



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**ÁTHILLA ANTÔNIO OLIVEIRA DE CARVALHO**

**AVALIAÇÃO DO USO BIOTECNOLÓGICO DA CASCA DE COCO E SEU  
POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE XILITOL**

**FORTALEZA**

**2024**

ÁTHILLA ANTÔNIO OLIVEIRA DE CARVALHO

AVALIAÇÃO DO USO BIOTECNOLÓGICO DA CASCA DE COCO E SEU POTENCIAL  
PARA PRODUÇÃO DE XILITOL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do bacharelado em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Lima de Albuquerque

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C329a Carvalho, Áthilla Antônio Oliveira de.  
Avaliação do uso biotecnológico da casca de coco e seu potencial para produção de xilitol / Áthilla Antônio Oliveira de Carvalho. – 2024.  
53 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Tiago Lima de Albuquerque.

1. Biotecnologia. 2. Fermentação. 3. Resíduo agroindustrial. 4. Xilitol. 5. Xilose. I. Título.  
CDD 664

---

ÁTHILLA ANTÔNIO OLIVEIRA DE CARVALHO

AVALIAÇÃO DO USO BIOTECNOLÓGICO DA CASCA DE COCO E SEU POTENCIAL  
PARA PRODUÇÃO DE XILITOL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia de  
Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da  
Universidade Federal do Ceará, como parte dos  
requisitos para obtenção do bacharelado em  
Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Lima de  
Albuquerque

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Tiago Lima de Albuquerque  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Maria Rosiene Antunes Arcaño  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Msc. Alan Portal D'Almeida  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer inicialmente aos meus pais, por terem me incentivado desde cedo a persistir nos estudos, permitindo que após muito esforço e sofrimento, pudesse honrar o sonho deles de ingressar no curso superior, a qual posteriormente abriu minha mente para áreas de pesquisa e ensino nunca cogitadas por mim.

Ademais, sou grato ao meu professor orientador, professor Dr. Tiago Lima de Albuquerque, e ao Alan Portal D'Almeida, que me receberam tão bem na iniciação científica, tornando possível conhecer melhor as aplicações biotecnológicas na área de alimentos e abrir a possibilidade para o meu ingresso na pesquisa acadêmica. Além disso sou grato à disposição da banca responsável pela avaliação e contribuições, professora Maria Rosiene Antunes Arcanjo e Msc. Alan Portal D'Almeida.

Por fim, sou grato ao departamento de Engenharia de Alimentos e os seus professores por garantirem a qualidade do meu aprendizado durante todos os semestres, me preparando lentamente para ser capaz de atuar na área de alimentos.

## RESUMO

A produção industrial de água de coco gera uma quantidade expressiva de resíduos de casca de coco-verde, cujo descarte inadequado provoca impactos ambientais significativos como a poluição do solo e sobrecarregamento de aterros sanitários. Este trabalho avalia o potencial biotecnológico geral da casca de coco e também para a produção de xilitol, um adoçante de baixo índice glicêmico com propriedades antimicrobianas, amplamente utilizado nas indústrias alimentícia e farmacêutica. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o aproveitamento de resíduos agroindustriais e o desenvolvimento de métodos de extração de compostos fermentáveis utilizando a busca de estudos nas plataformas de pesquisa Scopus e Web of Science a fim de analisar o seu potencial para a extração de açúcares casca de coco-verde, oferecendo uma base para a realização de experimentos com a farinha da sua casca, com pré-tratamento usando ácido sulfúrico diluído em diferentes concentrações e tempo a fim de obter uma condição otimizada pelo método RSM para reduzir o uso de recursos e tempo, foi permitido obter a condição otimizada de 0,94 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e tempo de 21,36 minutos, permitindo a obtenção do valor 11,45 ± 0,06 de xilose. A fermentação foi conduzida utilizando o microrganismo *Kluyveromyces marxianus* ATCC 36907, em condições de 30 °C e 200 rpm, para avaliar a conversão de xilose em xilitol. A cinética de produção mostrou que o consumo de glicose inicial presente foi eficiente, favorecendo o crescimento celular e a produção de etanol (5,68 g/L em 48 horas), sendo responsável pelo início da conversão da xilose em xilitol após 24 horas e provavelmente pelo consumo de xilose não ter sido total. Observou-se que o rendimento de xilitol aumentou progressivamente ao longo do processo, alcançando um valor máximo de 1,68 g de xilitol por g de xilose em 96 horas. A produtividade de xilitol, contudo, apresentou declínio com o tempo, registrando valores de 0,09 g/L/h nas primeiras 24 horas e diminuindo para 0,03 g/L/h as 96 horas pela diminuição do substrato. Esses resultados indicam que a casca de coco-verde possui um potencial significativo para a produção de xilitol, com rendimento elevado, embora a produtividade diminua ao longo do processo fermentativo. Este estudo apresenta uma alternativa sustentável para o aproveitamento de um resíduo agroindustrial abundante, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais e o desenvolvimento de bioprodutos de alto valor agregado.

**Palavras-chave:** Biotecnologia; Fermentação; Resíduo agroindustrial; Poliálcoois; Biorrefinaria; Xilitol; Xilose; Biomassa.

## ABSTRACT

The industrial production of coconut water generates a significant amount of green coconut shell waste, whose inadequate disposal causes significant environmental impacts such as soil pollution and landfill overload. This study evaluates the general biotechnological potential of coconut shells and also for the production of xylitol, a low glycemic index sweetener with antimicrobial properties, widely used in the food and pharmaceutical industries. Initially, a bibliographic review was carried out on the use of agro-industrial waste and the development of extraction methods for fermentable compounds using the search for studies in the Scopus and Web of Science research platforms in order to analyze their potential for the extraction of sugars from green coconut shells, offering a basis for carrying out experiments with the flour from its shell, with pretreatment using diluted sulfuric acid at different concentrations and times in order to obtain an optimized condition by the RSM method to reduce the use of resources and time, it was allowed to obtain the optimized condition of 0.94 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and a time of 21.36 minutes, allowing the obtaining of the value  $11.45 \pm 0.06$  of xylose. The fermentation was carried out using the microorganism *Kluyveromyces marxianus* ATCC 36907, under conditions of 30 °C and 200 rpm, to evaluate the conversion of xylose to xylitol. The production kinetics showed that the initial glucose consumption was efficient, favoring cell growth and ethanol production (5.68 g/L in 48 hours), being responsible for the beginning of the conversion of xylose into xylitol after 24 hours and probably for the incomplete consumption of xylose. It was observed that the xylitol yield increased progressively throughout the process, reaching a maximum value of 1.68 g of xylitol per g of xylose in 96 hours. Xylitol productivity, however, declined over time, recording values of 0.09 g/L/h in the first 24 hours and decreasing to 0.03 g/L/h at 96 hours due to the decrease in substrate. These results indicate that the green coconut husk has a significant potential for the production of xylitol, with high yield, although the productivity decreases throughout the fermentation process. This study presents a sustainable alternative for the use of an abundant agro-industrial residue, contributing to the mitigation of environmental impacts and the development of high added value bioproducts.

**Keywords:** Biotechnology; Fermentation; Agro-industrial waste; Polyols; Biorefineries; Xylose; Xylitol; Biomass

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Estrutura do coco verde. A imagem mostra o epicarpo (camada externa), mesocarpo (fibrosa), endocarpo (casca interna rígida) e a polpa (copra).....	11
Figura 2 – Fluxograma do processamento do pó de casca do coco-verde.....	14
Figura 3 – Briquetes de cascas de coco verde.....	15
Figura 4 – Total de publicações que abordaram a utilização da casca de coco relacionando-se a processos biotecnológicos entre os anos de 1997 e 2024.....	30
Figura 5 – Produções científicas por países com colaborações internacionais e sem colaborações internacionais.....	31
Figura 6 – Distribuição e número de publicações no tema investigado por país.....	32
Figura 7 – Mapa de visualização de rede dos principais termos encontrados na pesquisa relacionados ao uso da casca de coco.....	34
Figura 8 - Rede de visualização de palavras-chave para o período de 1997 a 2022.....	36
Figura 9 – Resultado do experimento da hidrólise ácida da casca de coco com o uso de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	38
Figura 10 – Superfície de resposta para xilose (A) e glicose (B) obtidas na casca do coco.....	39
Figura 11 - Cinética de produção de xilitol por <i>Kluyveromyces marxianus</i> ATCC 36907 a 30 °C e 200 rpm, durante 120h: (▼) Glicose, (■) xilose, (●) xilitol, (◆) etanol e (▲) concentração celular.....	42
Figura 12 - Cinética de produção de xilitol e análise de rendimento e produtividade em função do tempo.....	44

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	11
2.1	Processamento da casca de coco-verde .....	11
2.2	A casca de coco-verde como matéria-prima .....	13
2.3	Produtos obtidos a partir da casca de coco .....	15
2.4	Potenciais produtos biotecnológicos a partir da casca de coco-verde .....	16
2.5	Pré-tratamentos utilizados para usufruir biotecnologicamente da casca de coco .....	17
2.6	<b>Produção de Enzimas por fermentação semi-sólida</b> .....	18
2.6.1	Celulases .....	19
2.6.2	Celobíases .....	19
2.6.3	Xilanases .....	20
2.7	<b>Utilização da lignina</b> .....	22
2.8	<b>Xilitol</b> .....	23
2.9	<b>Aplicações do xilitol</b> .....	24
3	<b>OBJETIVOS</b> .....	26
3.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	26
3.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	26
4	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
4.1	<b>Análise bibliométrica</b> .....	27
4.2	<b>Preparação da casca do coco-verde</b> .....	27
4.3	<b>Otimização do pré-tratamento de ácido diluído para a casca do coco</b> .....	27
4.4	<b>Desintoxicação do hidrolisado de casca do coco</b> .....	28
4.5	<b>Microrganismo e a preparação do inóculo</b> .....	28
4.6	<b>Produção de xilitol utilizando o hidrolisado da casca do coco</b> .....	28
4.7	<b>Métodos analíticos e análises estatísticas</b> .....	29
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	30
5.1	<b>Pesquisa bibliométrica com a utilização da casca de coco</b> .....	30
5.2	<b>Otimização da produção de xilose a partir da casca de coco</b> .....	37
5.3	<b>Produção de xilitol a partir da casca de coco</b> .....	39
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	45
7	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

