
**RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS DO VALE DO IVAÍ-PR:
POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO PARA A PRODUÇÃO DE COGUMELOS
COMESTÍVEIS E ENZIMAS INDUSTRIAIS**

**AGROINDUSTRIAL WASTE FROM VALE DO IVAÍ-PR:
BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL FOR THE PRODUCTION OF EDIBLE
MUSHROOMS AND INDUSTRIAL ENZYMES**

Ingrid Emanuely Bueno Silva¹
Jaqueline Coelho Moreira²

RESUMO

Os resíduos agroindustriais são fontes importantes de matérias primas com potencial biotecnológico, no cultivo de cogumelos comestíveis e produção de enzimas industriais. A gestão eficiente dos resíduos gerados pela agroindústria reduz impactos ambientais e potencializa desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. Os resíduos gerados na produção agroindustrial, que se acumulam no ambiente, tornam-se uma preocupação crescente, a destinação sustentável é uma alternativa crucial para reduzir impactos ambientais e agregar valor econômico. O objetivo deste trabalho foi a) eleger resíduos agroindustriais gerados no Vale do Ivaí para o cultivo de cogumelos comestíveis do gênero *Pleurotus* e b) avaliar o potencial biotecnológico para produção de enzimas extracelulares. Foram feitos testes de crescimento com três cepas de *Pleurotus sp.*, popularmente conhecidas como shimeji preto, shimeji branco e shimeji salmão, empregando-se quatro resíduos agroindustriais. A análise da produção de enzimas celulasas, fenoloxidasas e amilases para cada um cepas de basidiomicetos foi realizada pela técnica *cup plate*, com substratos enzimáticos específicos. A enzima fenoloxidase foi produzida em todos os meios de cultivos e cepas de shimeji. A atividade enzimática de celulase foi identificada apenas nos cultivos com cepas de *shimeji salmão*. Embora não tenha ocorrido a formação de primórdios de frutificação durante a etapa de produção de cogumelos, observou-se o desenvolvimento completo da micelização nos meios de cultivo. Conclui-se que a gestão adequada dos resíduos, aliada ao cultivo de cogumelos comestíveis e a produção de enzimas, apresenta uma alternativa inovadora e sustentável. Contribuindo significativamente para a redução do impacto ambiental e o desenvolvimento de soluções economicamente viáveis.

1

Palavras-chave: resíduos agroindustriais; potencial biotecnológico; *Pleurotus sp.*; impacto ambiental.

ABSTRACT

Agro-industrial residues are important sources of raw materials with biotechnological potential, in the cultivation of edible mushrooms and production of industrial enzymes. The efficient management of waste generated by agroindustry reduces environmental impacts and enhances

¹ Instituto Federal do Paraná.

² Instituto Federal do Paraná.

the development of sustainable technologies. Waste generated in agro-industrial production, which accumulates in the environment, becomes a growing concern; sustainable disposal is a crucial alternative to reduce environmental impacts and add economic value. The objective of this work was a) to select agro-industrial waste generated in the Ivaí Valley for the cultivation of edible mushrooms of the genus *Pleurotus* and b) to evaluate the biotechnological potential for the production of extracellular enzymes. Growth tests were carried out with three strains of *Pleurotus* sp., popularly known as black shimeji, white shimeji and salmon shimeji, using four agro-industrial residues. The analysis of the production of cellulase, phenoloxidase and amylase enzymes for each basidiomycete strain was carried out using the cup plate technique, with specific enzyme substrates. The phenoloxidase enzyme was produced in all culture media and shimeji strains. Cellulase enzymatic activity was identified only in cultures with shimeji salmon strains. Although the formation of fruiting beginnings did not occur during the mushroom production stage, complete development of micellization was observed in the cultivation media. It is concluded that adequate waste management, combined with the cultivation of edible mushrooms and the production of enzymes, presents an innovative and sustainable alternative. Contributing significantly to reducing environmental impact and developing economically viable solutions.

Keywords: agro-industrial waste; biotechnological potential; *Pleurotus* sp.; environmental impact.

1 INTRODUÇÃO

2

Segundo Bett (2016), os cogumelos que fazem parte do reino Fungi, reproduzindo-se por meio da produção de esporos, os quais germinam e produzem hifas, originando novos organismos. No entanto, a parte “vegetativa” é formada pelo conjunto de hifas, que posteriormente formarão os cogumelos. Desse modo, compreende o reino Fungi, fungos verdadeiros heterotróficos, que não sintetizam seu próprio alimento sendo necessário da absorção de matéria orgânica viva ou morta. Quanto à organização celular, são organismos eucarióticos podendo ser unicelulares (única célula) ou multicelulares (várias células) (Ferriol, 2023).

Conforme Ferriol (2023), os cogumelos comestíveis são organismos aeróbicos e fazem uso de oxigênio em seu metabolismo, desenvolvendo-se em uma ampla faixa ecológica. Os fatores para o seu desenvolvimento se dão pela presença de luz, água, matéria orgânica, e pH.

A propagação na natureza dos fungos se dá pela produção de esporos e quando se deparam com um ambiente apropriado ramificam-se e colonizam no substrato, a partir de pequenas e finas teias de filamentos, iniciando o corpo vivo do fungo nomeado de micélio (Oliveira, 2022).

Segundo Santos (2016), no Brasil a produção de cogumelos comestíveis é considerada pequena quando comparada com outros setores do agronegócio, no entanto há uma forte propensão do mercado contínuo e no crescimento de consumidores que procuram produtos sustentáveis, com apelo nutricional e inseridos em uma economia circular.

