIFORME. **Identificações do couro**. 2023. Disponível em: http://www.hunifome.com.br/Materia_Prima_couro.pdf. Acesso em 22 de novembro de 2022.

IBGE. **Produção Agropecuária**. Ranking agricultura – valor da produção. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/br>. Acesso em 12 de abril de 2023.

[IPPC] INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL – Joint Research Centre – European Commission. **Reference document on best available techniques for the tanning of hides and skins**. Sevilha, fev.2003. Disponível em: <http://www.jrc.es/pub/english.cgi/0/733169>. Acesso em 20 nov. 2022.

Jacqueline A. Takahashi,a,Gesiane da S. Lima, Gabriel F. dos Santos, Fernanda H. Lyra, Alice F. da Silva-Hughes, Flávia A. G. Gonçalves. **Fungos filamentosos e química: velhos conhecidos, novos aliados**. Revista virtual de química. ISSN 1984-6835. Vol. 9, nº 6. Belo Horizonte, Minas Gerais. Disponível em < https://www.researchgate.net/profile/Alice-Ferreira-Silva/publication/322249839_Filamentous_Fungi_and_Chemistry_Old_Friends_New_Allies/links/5ebee90ca6fdcc90d67a18a8/Filamentous-Fungi-and-Chemistry-Old-Friends-New-Allies.pdf >. Acesso em 30 nov. 2022.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113p.Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

JONES, Mitchell; GANDIA, Antoni; JOHN, Sabu; BISMARCK, Alexander. **Leather-like material biofabrication using fungi**. Nature Sustainability. 2021.

KRISHNA, C. **Solid-state fermentation systems - an overview**. Critical Reviews in Biotechnology, v.25, n.1-2, p.1-30, 2005.

KUMAR, D.; SINGH, B.; KORSTAD, J. **Utilization of lignocellulosic biomass by oleaginous yeast and bacteria for production of biodiesel and renewable diesel**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 73, n. October 2015, p. 654–671, 2017.

LOPES, Emanoelli R.; MEDINA, Aline L.; RIBEIRO, Anderson S.; BRANDALISE, João N.; NUNES, Adriane N. **Caracterização elementar da casca de arroz e suas cinzas por MIP OES após decomposição ácida com sistema de refluxo**. RS, 2017. Disponível em: https://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=6671. Acesso em 26 de abril de 2023.

LOPES, Guillermo Soares Macedo. **Influência do pré-curtimento da pele para curtimento vegetal**. Departamento de engenharia química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/150738/001009352.pdf?sequence=1>. Acesso em 25 de maio de 2023.

MAPA. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 projeções de longo prazo**: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília: MAPA/ACE. 2018.SANTOS, A. M. M. M.; CORRÊA, A. R.; ALEXIM, F. M. B.; PEIXOTO, G. B. T. **Panorama do setor de couro no Brasil**.

BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 57 – 84, set.2002. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set1603.pdf>. Acesso em 18 de Novembro de 2022.

MARZO, C. et al. **Valorization of agro-industrial wastes to produce hydrolytic enzymes by fungal solid-state fermentation.** Waste Management and Research, v. 37, n. 2, p. 149–156, 2019.

MOKTADIR, Md. Abdul; AHMADI, Hadi Badri; SULTANA, Razia; ZOHRA, Fatema-Tuj, LIOU, James J.H.; REZAEI, Jafar. **Circular Economy Practices in the Leather Industry: A Practical Step towards Sustainable Development.** Journal Pre-Proof. 2019.

NACHILUK, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: <http://www.iaea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20maior,de%20litros%20de%20etanol1>. Acesso em: 30 de Novembro de 2022.

Nather K & Munro CA. FEMS Microbiology Letters 285: 137-145, 2008. Gow et al. Nature Reviews 10:112-122, 2012.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Lehninger Princípios de Bioquímica. 3 ed. São Paulo: Sarvier, 2002.

NGUYEN,Hau Trung; SAHA, Nabanita; NGWABEBHOH, Fahanwi Asabuwa; ZANDRAA, Oyunchimeg; SAHA, Tomas; SAHA, Petr. **Kombucha-derived bacterial cellulose from diverse wastes: a prudent leather alternative.** Cellulose. 2021.

OLIVEIRA, Alexandra Rocha de. **A qualidade do couro bovino no Brasil.** Embrapa gado de corte. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1914396/artigo-a-qualidade-do-couro-bovino-no-brasil#:~:text=E%20os%20resultados%20obtidos%20foram,em%20quase%20todos%20os%20couros..> Acesso em: 13 de maio de 2023.

OLIVEIRA, Cassiele. **Por dentro do Cocho – Casca de soja.** Agroceres. Junho de 2018. Disponível em: <https://agroceresmultimix.com.br/blog/por-dentro-do-cocho-casca-de-soja/>. Acesso em: 22 abril de 2023.

PINEDA, Afonso. **Os fungos como substitutos potenciais do couro.** Ed. 6. ISSN:2619-3191. Revista Bioika. 2020. Disponível em: <https://revistabioika.org/pt/econoticias/post?id=86>. Acesso em 13 de maio de 2023.

Raman, J.; Kim, D.-S.; Kim, H.-S.; Oh, D.-S.; Shin, H.-J. **Mycofabrication of Mycelium-Based Leather from Brown-Rot Fungi.** J. Fungi 2022, 8, 317. <https://doi.org/10.3390/jof8030317>. Acesso em 28 de Novembro de 2022.

RAVINDRAN, R. et al. **A review on bioconversion of agro-industrial wastes to industrially important enzymes.** Bioengineering, v. 5, n. 4, p. 1–20, 2018.

RODRIGUES, L. S. et al. **Gerenciamento de resíduos sólidos agrossilvipastoris e agroindustriais**. Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia (Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG), n. 68, 2013.

RODRIGUES, Maria Isabel. Planejamento de experimentos e otimização de processos – 3ª.Ed.-Campinas,SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2014.

ROSA, B. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na alimentação de bovinos de corte. **In: Simpósio Goiano sobre produção de bovinos de corte**. p. 153-161, 1999.

SADH, Pardeep Kumar; DUHAN, Surekha; DUHAN, Joginder Singh. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2018.

SANTOS, A. M. M. M.; CORRÊA, A. R.; ALEXIM, F. M. B.; PEIXOTO, G. B. T. **Panorama do setor de couro no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 57 – 84, set.2002. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set1603.pdf>. Acesso em: 21 Nov. 2022

SANTOS, Elisandro Ricardo Drescher dos. Material complementar ao livro *Sistemática Vegetal I: Fungos*. Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://uab.ufsc.br/biologia/files/2020/08/Fungos.pdf>. Acesso em 02 de dezembro de 2022.

SERINTER. Agenda 2030: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Secretaria de Relações Internacionais. 2022. Disponível em: <https://www.internacional.df.gov.br/agenda-2030-objetivos-do-desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

SILVA, Tatiane Ferreira da Silva, PENNA, Ana Lúcia Barretto. Colágeno: características químicas e propriedades funcionais. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/122273/ISSN0073-9855-2012-71-03-530-539.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

VANDELOOK, Simon; ELSACKER, Elise; WYLICK, Aurélie Van; LAET, Lars De; PEETERS, Eveline. **Current state and future prospects of pure mycelium materials**. *Fungal Biology and Biotechnology*. 2021.

WOLFE, Isobella. **Mushrooms, cactus, coke and more: 10 innovative leather alternatives to watch**. 2023. Good on you. Disponível em: <https://goodonyou.eco/eco-friendly-leather-alternatives/>. Acesso em 20 de maio de 2023.