O coco-verde é uma das principais culturas cultivadas em países com clima tropical, resultando em uma alta produção mundial em 2019 como a da Indonésia (17.129 mil toneladas de frutos), Índia (14.682 mil toneladas de frutos), Filipinas (14.765 mil toneladas de frutos) e o Brasil (2.349 mil toneladas de frutos), com destaque ao alto rendimento (kg/ha) do Brasil (12.540 kg/ha) quando comparado aos outros (Brainier, 2021). Em 2020, a produção nacional aumentou e o coqueiro é cultivado em quase todo o Brasil com uma produção de 1,6 bilhão de frutos, por isso, a indústria do coco tem grande relevância para a economia nacional, em especial para a produção de água de coco, óleo de coco, coco *in natura* e coco ralado. A região Nordeste do Brasil representou cerca de 73,48% da produção regional em 2020, totalizando 1.2 Bilhão de frutos, com os estados Ceará (405 milhões de frutos), Bahia (288 milhões de frutos) e Sergipe (161 milhões de frutos) apresentando uma alta produção de frutos (Brainier, 2021), isso ocorre pela alta demanda por água de coco, uma bebida natural com alto valor comercial propriedades eletrolíticas e benefícios para a saúde, tem impulsionado o crescimento das indústrias de envase nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (Mattos; Rosa, 2023).

Essas áreas possuem destaque pela produção significativa de coco-verde, o principal produto usado no processamento da água de coco, o que fortalece o agronegócio local e contribui para o comércio da fruta *in natura* em locais como as centrais de abastecimento, que em 2021 apresentou vendas de R\$ 1,60/kg e 183 milhões de coco-verde comercializados (Brainier, 2021). Além da própria água de coco, que é consumida pelo seu sabor bem como suas propriedades contra infecções intestinais e pressão alta (Leal, 2024), entretanto, assim como os outros produtos como óleo de coco e coco ralado, a casca não faz parte do processamento deles, sendo despejada irregularmente em áreas industriais e urbanas por ser um resíduo agroindustrial, causando prejuízos ambientais, comprometendo o solo, subsolo, mananciais e até comunidades que vivem em torno de determinadas áreas, em razão de aumentar o crescimento de microrganismos patogênicos, tornando-se foco de insetos e outros seres que atuam como vetores de doenças (Mattos; Rosa, 2023).

Em razão de ser considerado um resíduo agroindustrial da produção industrializada de envase da água de coco, tradicionalmente costuma ser utilizado para confecção de produtos artesanais ou aproveitamento bioenergético, entretanto, devido ao seu baixo valor comercial e alta quantidade, estudos objetivando aproveitar esse

material foram e são realizados com foco em criar alternativas economicamente viáveis, consistindo em desenvolver produtos ou métodos que sejam pouco custosos para o agronegócio (Albuquerque, 2014; Mattos, 2023; Rosa, 2023).

A literatura científica reporta que o coco-verde apresenta compostos lignocelulósicos como a lignina que forma os seus feixes fibrosos presente na região do mesocarpo além de açúcares como a glicose e xilose em diferentes teores que podem ser extraídos pela via biotecnológica através da fermentação de hidrolisados por leveduras, que são preparados por meio de diferentes resíduos agroindustriais como palha de arroz e madeira de eucalipto (Mussatto; Roberto, 2002), servindo para a produção de poliálcoois como o xilitol (derivado da xilose), o edulcorante de interesse do trabalho, que apresenta benefícios como o poder adoçante similar ao da sacarose, tornando-o um substituto eficaz e seguro para diabéticos, um baixo valor calórico e propriedades organolépticas como o efeito refrescante na boca, aspecto interessante para ser colocado em alimentos como balas e gomas de mascar (Mussatto; Roberto, 2002).

Na dissertação de Albuquerque (2014), é apresentada a produção atual do xilitol baseada no processo químico que consiste na hidrogenação catalítica da xilose com base em um catalisador (liga de Ni e Al<sub>2</sub>), passando posteriormente por algum processo de purificação, tratamento com carbono ativo seguido por concentração a vácuo e métodos de cristalização, porém esse processo é bastante custoso por causa das múltiplas etapas de purificação, além das altas temperaturas (31-40 atm) e pressões necessárias (100-130°C) nos reatores com duração de 3 horas, por causa disso, estudos relacionados ao potencial biotecnológico surgem como meio de encontrar alternativas mais sustentáveis e baratas, principalmente pela descoberta de leveduras que podem metabolizar D-xilose permitindo o uso de diferentes biomassas lignocelulósicas como o bagaço do caju (Melo, 2023) e casca do maracujá (Neta, *et al.*, 2024).

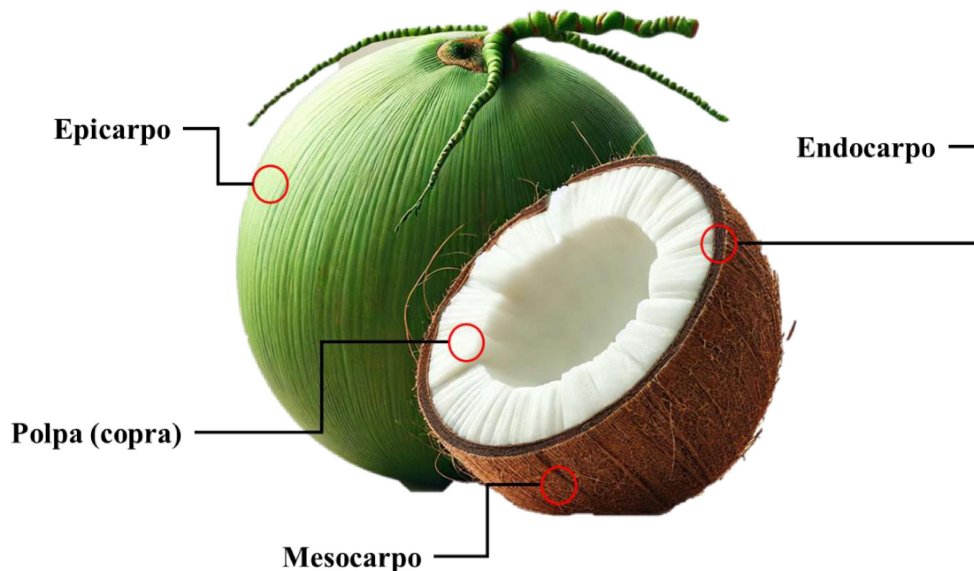
Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão sobre a utilização da casca de coco para a produção de açúcares fermentescíveis com ênfase no xilitol, em seguida, explorar e desenvolver um método biotecnológico para a produção de xilitol a partir da casca do coco-verde, aproveitando seus compostos lignocelulósicos, especialmente a xilose. Através deste estudo, busca-se uma solução economicamente viável para o aproveitamento de um resíduo agroindustrial abundante, alcançando uma alternativa sustentável que contribua para a mitigação dos impactos ambientais causados pelo descarte irregular das cascas de coco.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A casca de coco-verde como matéria-prima

A estrutura do coco-verde é dividida em epicarpo (epiderme lisa), mesocarpo (feixe de fibras lignocelulósica), endocarpo e uma região dividida entre albúmen sólido e líquido a qual armazenam de forma estéril água de coco, composta por sacarose, glicose e frutose que podem ter sua porcentagem alterada conforme a maturidade do fruto além de ser rico em sais minerais como cálcio, potássio e magnésio. Os pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Mattos e Rosa (2023) comentam que o peso bruto do coco-verde é em grande parte pela sua casca de alta durabilidade, correspondendo a 80 a 85% da fruta, possuindo um teor de degradabilidade da casca considerada alta (possui valor de oito a dez anos), seus valores respectivos para lignina e celulose costumam variar entre 30% e 40% em razão de fatores como a própria maturidade do fruto, nutrição do seu cultivo ou até mesmo degradação térmica (valores acima 200°C podem começar a gerar perdas de fibras) (Figura 1).

Figura 1 - Estrutura do coco verde. A imagem mostra o epicarpo (camada externa), mesocarpo (fibrosa), endocarpo (casca interna rígida) e a polpa (copra).



Fonte: Adaptado de Mattos et al. (2011) (gerado por Inteligência Artificial).

A partir do conhecimento da fisiologia da casca, Rosa (2001) aborda um método para processar essa casca a fim de obter um pó que irá viabilizar seu uso em diferentes processos biotecnológicos, permitindo que nesse trabalho, os compostos lignocelulósicos sejam bem aproveitados em razão do aumento da superfície de contato.

O processo começa com a coleta de cascas que estejam adequadas para o seu aproveitamento, sendo importante levar em consideração determinados aspectos que evidenciam uma qualidade na fruta em questão como: Maturidade do fruto, umidade, grau de degradação e impurezas.

De acordo com Mattos e Rosa (2023), a casca de coco seco apresenta maior utilidade para a indústria por ter maior teor de pó e fibras como matéria-prima para a produção de derivados da casca, no entanto, também é mencionado que a maturidade do coco influencia nas suas propriedades mecânicas e físicas, com o coco maduro possuindo porosidade das fibras maior que a do verde além de melhor resistência a tração e menor densidade. Portanto, é de suma importância realizar o descascamento e fatiamento da casca do coco-verde enquanto ela ainda está com sua umidade padrão (mais de 80%), uma vez que ao ser desidratada, sua densidade se torna mais aparente e seu epicarpo recebe maior resistência ao corte e a trituração, aumentando o número de etapas para processamento para se separar o pó da casca e as fibras de coco-verde.