Além do papel de apresentar alta importância nutricional, por serem fontes de proteínas de alta qualidade e eficiência, possuem baixo teor de gordura, muitas vitaminas e poucas calorias (Almeida *et al.*, 2018). Os cogumelos comestíveis apresentam também importância ecológica, devido a sua ação de agente na biodegradação de resíduos (Silva *et al.*, 2017).

De acordo com Martins *et al.* (2018), a ampla gama de substratos em que os cogumelos comestíveis podem ser cultivados é viável na ampliação da fonte de renda de pequenos e grandes produtores de maneira sustentável, isso se torna importante do ponto de vista de crise ambiental e econômica.

O cultivo cogumelo comestível é uma estratégia sustentável que possui vantagens como o uso de resíduos agrícolas, aquisição de níveis altos de produção por área cultivada, e como alternativa de se utilizar substrato residual como condicionador de solo após a colheita dos cogumelos comestíveis (Nieuwenhuijzen, 2006).

Já na esfera do setor agroindustrial, a atividade econômica é responsável por impulsionar o país, entretanto é encarregado pela grande geração de resíduos, provocando diversos problemas ambientais pela ação contaminante desses resíduos para o solo e os corpos hídricos (Cordeiro; Cardoso; Mata; Barbosa; Gonçalves Junior, 2020).

De acordo com a CONAMA resolução 001 (Brasil, 1986) é considerado impacto ambiental toda alteração ao meio ambiente sendo ela de forma direta ou indiretamente que afetam a saúde, o bem-estar social dos cidadãos, a segurança, a biota do solo, condições estética, atividades sociais e econômicas, e a qualidade dos recursos ambientais.

A geração excessiva de resíduos da produção agroindustrial tem sido uma preocupação crescente nas últimas décadas por se acumularem no ambiente, fazendo da destinação sustentável uma alternativa crucial. O custo elevado de produção dos cogumelos do tipo shimeji pode envolver questões como a necessidade de buscar alternativas mais eficientes e sustentáveis, visando a redução dos custos e maior acessibilidade aos consumidores.

Uma forma alternativa de dar atenção aos resíduos agroindustriais é o seu reaproveitamento em diferentes processos industriais, como na produção de enzimas, o qual representa uma alternativa interessante alinhada aos princípios de sustentabilidade e inovação

industrial, ao transformar resíduos em insumos para a produção de enzimas (Abud; Araújo; Almeida, 2015).

Por essa razão a intensificação da produção de cogumelos comestíveis e a destinação a produção de enzimas a partir da reutilização de resíduos agroindustriais, promove a redução do impacto ambiental, agregando valor aos resíduos gerados, e colaborando para a sustentabilidade e a viabilidade econômica.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo eleger resíduos agroindustriais gerados no Vale do Ivaí para o cultivo de cogumelos comestíveis do gênero *Pleurotus* e avaliar o potencial biotecnológico para produção de enzimas extracelulares.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido sob medições do Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã, no laboratório de Microbiologia e Fitopatologia, localizada no município de Ivaiporã, estado do Paraná, com latitude de 24°14'52"S, longitude de 51°41'06"W e altitude de 692 m.

As culturas puras de shimeji preto, shimeji branco e shimeji salmão foram adquiridas do estoque de culturas do Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia do IFPR-Campus Ivaiporã.

A escolha dos resíduos foi baseado conforme a disponibilidade e produção da região, sendo adquiridos resíduos de cana-de-açúcar da indústria de cachaça do Lajeado, bagaço de malte da cervejaria Hawp Bier do município de Ivaiporã-PR, casca de maracujá e bagaço de acerola da indústria de polpa Belo Pomar do município de Ivaiporã-PR. Após a coleta dos resíduos, estes foram secos em estufa com temperatura de 70°C até atingirem peso constante. A casca de maracujá houve a necessidade de trituração do resíduo. Após o processo de secagem e de trituração da casca de maracujá, os resíduos foram armazenados em sacos plásticos.

Os substratos para o crescimento das cepas de shimeji foram elaborados a partir de quatro resíduos agroindustriais: Cana-de-açúcar, bagaço de malte, casca de maracujá e bagaço de acerola. Os cultivos foram realizados em Erlenmeyers de 250 ml contendo 5 g do resíduo, suplementado com 5% de farelo de trigo (0,25g), 1% de carbonato de cálcio (0,05 g), e 100ml de água destilada. Todos os meios de cultura foram autoclavados a 121°C por 15 minutos. O experimento foi realizado em duplicata.

A inoculação para análise de crescimento fúngico foi realizada em Erlenmeyer, foi inoculado com 2 discos miceliais de, aproximadamente, 17 mm de diâmetro. Os frascos foram

incubados em estufa bacteriológica à $28^{\circ}\text{C}\pm 1$, no escuro. Após 4 dias, as culturas foram interrompidas pela separação da biomassa micelial do resíduo. Foi realizada a análise da biomassa seca pela secagem dos micélios em estufa à 70°C . Após 24h, as biomassas foram pesadas para a obtenção da biomassa seca, com o objetivo de analisar qual resíduo proporcionou maior desenvolvimento de biomassa. A parte líquida dos cultivos (filtrado bruto) foi filtrada e congelada para posterior análise das enzimas extracelulares produzidas pelos fungos em cada resíduo agroindustrial. No processo de inoculação dos fungos nos respectivos meios foi realizada a higienização de bancadas com álcool 70% e realizado o processo de inoculação atrás do bico de Bunsen, com auxílio de espátulas autoclavadas. Após a inoculação foram colocados na abertura do Erlenmeyer buchas de algodão para tampar e colocados em estufa bacteriológica à $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$ no escuro por 4 dias.

A técnica para produção de enzimas celulase, fenoloxidase e amilase foi analisada para cada um dos isolados de basidiomicetos pela técnica *cup plate*, que permite a análise simultânea de vários extratos enzimáticos. Para a enzima celulase foi utilizado ágar-CMC (20g/l de ágar; 10 g/l de carboximetil-celulose, tampão acetato ph 5 0,1 M). Para fenoloxidase ágar-ácido gálico (20 g/l de ágar, 10 g/l de ácido gálico autoclavado em tampão separadamente, tampão acetato ph 5 0,1 M). Para amilase ágar-amido (20g/l de ágar; 10 g/l de amido, tampão acetato ph 5 0,1 M). Após a produção dos meios das enzimas foram feitas aberturas de 7 mm de diâmetros, os quais foram perfurados na superfície dos meios de cultura solidificados nas placas de Petri. Volumes de 100 μL de cada extrato enzimático foram colocados nas aberturas. Após a incubação por 24 horas a 30°C , realizou-se a revelação e a medição dos halos de reação das enzimas. Para a revelação da enzima celulase ágar-CMC utilizou solução vermelho congo 0,1% (20 minutos no escuro), depois solução de NaCl 0,5 M (20 minutos). Para identificação da enzima fenoloxidase ágar-ácido gálico não necessitou de revelação, pois a atividade enzimática formou-se um halo amarronzado ao redor do extrato enzimático. Para a descoberta da enzima amilase ágar-amido, foi empregado lugol 0,1% durante 10 minutos. A atividade enzimática foi determinada a partir da média dos diâmetros (mm) dos halos de degradação que se formaram ao redor dos poços.

O preparo do substrato para a produção de cogumelos foi selecionado de acordo com a análise de biomassa seca, para os estudos de produção dos corpos de frutificação. O bagaço de malte seco foi deixado de molho em água destilada, de modo que cobrisse o resíduo, no período de 24h. Após 24h o resíduo foi colocado para escorrer por cerca de mais 24h. O resíduo úmido

foi adicionado de 5% de farelo de trigo e 1% de carbonato de cálcio. A mistura (318 g) foi colocada em sacos de polipropileno, os quais foram autoclavados 60 minutos a 121°C.

Para a produção do Spawn foi utilizado uma proporção de 1/2:1 de grão de trigo e água destilada (Carvalho *et al.*, 2021). Trezentos gramas de grãos de trigo foram cozidos em 600ml de água destilada por 30 minutos, após cozido os grãos foram passados em uma peneira de modo que retirasse o excesso de água. Em seguida, foi pesado 300g de grãos cozidos e acondicionado em frasco de vidro com buchas de algodão e gaze, e colocados na autoclave a 121°C por 15 minutos. Quatro discos miceliais de cultura crescida em meio BDA foram inoculados nos grãos de trigo cozidos e autoclavados. A incubação foi feita em estufa bacteriológica à 28±1°C no escuro até a completa colonização.

No processo de inoculação, incubação e frutificação os sacos com os substratos foram inoculados com 10% de "spawn" e incubados em estufa bacteriológica controlada para temperatura de 24°C, e mantido o teor de umidade em 65-75 % com mensuração feita com um termo-higrômetro digital com sensor externo e, sempre que verificada abaixo de 65 %, água era borrifada no interior da estufa, a fim de se alcançar umidade de 75 %. A incubação foi encerrada quando o micélio alcançou o fundo de cada saco. Neste momento, o saco foi retirado da câmara. Para a frutificação, cada saco recebeu pequenas perfurações para que houvesse a entrada de ar e umidade, o que estimula a formação de corpos de frutificação. Os cultivos de Shimeji preto foram submetidos à luz natural e artificial, temperatura ambiente e umidade relativa do ar em torno de 80% com a utilização de um umidificador de ar portátil próximo aos sacos. Para a frutificação do Shimeji salmão, os cultivos foram realizados em caixas de plástico vedadas com capa de voal para impedir a entrada de insetos e garantir a proteção do cultivo, foram submetidos a luz natural e artificial, temperatura ambiente e umidade relativa em torno de 80% com borrifação de água diretamente nos sacos para a formação dos corpos de frutificação.

Para o teste de umidade foi colocado 4g do resíduo de bagaço de malte em estufa à 105 °C overnight por 24h em placa de Petri. Após 24h pesou o resíduo que corresponde à diferença de massa verificada antes e depois da secagem (IAL, 2008). No teste de pH 10g do substrato foi misturado a 100 ml de água destilada, a qual foi agitada, filtrada e medido o pH com o uso de pHmetro de bancada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de biomassa seca cinco meios de cultivos foram avaliados para três cepas de *Pleurotus*, verificando-se crescimento fúngico em todos os meios de cultivo testados (Figura 1).