O trabalho de Oliveira *et al.* (2024) encontra na fibra da casca de coco um potencial para remoção de metais tóxicos como o Chumbo ( $Pb^{2+}$ ) da água contaminada por meio da obtenção de biochar, um bioadsorvente poroso e rico em carbono com estruturas aromáticas e funcionais, obtido por ação de pirólise (300-700°C), sendo mais uma alternativa para conferi-la valor econômico como tecnologia para despoluição de águas residuais industriais, de esgotos e mineração e até da água potável. Silva *et al.* (2018) faz uso da fibra de coco como meio de reduzir o consumo de agregados minerais como areia e brita, garantindo o aperfeiçoamento de propriedades físicas e mecânicas em compósitos cimentícios como o aumento da ductilidade e as resistências à tração, à flexão, diminuição da densidade e maior desempenho termoacústicos dos compósitos, porém é importante que seja aplicada em ambientes com probabilidades reduzidas de ocorrência de fogo ou incêndio.

Vicente *et al.* (2024) explica que resíduos agroindustriais como palha e bagaço de cana podem ser usados para a produção de biocombustíveis a fim de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar a emissão de gases do efeito estufa devido a sua composição lignocelulósica, permitindo a sua liberação por hidrólise enzimática para a liberação de açúcares simples para fermentação por microrganismos específicos fungos (*Phanerochaete chrysosporium*) e bactérias (*Clostridium sp.*).

Entre os biocombustíveis, destaca-se o etanol de 2º geração (E2G), produzido por meio da hidrólise de fibras vegetais para obtenção de um caldo hidrolisado

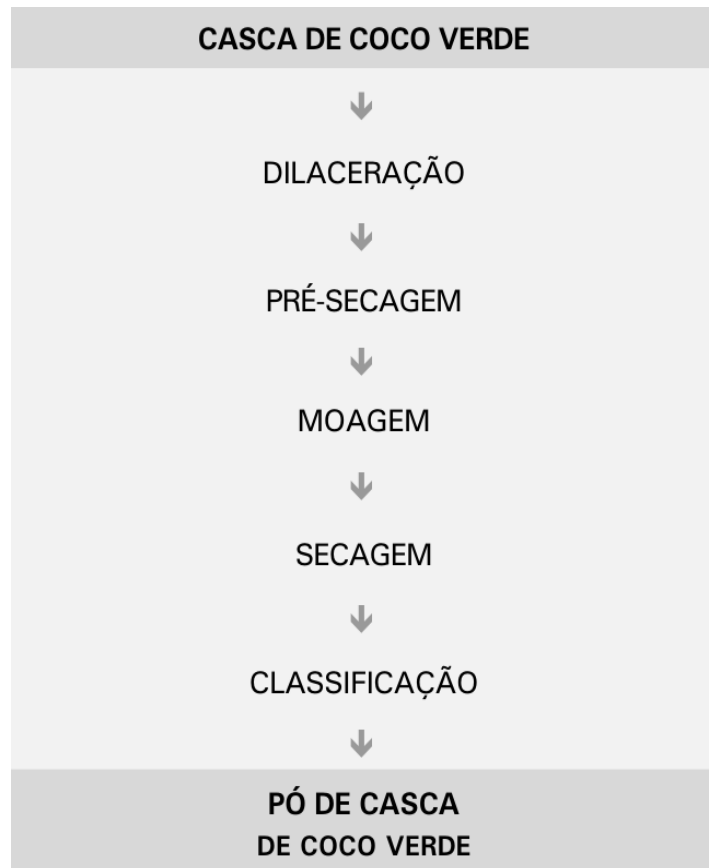
fermentável, sendo uma potencial alternativa ao petróleo e a dependência externa que vários países possuem dele (Lorenzi; Andrade, 2019), o coco-verde tem em sua composição uma boa quantidade de açúcares fermentescíveis úteis a fermentação para produção de E2G mediante a ação de leveduras como a *Saccharomyces cerevisiae* e bactérias como *Z.mobilis* para produzir etanol e dióxido de carbono, criando um mosto de coco-verde com rendimento semelhante ao do bagaço de cana-de-açúcar (82%) encontrado na literatura (Nascimento, *et al.*, 2023).

O que torna o coco-verde um material fácil de explorar é a facilidade de sua obtenção em países de clima tropical, porém, por ser uma matéria-prima abundante no Brasil, é necessário maior cuidado na coleta das cascas, que frequentemente são obtidas a partir de resíduos sólidos urbanos. Esses resíduos podem conter, junto com as cascas da fruta, materiais estranhos que podem contaminar a matéria-prima, danificar os equipamentos de processamento e comprometer a saúde e segurança dos trabalhadores (Mattos; Rosa, 2023).

## **2.2 Processamento da casca do coco-verde em farinha**

A casca de coco para ser utilizada, necessita ser submetida a um pré-tratamento com o objetivo de reduzir seu tamanho transformando-o em pó da casca de coco ou em outro tipo de material. Cortez *et al.* (2009) avalia em seu trabalho a qualidade das cascas de coco-verde na produção de carvão vegetal com fins energéticos devido ao alto teor de lignina do coco-verde, que para ser produzido, a casca seca é aquecida em fornos com uma temperatura por volta de 300°C a 350°C, gerando um carvão com viabilidade para uso energético devido ao seu alto poder calorífico (29,67 MJ/Kg). Além desse método, a casca do coco-verde também pode ser processada em pó de casca através das seguintes etapas: dilaceração, pré-secagem, moagem, secagem e a classificação por granulometria, obtendo-se o pó de casca e em alguns casos, a fibra do coco-verde pode ser separada para se tornar matéria-prima para outros produtos de valor agregado como vasos para cultivos de plantas, elementos filtrantes e mantas têxteis (Mattos; Rosa, 2023.), entretanto, para maior aproveitamento do pó da casca e das fibras, existe um método mais generalizado para a sua produção que pode ser resumido do seguinte modo, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do processamento do pó de casca do coco-verde



Fonte: Freitas Rosa, et al. 2001

Inicialmente, antes de realizar a secagem, é importante preparar a casca a fim de facilitar sua transformação em pó, começando com a dilaceração enquanto ela ainda apresenta sua umidade por volta de 85% visando aumentar sua área superficial de contato, utilizando moinho de facas para realizar essa etapa, posteriormente, a casca dilacerada deverá ser seca para diminuir a dificuldade para operar o moinho granulador, que irá produzir duas frações, sendo elas uma com granulometria heterogênea (pó da casca de coco) e uma pequena fração enovelada.

Com as etapas de pré-secagem realizadas, a secagem das frações pode ser realizada ao sol ou até mesmo em estufas a depender da quantidade desejada, sua umidade final normalmente irá variar entre 15 e 25%, com seu rendimento médio em relação ao seu peso inicial sendo de 13% e com o pH variando de 4,8 a 5,1 (Rosa; *et al*, 2001). Obtendo o pó da casca, é possível conseguir diferentes possibilidades para o seu aproveitamento, desde substrato agrícola, carvão vegetal até mesmo a produção de fontes ou substâncias que podem ser usados como alimento ou como ingredientes de algum, tendo de exemplo o próprio xilitol, um poliálcool com um poder adoçante

elevado (Pereira, 2009) e vanilina, um aroma de baunilha obtida de uma planta chamada *Vanilla Planifolia*, que é também de grande interesse industrial pelo seu uso em bebidas, alimentos e até produtos farmacêuticos (Daugusch; Pastore, 2005).

### 2.3 Produtos obtidos a partir da casca de coco

A casca de coco possui alguns usos já documentados visando aproveitar seu material, fazendo uso de sua biomassa para a geração de energia térmica através do processamento de briquetes, que são cilindros densos para uso energético como mostra a figura 3.

Figura 3 – Briquetes de cascas de coco-verde. Rio Largo, AL, 2020.



Foto: Renata Guilherme Cândido da Silva

Fonte: Marafon, *et al* (2020, p.19).

Esse produto possui a capacidade de substituir a madeira como matéria-prima para essa geração de energia térmica, permitindo que resíduos agroindustriais possam ser usados na sua fabricação, servindo como uma alternativa viável para o descarte inadequado da casca do coco-verde nos meios urbanos. Ademais, a casca do coco-verde apresenta potencial para fornos industriais em razão do seu alto poder calorífico entre 15,6-11,7 MJ/Kg (Miola *et al.*, 2020) e valores adequados de umidade (15-20%) para evitar a quebra do material durante a combustão (Gonçalves *et al.*, 2009) e teor de cinzas (3-4%), que em teores altos de 5-10% podem causar danos aos equipamentos como a corrosão do queimador (Alakangas. 2005).

Além disso, possui uso como substrato agrícola, que é definido como um meio útil ao cultivo de plantas, servindo como suporte e regulando a disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento das raízes (Andrade *et al.*, 2013). A suas porcentagens altas de lignina (33-45%), celulose (23-43%) e baixas de hemicelulose (3-

12%) oferecem a fibra do coco a capacidade de ser um substrato com grande durabilidade útil a cultivos de ciclo longo e um meio de cultivo para hortaliças sem uso de solo por não sofrer uma degradação acelerada pela aplicação de água e fertilizantes, além do seu baixo custo (Carrijo, Osmar; *et al.* 2002), sendo possível encontrar substratos com coco-verde sendo comercializados para mudas, plantas envasadas, jardins, hortas e pomares.

A casca do coco também é usada em materiais de construção por causa dos filamentos individuais formados pelas fibrilas unidas por ação de espécies químicas orgânicas não cristalinas como a lignina e hemicelulose em conjunto formam as fibras vegetais, sendo constituídas pelas moléculas de celulose orientadas em diferentes ângulos, criando várias camadas que fazem parte da composição da macrofibra (Silva; John, 2003). Caetano *et al.* (2004) em seu trabalho menciona motivos para o emprego das fibras de coco como material de reforço, sendo recomendado pelo baixo custo, prevenção de erosões, além das melhorias na ductilidade e tenacidade do concreto junto do aumento da resistência à tração e à flexão ao ser utilizado em materiais, Cunha (2012) incorpora em seu estudo mantas de fibra de coco seco em matriz de gesso com espessura de 8 mm a 10 mm, encontrando ganhos notórios na capacidade de isolamento térmico pelos menores valores de propriedades térmicas como condutividade térmica (0,40 – 0,35 w/M.°K) e difusividade (0,24 -0,21 E-6m<sup>2</sup>/s) em razão do baixo consumo energético.

#### **2.4 Potenciais produtos biotecnológicos a partir da casca de coco-verde**

Os substratos oriundos de resíduos agroindustriais, contendo macronutrientes essenciais para o crescimento microbiano, que são consumidos através da ação enzimática causando pelo metabolismo de microrganismos como bactérias e leveduras. A casca de coco-verde apresenta uma viabilidade considerável para ser usada nesses meios de culturas, principalmente em razão da sua composição fisiológica, a qual possui um alto teor de lignina (35,34%), celulose (42,91%) e hemicelulose (33,41%) (Marafon, *et al.* 2019), além da sua vasta quantidade no Brasil, em específico nas regiões Norte e Nordeste, diante disso, esse resíduo pode atuar como principal matéria-prima a ser usada nos meios de cultura para produzir enzimas hidrolíticas como celulases, celobiose e xilanase (Oliveira, 2010). As suas principais vantagens consistem em auxiliar o desenvolvimento das indústrias nacionais no que tange o uso de enzimas, que na realidade Brasileira, depende fortemente da importação de produtos, portanto, além de

diminuir impactos ambientais causados pelo despejo inadequado da casca do coco-verde, o custo energético para a produção desses bioprocessos.

### **2.5 Pré-tratamentos utilizados para usufruir biotecnologicamente da casca de coco**

Os resíduos agroindustriais como a casca do coco-verde e outros (bagaço de cana, espiga de milho e farelo de arroz) são alvos de estudos a fim de obter novos métodos que evitem o desperdício dessa grande parcela da produção do agronegócio. Entre eles, o uso deles na fermentação em estado sólido apresenta ser bastante promissor em virtude da sua fácil disponibilidade e degradabilidade aliada à sua atuação como excelente fonte de nutrientes para microrganismos (Sadh; Duhan; Duhan, 2018), permitindo a fabricação de biocombustíveis, enzimas, vitaminas e antibióticos sendo uma estratégia para diminuir custos de produção e impactos ambientais, a exemplo da biomassa do óleo de palma na Malásia, que faz uso de um tipo de fungo para a sua decomposição a fim de substituir o método de queimadas nas plantações (Naidu; Siddiqui; Idris, 2020). Porém, como a biomassa da casca de coco é considerada um material orgânico lignocelulósico, devido a sua composição por diferentes polímeros, tornando necessária a destruição prévia de sua estrutura para ser consumida pelos microrganismos através de diferentes técnicas de pré-tratamento, entre as disponíveis, estão: explosão a vapor, moagem, explosão por congelamento, tratamentos químicos com ácidos, bases e outros solventes orgânicos além do uso de fungos (Diaz; Blandino; Caro, 2018).

O pré-tratamento através de produtos químicos ou enzimas são excelentes para liberar os açúcares fermentescíveis presente na biomassa, Cabral *et al.* (2017), por exemplo, avaliou o pré-tratamento alcalino e ácido para a extração de celulose e lignina para produção de etanol 2<sup>o</sup> geração, obtendo valores de 38,09% e 55,17% para celulose presente na composição química da fibra da casca do coco-verde no pré-tratamento ácido e alcalino, respectivamente, em outro trabalho, Cabral (2015) mostra valores satisfatórios para concentração de açúcares em hidrólise enzimática na biomassa de coco-verde pré-tratada com reagente alcalino nas condições de 5% NaOH e 40 minutos de reação (8,74 g/L) diferente da pré-tratada com 5% de ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em 40 minutos (2,46 g/L), divergência essa causada pelo teor alto de lignina na biomassa que sofreu pré-tratamento ácido, favorecendo a inibição de agentes enzimáticos, Souza *et al.* (2023) em seu trabalho que analisa a eficiência da hidrólise ácida e explosão à vapor para

liberação de pentoses e hexoses em resíduos agroindustriais, como resultado, foi observado uma maior eficácia da hidrólise ácida quando comparada com a explosão a vapor na liberação de glicose em resíduos como as cascas de melão (11,44g/L) e abacaxi (7,24 g/L), bagaço da laranja (8,98 g/L) enquanto que a xilose foi liberada em maior teor na casca e coroa do abacaxi, com valores de 17,18 e 17,36 g/L, respectivamente, nas sementes de melão (4,01 g/L) e bagaço da laranja (4,36 g/L).

Os dois tipos de hidrólise apresentam vantagens e desvantagens, o uso de ácidos possui um tempo de retenção menor e custos baixos apesar de gerar compostos nas etapas posteriores enquanto a enzimática pode operar em temperaturas baixas e faixas de pH baixas enquanto apresenta um maior custo das enzimas e um tempo de retenção elevado (Kumar; Singh; Korstad, 2017), embora o processo enzimático seja bastante eficaz, o seu alto custo o torna um fator limitante em comparação aos químicos.

## **2.6 Produção de Enzimas por fermentação semi-sólida**

As enzimas são proteínas de alto peso molecular cujo suas ações possuem caráter metabólico e possuem função de acelerar biorreações em organismos vivos através da diminuição de energia de ativação para tais reações. As enzimas são específicas, versáteis e catalisadoras de alta eficiência quando comparadas a catalisadores químicos até mesmo em condições naturais, formando até menos produtos secundários diante de suas reações, indicando benefícios ambientais e econômicos. Atualmente, esses biocatalisadores são de extremo interesse para indústrias como a farmacêutica e de alimentos, por serem bioprodutos estudados há anos na bioquímica, sabe-se que a forma mais rentável de se obtê-las é através do processo metabólico de bactérias, fungos filamentosos e leveduras, que na indústria atual, são obtidos por processos fermentativos submersos ou em estado sólido. (Bastos, 2015).

Na área de alimentos, enzimas exercem papéis diversos como o amaciamento de carnes através de proteases, que catalisam a ligação actomiosina formada durante o processo de rigor mortis, clareamento de cervejas pela ação de carboidrases, que transformam o malte em açúcar fermentescível para os microrganismos. A fim de obter diferentes enzimas, a casca do coco-verde atua como matéria-prima devido a sua composição consistir em celulose, celobiose e xilose viáveis para serem consumidas por microrganismos após passarem por pré-tratamento que libera esses açúcares em um hidrolisado, permitindo a produção de:

### 2.6.1. Celulases

Grupo de enzimas que realizam a degradação da celulose, composto presente de modo majoritário nas células vegetais, a qual é um polissacarídeo de múltiplas unidades de glicose, cujo as ligações químicas são quebradas pela celulase. Fazendo parte do grupo, são conhecidas três enzimas: endoglucanases, exoglucanases e beta-glicosidases, que agem, respectivamente, na região interna da fibra de celulose, nas extremidades da fibra e na celobiose, degradando a celulose presente nesses locais (Zanchetta, p.1-2). Na indústria de alimentos, as celulases em conjuntos de hemicelulases e pectinases, atuam nos processos de maceração na extração de óleo de sementes e sucos de frutas, a qual também desempenha papel na filtração e clarificação desses produtos alimentícios junto de maior eficácia na liquefação do tecido vegetal, permitindo melhor extração de pigmentos dos frutos (Bhat; Bhat, 1997). Em razão disso, os microrganismos fúngicos utilizados para sintetizar elas, necessitam de substratos que sejam uma excelente fonte de nutrientes, sobretudo carbono, de baixo custo, portanto, nota-se que os resíduos agroindustriais como a casca do coco-verde se enquadram nesses critérios. Simone Lopes (2010) em seus estudos já havia detectado o coco-verde como um excelente substrato para induzir produção de celulases em uma temperatura de 60°C na faixa de 6,0 a 6,5 de pH usando fungos morfológicamente isolados, apresentando excelente atividade enzimática ( $2,46 \pm 0,07$  Ui/gds).

### 2.6.2 Celobiasas

Enzimas cuja função é realizar reações catalíticas em moléculas de celobiose, um produto resultante da degradação da celulose através da ação de celulases. O foco dessa enzima é transformar a celobiose em glucose com a intenção de evitar efeitos inibitórios que este composto causa em enzimas endoglucanases e exo-celobiohidrolases, possuindo papel fundamental na aceleração da degradação enzimática da celulose (Oliveira, 2010).

Na dissertação de Pacheco (2016), ao avaliar fungos filamentosos para produzirem celulases, ele define algumas características de celobiasas ( $\beta$ -glicosidases), como o seu pH ótimo para atuação, que é na faixa 4,0-5,6 permitindo a finalização da despolimerização e o aumento da hidrólise no processo pelo consumo de celobiose, uma inibidora da ação de exoglucanases.

Mouro (2012) estuda em seu trabalho de pós-graduação o uso de algumas espécies de leveduras isoladas de madeira em decomposição em diversos ecossistemas brasileiros como uma espécie de *Candida* (*C. queroiziae*), que fermenta eficientemente glicose e celobiose em menos de 20 horas, produzindo 7-8g/L de etanol a partir da glicose e 5-7,5 g/L a partir da celobiose nos meios YP contendo 2% de glicose ou celobiose, em razão da presença intracelular da atividade da  $\beta$ -glicosidase (167-230 nmoles mg-1 min-1) detectada no meio em pH 7, além disso, possui um sistema de co-transporte H<sup>+</sup>-celobiose de alta afinidade, uma condição importante para a eficiência da fermentação simultânea dos açúcares por minimizar a repressão catabólica da glicose na metabolização de xilose e celobiose, otimizando a produção de bioetanol.