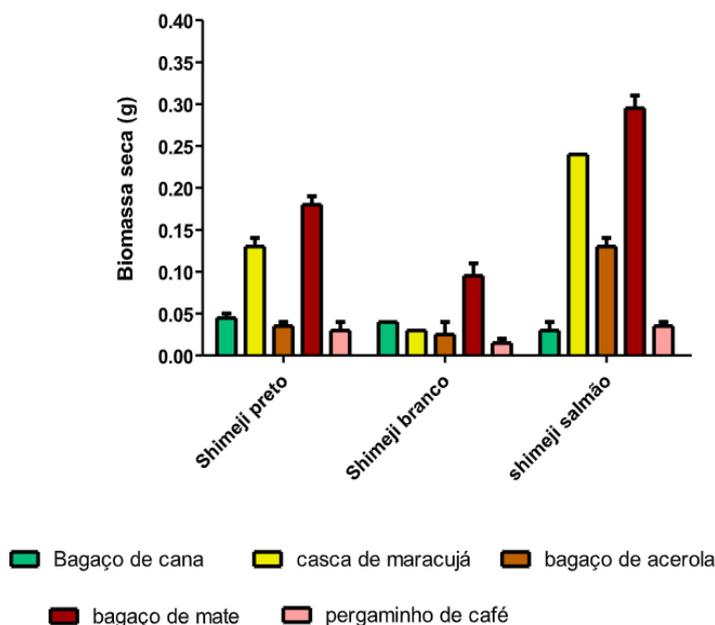
As espécies de shimeji (salmão e preto) apresentaram melhor desenvolvimento micelial em meios à base de bagaço de malte e casca de maracujá, enquanto os meios compostos por pergaminho de café, bem como por bagaço de cana-de-açúcar, promoveram um menor desenvolvimento micelial dessas duas cepas de cogumelos.

Donini *et al.*, (2005) observou em seu experimento que o meio à base de bagaço de cana-de-açúcar em *Pleurotus spp.* apresentou médias inferiores durante a incubação. No presente trabalho a média da biomassa seca utilizando esse resíduo não ultrapassou de 0,05g, enquanto o bagaço de malte se destacou como resíduo para o crescimento de shimeji salmão, com biomassa média seca de 0,30g.

Estudo realizado por Maziero (1990) chegou a conclusão de que pergaminho de café quando utilizado isoladamente, não permite uma produção satisfatória de cogumelos do gênero *Pleurotus*. No entretanto estudos realizados por Fan *et al.*, (2001) relatou em seu experimento que a suplementação de farelo de trigo melhora o crescimento micelial de *Pleurotus*. O presente trabalho buscou utilizar a suplementação no meio de cultivo para melhores índices de biomassa seca, contudo os meios à base de pergaminho de café não suportam um maior crescimento micelial.

Silva *et al.*, (2004) realizaram um experimento no qual identificaram que resíduos de frutas, como a casca de maracujá, podem ser utilizado como substrato para o cultivo do fungo *Pleurotus sajor-caju*, os resultados demonstraram que a casca de maracujá como substrato para meio de cultivo proporcionou bom desenvolvimento de biomassa micelial.

Figura 1 - Produção de biomassa seca em diferentes resíduos agroindustriais e cepas de shimeji preto, branco e salmão.



Fonte: As autoras (2024)

Com a técnica *cup plate*, foi possível fazer análise de cada um dos isolados de basidiomicetos (shimeji preto e salmão). Para as enzimas fenoloxidases, houve atividade enzimática em todos os meios de cultivo e cepas de shimeji testados, atingindo o máximo de 1,8 cm de halo (Figura 2).

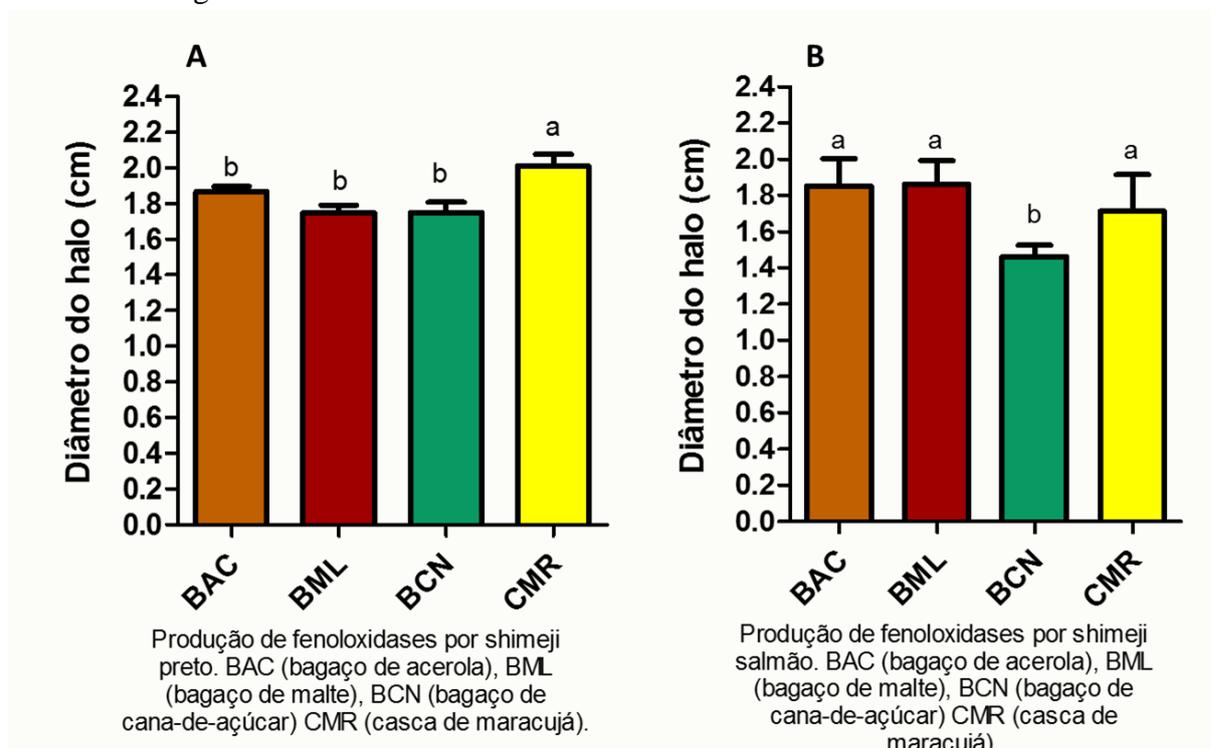
Moreira *et al.*, (2022) obtiveram resultados de atividade de fenoloxidase com isolados de basidiomicetos, dentre eles shimeji salmão, o qual foi o grande produtor dessa enzima.