Fazer uso desses tipos de fungos é uma boa opção, pois possuem eficácia para produção de enzimas celulolíticas como celulase e  $\beta$ -glicosidase, o que é benéfico, uma vez que microrganismos podem ser usados para a produção em larga escala de enzimas (Orlandelli; *et al.*, 2012).

### 2.6.3 Xilanases

Enzimas capazes de catalisar as xilanas, um tipo de polissacarídeo que constituem a hemicelulose, correspondendo entre 20-30% da biomassa vegetal, ficando atrás apenas da celulose (Subramaniyan; Prema, 2002). Atuam hidrolisando as ligações  $\beta$  1→4 internas da cadeia de xilana, gerando como produtos finais xilo-oligossacarídeos, com o auxílio das  $\beta$ -xilosidases, são capazes de realizar a produção do xilose, um átomo de carbono que serve de nutriente para microrganismos, a quais podem gerar durante suas biorreações o xilitol, um poliálcool que atualmente tem o seu uso estudado em indústrias farmacêuticas e alimentícias como a produção de doces com açúcar reduzido, adoçantes artificiais e até pastas de dentes por causa dos seus efeitos recalcificantes minerais.

Sua produção mais vantajosa é por meio da fermentação em estado sólido por causa do menor investimento capital, menor custo operacional e pela alta produtividade por volume de reator, especialmente por Fungos (Walia *et al.*, 2013; Walia *et al.*, 2017), apresenta atividade ótima nos parâmetros físicos com as seguintes condições: temperatura no intervalo de 50-60°C, pH na faixa de 5,0 – 9,0, tempo de incubação de 48 horas, tamanho do inóculo de 5% e agitação a

200 rpm (Sepahy *et al.*, 2011; Irfan *et al.*, 2016) aliada à parâmetros nutricionais como presença de nitrogênio, carbono, vitaminas (Walia *et al.*, 2017).

Resíduos agroindustriais são utilizadas como substratos na produção da enzima como bagaço de cana-de-açúcar, palha de trigo, farelo de arroz, farelo de trigo, palha de sorgo (Chakdar *et al.*, 2016), pesquisadores reportam uma boa produção por diferentes microrganismos em bagaço de cana como a *Trichoderma viride-IRO5* (Irfan *et al.* 2014), *Penicillium citrinum* (Ghoshal *et al.*, 2015) e *Aspergillus sp.* (Alebiosu *et al.*, 2015).

Ademais, o interesse industrial da xilanase é estudado em processos de clareamento de polpa de papel (Prade, 1995) e na produção de etanol a partir de pentoses assim como na área de alimentos servindo para aumentar o volume específico e determinando textura de miolos na panificação (Camacho; Aguiar, 2003), também diminui a viscosidade e turbidez das cervejas (Rizzati, 2004).

As xilanases atuam na formulação de produtos de panificação pela quebra de polissacarídeos não amiláceos nos grãos, sendo responsável por aspectos positivos como textura agradável pela maciez, aumento de volume, prolongamento da vida útil dos pães e melhor estrutura do miolo (Butt, *et al.*, 2008), a revisão de Alokika e Singh (2019) aborda diferentes aplicações biotecnológicas de xilanases microbianas como a extração de óleos vegetais, bioconversão de resíduos agrícolas e atuação como agente de branqueamento e digestor de fibras.

Os sucos de frutas sem processamento possuem alta viscosidade e turbidez, além da decantação de sólido pela presença de polissacarídeos (amido, pectina, celulose, hemicelulose) após um tempo, sendo necessário o uso de enzimas para viabilizar a produção mantendo as qualidades organolépticas e estabilidade do produto final (Moura, *et al.*, 2021). Xilanases possuem aplicação em sucos com alto teor de hemicelulose, aumentando o rendimento e garantindo a clarificação do suco como os de abacaxi (Pal; Khanum, 2011a), além da diminuição da turbidez e aumento de açúcares redutores em sucos de pera, romã, damasco, apresentando uma boa clarificação nos sucos de pH mais básicos (Adiguzel *et al.*, 2019).

O método da ação fermentativa de microrganismos, que podem fazer uso da casca de coco-verde como substrato em fermentação semi-sólida, cujo cultivo consiste em realizar o crescimento de microrganismos em misturas de materiais sólidos na

ausência ou presença controlada de água livre, sendo ideal no cultivo de fungos por simular seu meio natural.

Esse método possui vantagens econômicas para uso industrial em razão da sua simplicidade, baixo custo, alta produtividade, alta concentração de produtos e pouco uso de espaço e energia (Pandey, *et al.*, 1999) apesar de restringir o processo a fungos filamentosos, ademais, a casca de coco-verde torna-se um alimento de suma importância por ter em sua composição compostos lignocelulósicos que ofereçam nutrição semelhante aos de seus habitats naturais, porém, os constituintes de interesse são a celulose e a lignocelulose, principal foco para a produção das enzimas líticas que são utilizadas na indústria de alimentos.

## 2.7 Utilização da lignina

A lignina faz parte da composição macromolecular das biomassas lignocelulósicas com grande potencial para ser precursor de vários produtos de interesse econômico, entre esses produtos, o que possuem maior interesse são os polímeros, fibras de carbono e nanopartículas e a forma de obtenção que irá adicionar maior valor para a lignina é o aproveitamento de resíduos agroindustriais e coprodutos (Braga, Melissa; *et al.*, 2023). Por ser um produto com pouco valor agregado, é tradicionalmente subutilizado na queima para geração de energia térmica e elétrica (Wu, *et al.*, 2017) em caldeiras nas indústrias de celulose, entretanto, com o avanço de pesquisas de desenvolvimento, existe atualmente a possibilidade de utilizar a lignina como fonte de novas matérias-primas e insumos devido a biorrefinarias florestais com múltiplas rotas de conversão - bioquímicas, microbianas e químicas - (Collares; Paula. 2015).

Além disso, também há estudos que verificam a possibilidade de realizar bioconversão da lignina para vanilina, um composto aromático flavorizante amplamente utilizado nas indústrias de alimentos para conferir sabor e aroma em bolos, doces e chocolates, através da ação de microrganismos como o *Bacillus sp*, que conseguem degradar o polímero da lignina em vanilina, ácido ferúlico e ácido vanílico (Kaur, Harpreet; *et al.*, 2021). A casca de coco-verde possui uma quantidade considerada elevada de lignina, variando em um teor de 30% a 40% no total, justificando a sua casca bastante resistente, para extrair essa lignina do fruto, é necessário realizar pré-tratamentos ácidos e alcalinos cujo objetivo seja quebrar a biomassa lignocelulósica do coco.

Em estudos que envolveram realizar duplicatas de 5 gramas de casca de coco secas em erlenmeyers contendo 100 mL de solução ácidas (5% ácido sulfúrico) ou soluções básicas (5% de hidróxido de sódio), foi possível obter valores de 57,70% e 29,91% do teor de lignina na casca do coco após pré-tratamento ácido e básico, respectivamente (Cabral, Mirelle; *et al.*, 2017), portanto, a utilização da casca de coco-verde pode vir a auxiliar na valorização da lignina e suas aplicações por prover esse composto em grande quantidade em razão da sua própria composição fisiológica.

## 2.8 – Xilitol

O xilitol ( $C_5H_{12}O_5$ ) é um poliálcool com um grupo hidroxila ligada a cada átomo de carbono em sua cadeia, apresentando um poder adoçante elevado enquanto contém 40% menos calorias que a sacarose. Sendo descoberto em 1891 pelo químico Emil Fischer e sua equipe, produzindo um xarope por meio da reação da xilose com amálgama de sódio (Albuquerque, *et al.*, 2014).

O xilitol possui uma forte demanda em razão do rápido crescimento mundial devido a crescente conscientização dos consumidores sobre a saúde e ao crescimento acelerado das vendas de gomas de mascar, além da sua aprovação em mais de 50 países para uso alimentar, sendo considerado seguro (Koutinas, *et al.*, 2014; Franceshin G, *et al.*, 2011).

Na revisão sobre produção biotecnológica do xilitol por resíduos agroindustriais de Albuquerque *et al.* (2014), é explicado que o xilitol possui valor comercial na indústria de alimentos e de fármacos, sendo produzido tradicionalmente por via química mediante a hidrogenação da xilose, um processo que faz uso de altas pressões (31-40 atm) e altas temperaturas (100-130°C) em reatores com o tempo variando de três a cinco horas a depender das condições empregadas.

Sua produção em larga escala requer que certos passos sejam seguidos, iniciando com a hidrólise ácida de um material rico em xilose, posteriormente, é feita a purificação do hidrolisado para a obtenção de uma solução pura de xilose, que sofrerá uma hidrogenação catalítica para ser transformada em xilitol com um catalisador (liga de Ni-Al<sub>2</sub>), após isso, é obtida uma solução purificada de xilitol que passará por um processo de cristalização (Albuquerque, *et al.*, 2014).

As altas condições de temperatura e pressão aliada ao alto custo dos equipamentos para a realização do processamento tornam esse método extremamente

caro, criando-se um interesse pela busca de rotas alternativas como o emprego de microrganismos fermentadores.

## 2.9 Aplicações do xilitol

Os estudos para aplicar o xilitol em diferentes produtos têm aumentado recentemente em virtude do aumento do número de pessoas que começaram a apresentar problemas de saúde como diabetes, indicando uma necessidade de consumir alimentos com baixo teor de açúcares.

Entre os motivos para empregá-lo em alimentos está a sua elevada estabilidade química e microbiológica, favorecendo seu uso como conservante alimentício, a sua ausência em reações com aminoácidos chamadas de “*Maillard*”, não provocando diminuição dos valores nutricionais das proteínas, além disso, ele possui capacidade de criar aspectos sensoriais desejáveis em alimentos como balas e gomas de mascar devido ao seu alto calor de solução endotérmico de 34,8 cal/g gerando efeitos refrescantes na boca (Manz *et al.*, 1973).

Ademais, apresenta baixos valor calórico e índice glicêmico, uma vez que o xilitol independe da insulina para ser metabolizado no corpo, penetrando em quase todas as células do organismo, principalmente as do fígado que possuem capacidade de catabolizar o xilitol através das enzimas, portanto, o sangue não sofre concentrações bruscas motivadas por sacarose e glicose.

A xilose pode ser processada por via biotecnológica em razão do emprego de leveduras capazes de metaboliza pentoses como a D-xilose presente em resíduos agroindustriais como bagaço de cana, palha de arroz, palha de trigo e cavacos de eucalipto, que serão empregados como meio de cultivo (Canettieri *et al.*, 2001).

Ao adentrar a célula pela membrana celular do microrganismo, enzimas como a xilose redutase entram em ação com o auxílio de coenzimas NADPH ou NADH (Jeffries, 1983) que irão reduzir a xilose em xilitol, que será excretado para o exterior ou oxidado a xilulose pela enzima xilitol desidrogenase com participação de NAD<sup>+</sup> (Slininger *et al.*, 1987).

Apesar de ainda não existirem resultados na literatura disponíveis a respeito da utilização da casca de coco para a produção de xilitol, essa matéria prima apresenta um elevado potencial para esse fim. A literatura reporta que alguns microrganismos podem realizar a produção do xilitol consumindo os açúcares fermentescíveis presentes em hidrolisados obtidos de diferentes matérias-primas, entre eles, destaca-se a

*Kluveromyces Marxianus*, uma levedura não convencional com características que a permitem a sua viabilidade em aplicações industriais, por causa da sua produção de enzima inulinase para hidrolisar frutanos vegetais complexos além do seu crescimento rápido até em temperaturas maiores que 40°C (Rouwenhorst *et al.*, 1988), pode ser utilizada na produção de bioetanol a partir de soro de queijo, acúmulo de biomassa, produção de enzimas valiosas como inulinase e  $\beta$ -galactosidase, também é empregado na produção de alimentos como leite fermentado, kefir, iogurte (Coloretti *et al.*, 2017).

A *Kluveromyces Marxianus* possui uma capacidade promissora para fermentar glicose e xilose, com essa sendo necessário o uso de linhagens modificadas por engenharia genética para tornar ela capaz de co-fermentar os dois açúcares e fazer uso da xilose como fonte de carbono (Santos, 2011; Baptista, Domingues, 2022), essa habilidade permite a fermentação de hidrolisados obtidos de biomassas lignocelulósicas como a casca de coco-verde para a produção de xilitol.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo Geral**

Esse trabalho visa realizar uma revisão de produtos biotecnológicos que possuem a casca de coco como matéria-prima, assim como a sua produção de xilitol a fim de verificar o potencial biotecnológico desse resíduo agroindustrial.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar a literatura para a produção de produtos biotecnológicos a partir da casca de coco
- Otimizar o plano experimental para a hidrólise da casca de coco com ácido diluído visando a máxima obtenção de xilose.
- Executar a hidrólise da casca de coco sob condições otimizadas.
- Analisar e quantificar o teor de xilose no hidrolisado.
- Conduzir a fermentação para a produção de xilitol
- Avaliar o rendimento da produção de xilitol

## **4. Material e métodos**

### **4.1. Análise bibliométrica**

Inicialmente foi conduzida uma análise bibliométrica a partir das bases de dados *Web of Science* (WS) ([www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)) e *Scopus* (SC) ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)), empregando os termos “*Coconut husk AND Fermentation*” (WS: 61 artigos e SC: 71 artigos) com objetivo de verificar os principais temas relacionados a publicações que envolveram o reuso da casca de coco. Arquivos duplicados foram removidos, resultando em 108 produções. Informações do autor, instituição do primeiro autor, instituição do autor correspondente, país do primeiro autor, país do autor correspondente, ano de publicação, revista científica, palavras-chave, resumo e título foram exportados e analisados usando *VOSviewer* e o pacote *Bibliometrix*.

### **4.2. Preparação da casca do coco-verde**

As cascas para a experimentação foram adquiridas através de mercados locais de venda de água de coco em Fortaleza, Brasil. O seu pré-processamento foi através do descascamento e fatiamento para ser posta em estufas de secagem a 80°C por 24 horas, posteriormente, sendo trituradas e peneiradas. A farinha obtida foi estocada em temperatura ambiente (25°C) para ser utilizada nos experimentos, com a casca do coco sendo caracterizada em relação ao seu teor de hemicelulose e celulose por metodologias validadas antes e depois do tratamento com o ácido diluído.

### **4.3. Otimização do pré-tratamento de ácido diluído para a casca do coco**

O pré-tratamento é baseada na metodologia desenvolvida por Rocha *et al.* (2014) para solubilizar a fração hemicelulósica do bagaço de caju por meio de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) diluído. Para o trabalho, foram preparados em erlenmeyers diferentes soluções contendo 10g de farinha da casca do coco-verde com múltiplas concentrações (0.03 M, 0.02 M, 0.60 M, 1.00 M, 1.17 M) e tempos diversos (5.9 min, 10 min, 20 min, 30 min, 34 min) seguindo uma proporção de 10% (m/v) com o uso do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para aumentar a liberação de xilose (Albuquerque, 2014), a hidrólise ocorreu em uma autoclave vertical com a temperatura de 121°C para a liberação de açúcares fermentescíveis em uma maior quantidade, cuja concentração foi verificada através do “Central Composite Design” (CCD). Após a obtenção da condição otimizada de 0,94M e 21,36 minutos, foram feitas o preparo de 6 erlenmeyers com 10g de farinha de coco para serem submetidos a

hidrólise ácida nas condições de 121°C em autoclave, obtendo 600 mL de hidrolisado, para posteriormente ter o pH ajustado.

#### **4.4. Desintoxicação do hidrolisado de casca do coco**

600 mL de hidrolisado obtido nas condições pré-estabelecidas foram colocados em um béquer de 600 mL para ser submetido a tratamento de desintoxicação através do ajuste de pH pela adição de  $\text{Ca(OH)}_2$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para corrigir o pH do hidrolisado para um valor próximo da neutralidade, a análise do pH foi realizada por meio de um pHmetro, o  $\text{Ca(OH)}_2$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  eram adicionados e agitados no hidrolisado até obter o pH desejável de 6,34. Após isso, o precipitado formado durante o processo foi devidamente filtrado da fração líquida por meio de uma bomba a vácuo, tornando o hidrolisado apto a ser utilizado na fermentação.

#### **4.5. Microrganismo e a preparação do inóculo**

A cepa utilizada para os estudos foi a *Kluyveromyces marxianus* ATCC 36907, cedida pelo Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Biotecnológicos (GPBio). A levedura foi armazenada em uma placa de petri contendo caldo YEPD (10 g/L de extrato de levedura, 20 g/L de peptona, 20 g/L de dextrose e 20 g/L) contendo 20% de glicerol (v/v) a -20°C. Depois, as colônias foram transferidas para um Erlenmeyer contendo um meio de cultura com ágar YEPD com 10 g/L de extrato de levedura, 20 g/L de peptona e 20 g/L de glicose, a qual foi mantido em um agitador orbital a 30°C, 200 rpm por 24 horas. Posteriormente, amostras seriam retiradas do meio fermentado para serem inseridas nos hidrolisados a fim de verificar a produção de xilitol e o consumo de xilose.

#### **4.6. Produção de xilitol utilizando o hidrolisado da casca do coco**

O xilitol foi produzido por meio dos hidrolisados de cascas de coco contidos em erlenmeyers de 125 mL, que tiveram a adição do inóculo na proporção de 10% (m/v) em um agitador rotativo a 30°C e 200 rpm por 120 horas com uma concentração inicial de células de 1,0 g/L, as amostras foram coletadas com determinados períodos visando a avaliação do crescimento celular, concentração de substrato (xilose e glicose) e concentração do produto (xilitol e etanol).

As amostras eram retiradas do meio hidrolisado fermentados dentro de uma capela de fluxo laminar, 2 mL de alíquotas de diferentes pontos foram transferidas para

eppendorfs (2 mL), sendo colocadas em centrífugas de laboratório por 15 minutos e armazenadas em vials (0,6 mL) para análise em HPLC e em eppendorfs (10 mL) para análise de absorbância, a condução de todos os experimentos foi em duplicata.