A casca de maracujá apresentou-se significativamente melhor para a produção de fenoloxidases por shimeji preto (Figura 2A), enquanto, para shimeji salmão, os melhores resíduos foram a bagaço de acerola, o bagaço de malte e a casca de maracujá (Figura 2B). O bagaço de cana-de-açúcar foi o resíduo que promoveu a menor produção de enzimas fenoloxidases por ambas as cepas de shimeji. Segundo experimentos realizados por Silva (2015), a casca de maracujá é considerada um bom substrato para a produção de enzimas fenoloxidase e celulase.

A pesquisa de enzimas lignocelulolíticas em bagaço de cana-de-açúcar realizada por Menezes *et al.*, (2009), relatou a presença da enzima lacase (um tipo de enzima fenoloxidase), produzida pelas linhagens de *Pleurotus ostreatus* e *Pleurotus sajor-caju*. No estudo conduzido por Menezes *et al.*, (2009) os fungos foram cultivados em meio de cultivo BDA, o qual foi

utilizado de forma semelhante no experimento em análise, no entanto com algumas diferenças metodológicas. Menezes *et al.*, (2009) realizou processo de fermentação semelhante em Erlenmeyer, porém utilizando 30ml de meio basal e 1% do substrato da cana-de-açúcar, diferente do experimento em análise que não se fez o uso do meio basal. Essa abordagem pode ter proporcionado um ambiente mais propício para o crescimento e atividade dos fungos, resultando em desempenhos mais promissores.

Figura 2 - Produção de enzimas fenoloxidasas por shimeji preto e salmão em resíduos agroindustriais.



Fonte: As autoras (2024)

A atividade de celulasas foi identificada apenas nos cultivos com cepas de shimeji salmão (Figura 3). A casca de maracujá, bagaço de acerola e bagaço de malte foram os melhores substratos para a produção dessa enzima. A casca de maracujá foi o substrato que atingiu o maior halo (1,6 cm de diâmetro), enquanto o resíduo da cana-de-açúcar promoveu a menor produção de celulase. Conforme Mota *et al.*, (2022) a casca de maracujá é composta por celulose, hemicelulose, lignina e pectina.

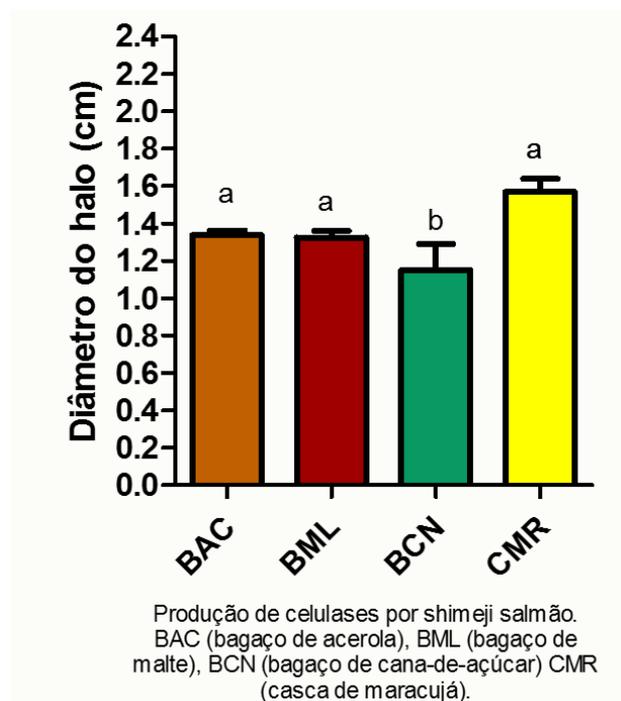
Rajarithanm e Bano (1987), identificaram em seu experimento que *Pleurotus spp.*, apresentavam dificuldades em se desenvolver bem em bagaço de cana-de-açúcar e em obter

enzimas sobre o meio, justificando esse fato a incapacidade metabólica do fungo para utilizar o açúcar sacarose.

Conforme Premkumar *et al.* (2018), a atividade enzimática é promovida ou inibida em razão da composição físico-química dos substratos, o mesmo autor observou em seu experimento que a maior produção de celulase por *Pleurotus sp.* é induzida em substratos com maiores índices de lignina. Esse fato pode ser evidenciado com substratos provenientes da casca de maracujá, bagaço de acerola e bagaço de malte, os quais sustentaram uma maior produção das enzimas, além de um melhor desenvolvimento micelial.

Valadares (2013) observou que a espécie *Pleurotus ostreatus* apresenta capacidade de crescimento em diversos materiais lignocelulósicos e potencial para a produção de enzimas celulase, sendo assim a produção de enzimas é amplamente influenciada pelo tipo de substrato utilizado.

Figura 3 - Produção de celulase por shimeji salmão em resíduos agroindustriais.