#### **4.7. Métodos analíticos e análises estatísticas**

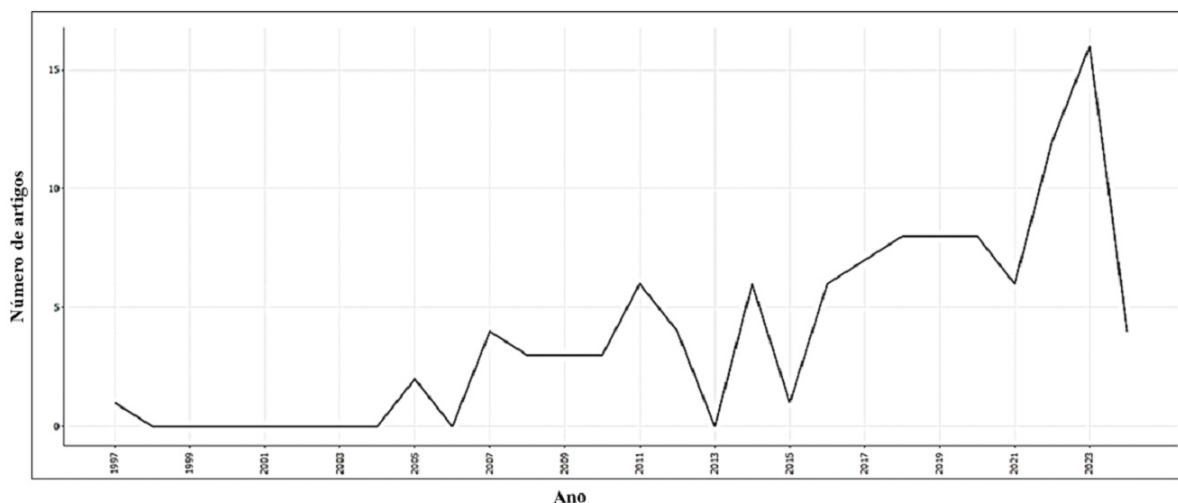
Para avaliar o crescimento de biomassa celular, as amostras foram utilizadas em espectrofotômetro UV visível a 600 nm, com sua concentração (g/L) sendo estabelecida por uma curva de calibração de peso seco (g/L) versus a densidade ótica (600 nm). O consumo de substrato (Glicose, arabinose, xilose) e produção de xilitol, etanol e inibidores foram verificados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) utilizando sistema Waters HPLC (Waters, Milford, MA, EUA), possuindo um detector de índice de refração waters 2414 que utiliza uma coluna 610-H com temperatura a 30°C. O ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) foi utilizado com concentração de 0,1% (p/v) e vazão de 0,5 mL/min com volume de amostra de 20 µL. As análises do planejamento experimental foram elaboradas com o uso do software Statistica v7.0 (Statsoft) aplicando a resposta da metodologia de superfície (RSM) para analisar os resultados. A avaliação de significância estatística foi feita por meio de análise unidirecional de variância (ANOVA) com níveis de significância de 95%.

## 5. Resultados e Discussões

### 5.1. Pesquisa bibliométrica com a utilização da casca de coco

A consulta na base de dados *Scopus* forneceu uma visão aprofundada sobre a relevância dos estudos relacionados à casca de coco ao longo dos anos. A figura 4 dispõe o total de publicações que abordam o uso da casca de coco, nota-se que o interesse no uso alternativo da casca de coco era limitado há algumas décadas, uma vez que a fruta era majoritariamente utilizada para a produção de água de coco. Entretanto, a partir dos anos 2000 começaram a surgir artigos investigando o potencial deste resíduo agroindustrial para a geração de energia térmica como os briquetes, blocos compactados usados como combustível sólido para a geração de energia térmica (Carvalho, 2009), além disso, surgem trabalhos que começam a explorar o potencial de resíduos agroindustriais para produzir compostos de interesse industrial por meio de fermentação em estado sólido como o de Orzua *et al.* (2009), que avalia a taxa de crescimento do microrganismo *A.Niger* em substratos como a casca de coco, casca de laranja e casca de limão para produzirem metabólitos, notando que a casca de coco apresentava uma taxa de crescimento considerável, perdendo apenas para o bagaço de maçã, casca de laranja e limão. A partir de 2017 se observa um aumento significativo na documentação sobre o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, visando a produção de compostos como poliálcoois e etanol, além do desenvolvimento de métodos ecologicamente sustentáveis.

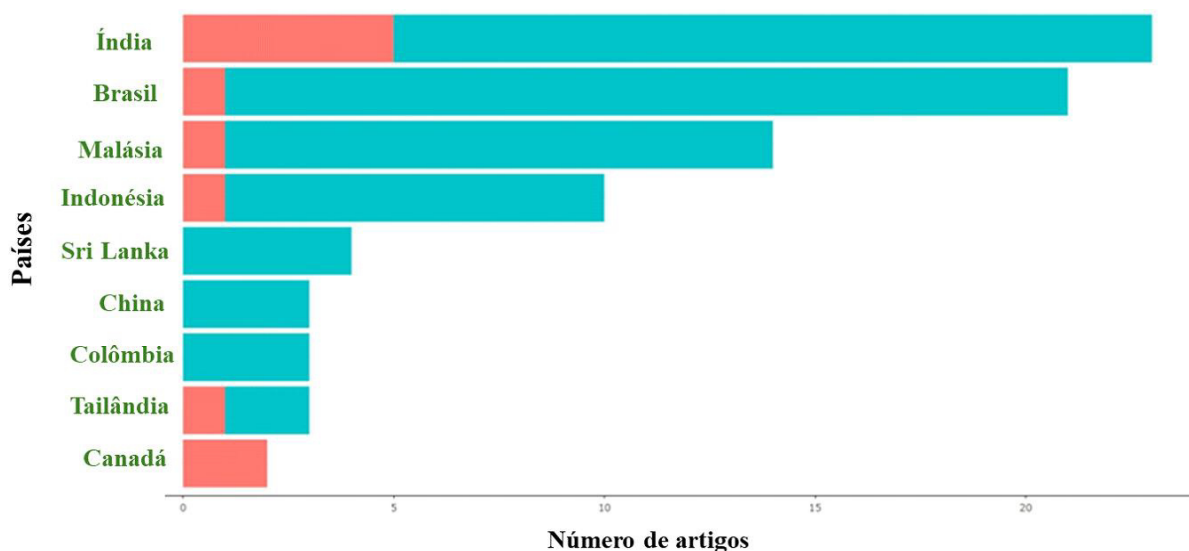
Figura 4 - Total de publicações que abordaram a utilização da casca de coco relacionando-se a processos biotecnológicos entre os anos de 1997 e 2024.



Ademais, analisando os dois gráficos seguintes, a produção científica se destaca em países que possuem um amplo cultivo de coco destinado a indústria de água de coco como a Índia e Indonésia, que ocupam 73% da área colhida mundial e o Brasil sendo o

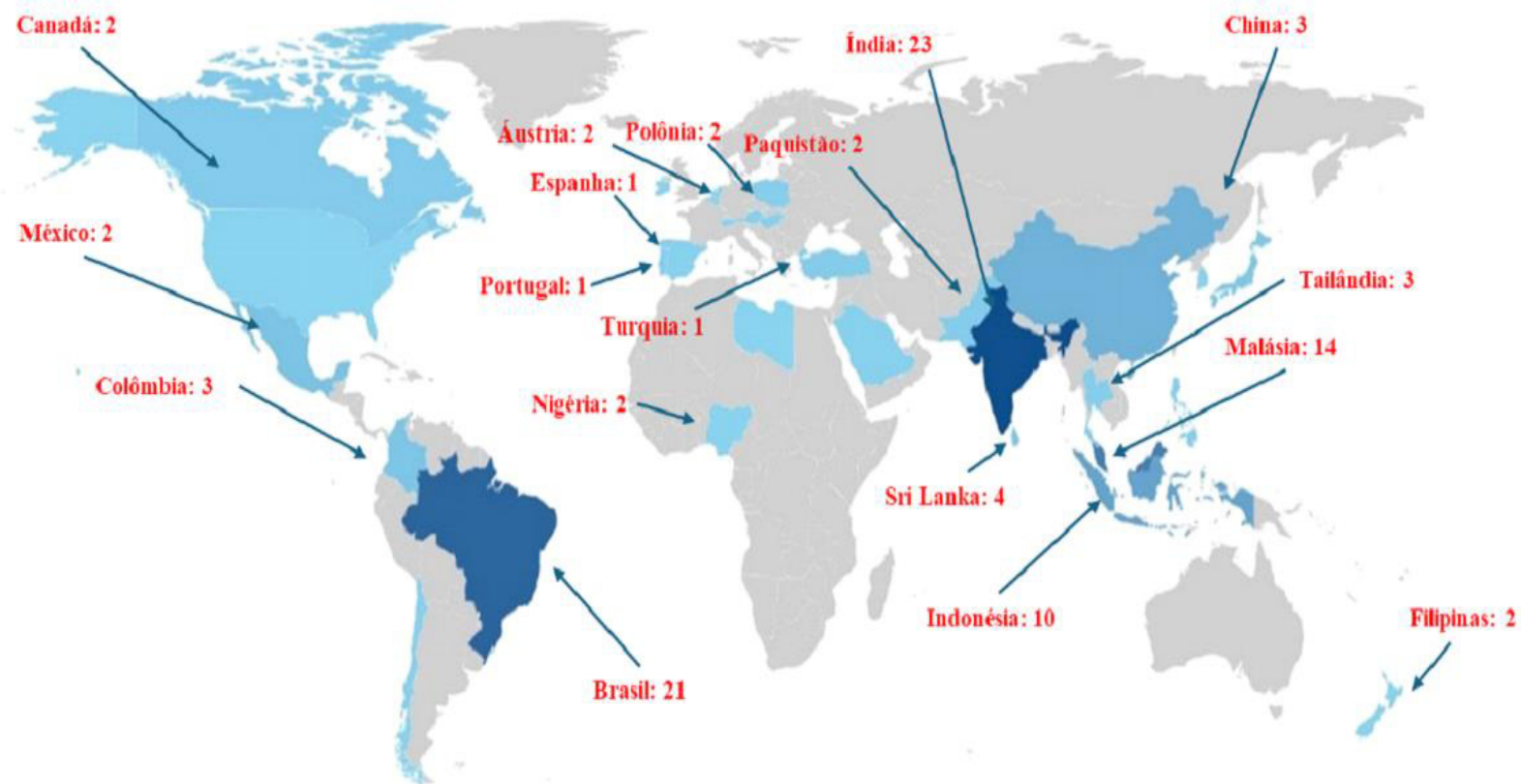
país que mais apresenta rendimento na produção, chegando ao total de 13.114 Kg/ha em 2021 (Swarnam, T.P; *et al.* 2016), de modo geral, o foco desses artigos costumam ser semelhantes ao do Brasil, procurando métodos viáveis de se aproveitar os resíduos agroindustriais, uma vez que eles são um problema de poluição global.