Fonte: As autoras (2024)

As enzimas fenoxidase são amplamente utilizadas na indústria devido à sua versatilidade, sendo empregadas em processos como a descoloração de corantes sintéticos, decomposição de compostos fenólicos indesejáveis em bebidas e tratamento de efluentes industriais (Rigo *et al.*, 2021). As enzimas celulase produzidas pelas cepas de shimeji salmão

são valiosas para a indústria têxtil e de papel, pois possuem a capacidade de hidrolisar materiais celulósicos (Souza, 2020).

É importante destacar que nenhuma das cepas testadas produziu amilases nas condições avaliadas.

No processo de produção de cogumelos o tempo necessário para a completa colonização do substrato a base de bagaço de malte variou entre as duas cepas testadas. Enquanto o shimeji preto foi capaz de colonizar completamente o substrato dentro de 22 dias, shimeji salmão foi mais eficiente nesse processo, colonizando totalmente o substrato dentro de 14 dias de incubação (Figura 4).

Figura 4 - Processo de incubação shimeji salmão.



Fonte: As autoras (2024)

O meio de cultivo para o processo de incubação e frutificação apresentou valores iniciais de pH de 6,18. Estudos realizados por Chang e Miles (2004), sugerem que o pH ideal para o crescimento micelial de cogumelos do gênero *Pleurotus*, popularmente conhecidos como cogumelos-ostra, varia entre 5,5 e 6,5.

Além disso, a umidade inicial do substrato correspondeu a 63%, um aspecto crucial no cultivo de cogumelo conforme destacado por (Oliveira, 2018). Os valores iniciais de umidade do resíduo são fatores críticos no cultivo de cogumelos (Oliveira, 2018). Dessa forma, os

resultados obtidos evidenciaram a adequação do substrato utilizado para o desenvolvimento do fungo.

Contudo, nenhuma das duas cepas testadas suportou a formação de primórdios e nem a produção de corpo de frutificação em meio a base de bagaço de malte. Na etapa de frutificação, os sacos colonizados foram colocados em sala de frutificação, à temperatura ambiente e umidade relativa do ar em torno de 80-90% (Figura 5).

Figura 5 - Processo de frutificação shimeji preto



Fonte: As autoras (2024)

Para o shimeji salmão, a umidade relativa do ar foi controlada borrifando água nos sacos colonizados com o micélio, bem como na caixa plástica, ficando em torno de 80 - 90%. (figura 5).

Figura 5 - Processo de frutificação shimeji salmão.



Fonte: As autoras (2024)

A frutificação dos cogumelos é diretamente influenciada pelas condições de temperatura e umidade, os quais se estiverem fora das necessidades específicas da espécie, a produção pode ser seriamente prejudicada (Camara, 2014).

Rossi (2020) observou em seu experimento que fatores de umidade adequada são essenciais. A umidade inadequada em seu experimento devido a falhas no sensor de umidade, resultou na evaporação da água dos substratos durante o período de frutificação. Esse cenário desfavorável pela falta de umidade adequada impactou negativamente no crescimento dos cogumelos, resultando em um cenário semelhante ao estudo realizado.

No processo de frutificação os corpos de frutificação são sensíveis e é necessário um controle rígido dos fatores ambientais e químicos para que ocorra a frutificação. Nesse estudo, embora a umidade tenha sido controlada de duas formas, com umidificador e com água borrifada, a temperatura ficou a cargo do ambiente, podendo ter sido alta demais para as duas cepas, uma vez que os experimentos de frutificação foram realizados na época da primavera e do verão. Tendo em vista que, uma frutificação sem controle de temperatura poderia ajudar a minimizar os custos de produção, entende-se que esse tipo de experimento para as cepas de shimeji salmão e shimeji preto deve ser realizado em épocas de temperaturas mais amenas, como no outono e no inverno. Resultados semelhantes foram descritos por Regina *et al.* (2012) o qual, observou que a linhagem *Pleurotus ostreatus* não frutificou sem condições controladas, simulando às de muitos produtores de cogumelos.

Segundo Felinto (1999) a cor do chapéu difere a temperatura para cada uma das espécies, assim como no processo de incubação e frutificação. Na Indução de corpos de frutificação de *Pleurotus ostreatus* (coloração cinza, puxado para o preto) a temperatura ideal varia de 15 a 18°C, o que foi impossível chegar a estas temperaturas no decorrer do processo do experimento para o shimeji preto, visto que o experimento foi desenvolvido no verão, cujas temperaturas foram altas, sendo inviável financeiramente o uso do ar-condicionado.

Ainda segundo Felinto (1999), para *Pleurotus Djamor* (coloração salmão) frutificam a temperaturas mais elevadas em comparação ao *Pleurotus ostreatus*, sendo entre 22 e 25°C, o qual a temperatura deste trabalho para o shimeji salmão foi mantida em média de 25°C, sendo a temperatura proposta por outros autores.

Outro fator que influencia a frutificação é a relação C/N do substrato, a razão C/N é um fator importante para avaliar a disponibilidade de nutriente para os fungos. Estudos realizados por Gregori *et al.*, (2008) avaliaram a relação de carbono e nitrogênio em substratos com diferentes proporções de bagaço de malte no cultivo de *Pleurotus ostreatus*. O teor de carbono e nitrogênio em bagaço de malte em farelo de trigo e serragem de faia foram determinados após combustão a seco e incineração a 900°C, e para cada tipo de mistura a razão C/N foi calculada. No estudo conduzido por Gregori *et al.*, (2008) a maior eficiência biológica (BE) dos corpos frutíferos foi determinada no substrato contendo 20% de farelo de trigo, 10% bagaço de malte, 2% CaCO₃ fator que pode estar relacionado à maior disponibilidade de nutriente e ao equilíbrio C/N adequado. No estudo não foram obtidos corpos de frutificação em substratos com proporções baixas de bagaço de malte e farelo de trigo.

Em experimentos futuros, a razão C/N deve ser avaliada em diferentes proporções para determinar a mais adequada para o cultivo de *Pleurotus ostreatus* em substratos de bagaço de malte. A razão C/N é um parâmetro fundamental para garantir que o substrato tenha uma composição química adequada para o cultivo de cogumelos comestíveis.

4 CONCLUSÃO

A gestão eficiente dos resíduos agrícolas é fundamental para minimizar o impacto ambiental e garantir a sustentabilidade do setor agrícola, a fim de reduzir os impactos ambientais causados por seus descartes inadequados. A gestão adequada desses resíduos pode contribuir significativamente para o tratamento e a disposição final de forma responsável e ambientalmente correta.

Produzir cogumelos comestíveis é uma prática lucrativa e interessante, seja como empreendimento principal ou como alternativa para o aproveitamento de resíduos agroindustriais, visto que diversos materiais e técnicas podem ser utilizadas, sendo necessário encontrar qual método é o mais adequado para as condições em que o cultivo será realizado.

A produção de enzimas é uma alternativa de sustentabilidade ambiental que vem sendo prioridade nas políticas de pesquisa. Se baseiam na utilização racional dos resíduos agroindustriais e agrícolas, que viabilizam a obtenção de produtos com custo mais reduzido, contribuindo para o desenvolvimento de soluções inovadoras e a diminuição do impacto ambiental.

Os resíduos testados se destacaram como bons substratos para produção de enzima fenoloxidase por cepas de shimeji preto e salmão como o bagaço de acerola, bagaço de malte, bagaço de cana-de açúcar e casca de maracujá.

Com base nos resultados obtidos para a enzima celulase, o shimeji preto não se mostrou uma fonte promissora para a produção da enzima. Outros fungos, como o shimeji salmão, é a alternativa mais eficiente para a produção desta enzima de interesse industrial e biotecnológico. Dessa forma mais estudos seriam necessários para confirmar a incapacidade do shimeji preto em não produzir a enzima celulase.

Durante o experimento nas etapas de incubação e frutificação algumas dificuldades surgiram, principalmente com a temperatura do ambiente e o umedecimento comprometendo o desenvolvimento e a frutificação, esses fatores precisam ser cuidadosamente monitorados e controlados para garantir o sucesso do cultivo de cogumelos.

Portanto, é essencial garantir o funcionamento adequado dos sistemas de controle ambiental, como umidificadores e sistemas de temperatura, para manter as condições ideais durante todo o cultivo de cogumelos. Falhas nesses sistemas podem comprometer seriamente a produtividade e a qualidade dos cogumelos produzidos.

Dessa forma, os resíduos agroindustriais do Vale do Ivaí-PR apresentam potencial biotecnológico para a produção de enzimas industriais como a fenoloxidase e a celulase ambas com enorme potencial de uso em diversos processos industriais. No entanto, para a produção de cogumelos é necessário um controle rígido dos fatores ambientais, como fatores de temperaturas e umidade para que ocorra a frutificação, desse modo são considerados organismos bastante sensíveis.

REFERÊNCIAS

ABUD, Ana Karla Souza; ARAËJO, Micaela Lopes; ALMEIDA, Renata Maria Rosas Garcia. Uso do resíduo de laranja lima e da casca de coco verde na produção de enzimas. **Scientia Plena**, [S.l.], v. 11, n. 10, p. 1-8, 9 out. 2015.

ALMEIDA, A. C. P. S.; SILVA, L. M. M. M.; NETO, J. S. B.; CELESTINO, E. G.; SILVA, J. M.; SILVA, C. S.; NASCIMENTO, M. S.; CRISTO, C. C. N.; SANTOS, T. M. C.; Cultivo axênico de cogumelos comestíveis em resíduos agroindustriais. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, Rio Largo, v. 3, n. 1, p. e 6651, dez. 2018.

BETT, Celso Ferraz. **Cultivo artesanal do Cogumelo Shiitake**: uma potencial atividade para agroecossistemas sustentáveis. 2016. 75 f. Tese (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Pato Branco, Pato Branco, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 001, de 23 de jan. de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Brasília, DF. Disponível em:
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.h>. Acesso em: 21 fev. 2024.

CARVALHO, Pedro Ítalo Alves de; SALES, Maria Rebeca Brandão; ARAGÃO NETO, Jaime Conrado; FERREIRA, Francisco Valdicélio. Resíduos agroindustriais como substrato para cultivo indoor de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotus ostreatus*. **Journal Of Biotechnology And Biodiversity**, [S.l.], v. 9, n. 4, p. 330-339, nov. 2021.

16

CAMARA, Marcela Candido. **Cultivo do cogumelo comestível pleurotus djamor em diferentes misturas de caroço de algodão e bagaço de cevada**. 2014.

CORDEIRO, Noéle Khristinne; CARDOSO, Kerolém Prícila Sousa; MATA, Tatiane Calandrino da; BARBOSA, Jaqueline de Araújo; GONÇALVES JUNIOR, Affonso Celso. Gestão de resíduos agrícolas como forma de redução dos impactos ambientais. **Revista de Ciências Ambientais - RCA**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 2, p. 23-34, 2020.

CHANG, S. T.; MILES, G. **Mushrooms**: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. 2. ed. Boca Raton: CRC press, 2004, 480 p.

DONINI, L. P. *et al.* Desenvolvimento in vitro de *Pleurotus* spp. sob a influência de diferentes substratos e dextrose. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 72, n. 3, p. 331-338, 2005.

FAN, Leifa; SOCCOL, Carlos Ricardo. Detoxificação da casa de café utilizando fungo comestível do gênero *Pleurotus*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: Embrapa Café, 2001.

FELINTO, Alex Salvany. **Cultivo de cogumelos comestíveis do gênero *Pleurotus* spp em resíduos agroindustriais**. 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 1999.

Ferriol Molina, M. **Aspectos ecológicos de los hongos verdaderos (reino Fungi).**

Universitat Politècnica de València. 2023. Disponível em:

<http://hdl.handle.net/10251/193791>. Acesso em: 03 maio 2024.

GREGORI, Andrej *et al.* The use of spent brewery grains for *Pleurotus ostreatus* cultivation and enzyme production. **New Biotechnology**, v. 25, n. 2-3, p. 157-161, 2008.

IAL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos.** 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

MARTINS, Olívia Gomes *et al.* Sobra de alimentos como alternativa para a formulação de novos substratos para o cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Basidiomycota, Fungi). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 2, p. 505-518, 2018.

MAZIERO, Rosana. **Substratos alternativos para o cultivo de pleurotus spp.** 1990. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MENEZES, Cristiano Ragagnin; SILVA, Isis Serrano; DURRANT, Lucia Regina. Bagaço de cana: fonte para produção de enzimas lignocelulolíticas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 5, p. 68-78, 2009.

MOREIRA, Jaqueline da Silva Coelho *et al.* Isolamento e seleção de basidiomicetos comerciais e selvagens produtores de amilases e fenoloxidasas. **Open science research**, v. 3, p. 576-585, 2022.

17

MOTA, Adnaildo Miranda *et al.* Enriquecimento de Pectina através da técnica squeeze-flow empregando a concha da *Lucina Pectinata* como fonte de carbonato de cálcio. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 8, n. 2, p. 13693-01 e, 2022.

NIEUWENHUIJZEN, Bram van; OEI, Peter. **O cultivo de cogumelos em pequena escala.** [S.I.]: Agrodok, 2006. 90 p.

OLIVEIRA, Aline Pereira de. **Avaliação do enriquecimento de cogumelos com selênio e efeitos antagônicos com elementos tóxicos.** 172 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Sustentabilidade) - Universidade Federal de São Paulo Campus Diadema, Diadema, 2022.

OLIVEIRA, Caio Cardoso. **Produção de cogumelos comestíveis utilizando resíduos agroindustriais.** 2018. 38 f. TCC (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Porto Alegre, 2018.

PREMKUMAR, G.; MUTHURAMKUMAR, S.; Kannan, M.; VARATHARAJU, G.; RAJARATHINAM, K. Cellulase and Xylanase production by *Pleurotus sp.* on mixed substrate system. **J Biotechnol Biomater**, v. 8, n. 2, p. 1-4, 2018.

RAJARATHNAM, S.; BANO, Zakia; MILES, Philip G. *Pleurotus* mushrooms. Part I A. morphology, life cycle, taxonomy, breeding, and cultivation. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 26, n. 2, p. 157-223, 1987.

REGINA, M.; PACCOLA-MEIRELLES, L. D.; BARBOSA, A. de M.; AMADOR, I. R.; ANDRADE-NOBREGA, G. M.; MASCHIARE, D. C. Sabugo de milho e carvão ativado na produção de Lacase e Basidiomas de *Pleurotus* sp. **Semina: Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 39–48, 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n1p39. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/5437>. Acesso em: 2 maio. 2024.

RIGO, Diane *et al.* Produção microbiológica de enzimas: Uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 9232-9254, 2021.

ROSSI, D. M.; OLIVEIRA, C. C. Cultivo de *Pleurotus Ostreatus* Utilizando Bagaço de Malte, Serragem e Casca De Arroz. *In: Simpósio de Segurança Alimentar*, 7., 2020, Rio Grande do Sul. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.

SANTOS, Jéssica Santana. Cultivo do cogumelo comestível *pleurotus ostreatus* em resíduo de *syagrus coronata* (LICURI). *In: SEMINÁRIOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 2016, Santana-Ba. **Anais [...]**. Santana-Ba: Universidade Estadual de Feira de Santana, 2016. 20 p.

SILVA, V. V.; CAMPANHA, F. G.; PERALTA, R. M. Otimização do crescimento micelial do cogumelo comestível *Pleurotus sajour-caju* utilizando resíduos de frutas como substrato. *In: CONGRESSO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS DE CASCAVEL*, 1.; *SIMPÓSIO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS DO MERCOSUL*, 1., 2004, Cascavel. **Anais [...]**. Cascavel, 2004. p.124.

18

SILVA, Sarah Raquel Silveira da *et al.* **Melhoramento da produção de enzimas lignocelulolíticas a partir de resíduos agrícolas da Amazônia**. 2015. Disponível em: <http://177.66.14.82/handle/riuea/2396>. Acesso em: 20 fev. 2024.

SOUZA, Joyce Faria de. **Desenvolvimento de bioprocessos para produção e aplicação de enzimas, extração de amido e produção de leveduras fibrolíticas a partir de resíduos agroindustriais**. 2020. 99 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Aplicada) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Rio Claro, 2020.

VALADARES, Fernanda de Lima. **Produção e uso de enzimas derivadas do fungo *Pleurotus ostreatus* na hidrólise de bagaço de cana pré-tratado por processo químico termomecânico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.