Figura 5 - Produções científicas produzidas por países: (■) com colaborações internacionais e (■) sem colaborações internacionais



Brasil e a Índia se destacaram apresentando valores de 21 e 23, respectivamente, no número de publicações científicas em comparação aos outros países como Malásia (14 publicações) e Indonésia (10 publicações). Indicando novamente que o tema da casca de coco se faz mais relevante em locais a qual possuem amplo cultivo e impacto comercial, servindo de modo a auxiliar a economia criando produtos como enzimas com aplicação industrial como a lacase (Albulaihed, *et al.* 2023), D’Almeida e Albuquerque (2024) comentam sobre a produção de derivados a partir da casca de coco populares, entre eles, destacam-se a água de coco, leite de coco, farinha de coco e óleo de coco, além disso, é possível adicionar valor nela ao reaproveitá-la como matéria-prima na produção de carvão e outros produtos como tapetes e cordas por meio das fibras de coco.

Figura 6 - Distribuição e número de publicações no tema investigado por país.



A Figura 7, a seguir, apresenta um mapa de visualização de rede que ilustra os principais termos e suas interconexões relacionados ao uso da casca de coco em estudos biotecnológicos. O termo “casca de coco” aparece centralizado, indicando seu foco principal nas pesquisas como biomassa para produção de biocompostos, enquanto “fermentação” e “fermentação em estado sólido” são destacados, sugerindo que muitos estudos utilizam esses processos.

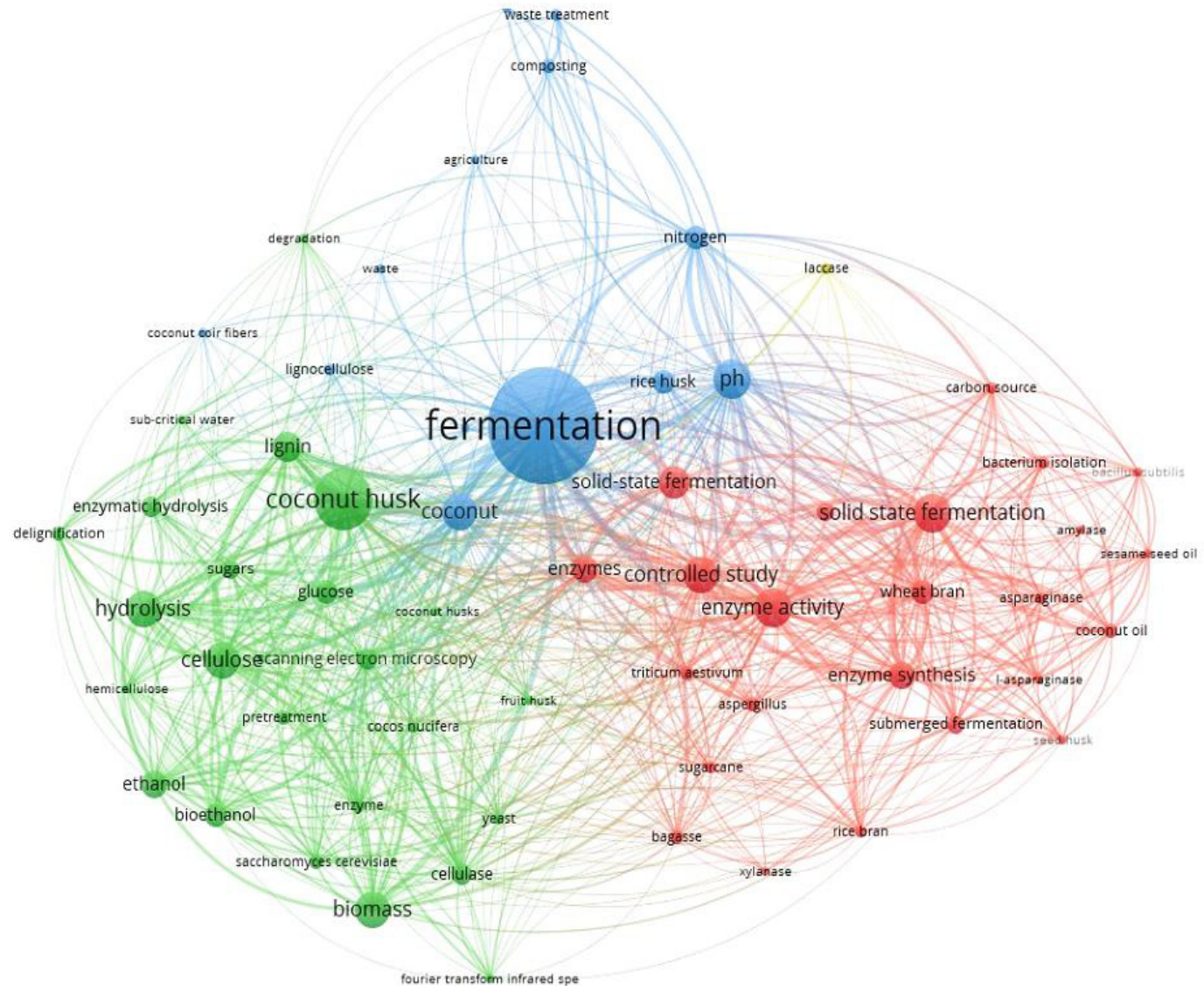
Termos como “controle biológico”, “produção de lacase”, e “otimização” estão conectados à fermentação em estado sólido, por ser uma enzima que é produzida por vários tipos de bactérias, Albulaihed, *et al* (2023) isola a *Stenotrophomonas maltophilia* E1 para produzir lacase por fermentação submersa usando a casca de coco como substrato para promover o uso da enzima em aplicações industriais na área de cosméticos, farmacêutica e alimentícia, fazendo uso da metodologia de superfície de resposta para encontrar condições otimizadas de produção.

“Hidrólise enzimática” está ligada à casca de coco e a outros processos de hidrólise, indicando sua importância na liberação de açúcares fermentáveis como xilose e glicose, que são frequentemente mencionados como intermediários em processos fermentativos e na produção de bioetanol, o trabalho de Cabral, *et al* (2016) realiza um estudo visando o uso da casca de coco submetida a pré-tratamento alcalino e hidrólise enzimática submetida a fermentação com *Saccharomyces cerevisiae* para produzir bioetanol, com uma conversão de açúcares em etanol de 59,6%, indicando ser uma opção promissora, em razão disso, a biomassa e o bioetanol aparecem conectados, sugerindo que a casca de coco é uma fonte potencial para biocombustíveis sustentáveis. Vários estudos focam em diferentes pré-tratamentos, como a deslignificação, para melhorar a eficiência da hidrólise e fermentação.



A Figura 8 apresenta uma rede de visualização de palavras-chave para o período de 1997 a 2024, destacando as principais áreas de pesquisa e interconexões relacionadas ao uso da casca de coco em processos biotecnológicos. O termo “fermentação” está centralizado, indicando sua importância dominante na pesquisa. Os termos “casca de coco” e “fermentação em estado sólido” aparecem como nós significativos, sugerindo que grande parte dos estudos se concentra nesses tópicos por causa de suas características, uma vez que é caracterizada como um processo em que microrganismos crescem na quase ausência de água livre, que exige menos energia para esterilização além de ser menos suscetível à contaminação microbiana e à inibição do substrato, sendo apta para produzir enzimas, possuindo um menor custo operacional, bem como a capacidade de admitir vários materiais lignocelulósicos (Martínez, *et al.* 2022). Termos como “hidrólise enzimática”, “lignina”, e “celulose” estão interligados, evidenciando que a decomposição e transformação de componentes estruturais da casca de coco por meio desse pré-tratamento são temas recorrentes. A produção de bioetanol e outros biocombustíveis também é destacada, com palavras-chave como “biomassa” e “etanol” mostrando fortes conexões em estudos como a de Cabral, *et al.* (2016). Além disso, o mapa revela o uso de diferentes métodos de pré-tratamento, como “deslignificação” e “hidrólise”, para melhorar a eficiência dos processos biotecnológicos. A presença de termos relacionados a microrganismos específicos, como “*Aspergillus*” e “*Saccharomyces cerevisiae*”, indica que as pesquisas frequentemente exploram o uso de diferentes microrganismos na fermentação da casca de coco, a *Saccharomyces cerevisiae* é empregada em estudos que visam a obtenção de bioetanol, Soares, *et al.* (2016) no seu trabalho obteve uma alta concentração de bioetanol ao fermentar hidrolisado do mesocarpo do coco, obtendo um teor de 3,73% (v/v), já o gênero *Aspergillus* também possui algumas utilizações como na produção de celulasas por *Aspergillus fumigatus* em fermentação em estado semi-sólido usando resíduos agroindustriais como casca de coco, bagaço de caju e bagaço de cana-de-açúcar (Oliveira, *et al.* 2017).

Figura 8 - Rede de visualização de palavras-chave para o período de 1997 a 2024.



A pesquisa bibliométrica realizada com a utilização da casca de coco evidencia um crescente interesse acadêmico e industrial no reaproveitamento deste resíduo agroindustrial, especialmente a partir de 2005, com um aumento significativo na documentação e estudos a partir de 2017. Países como Índia, Indonésia e Brasil se destacam pela quantidade de publicações, refletindo sua produção significativa de coco e os esforços em desenvolver métodos sustentáveis de utilização dos resíduos. O uso predominante da casca de coco em processos fermentativos, como a fermentação em estado sólido, a hidrólise enzimática e a produção de bioetanol, é amplamente documentado, demonstrando a viabilidade desses métodos para a geração de compostos de alto valor agregado. A análise das palavras-chave revela uma interconexão entre diversos processos biotecnológicos, destacando a fermentação, a deslignificação e a hidrólise como técnicas chave para o aproveitamento da casca de coco. Esses dados são fundamentais para compreender as principais tendências e metodologias empregadas, além de identificar oportunidades para futuras pesquisas e inovações no campo do reaproveitamento de resíduos agroindustriais, que demonstram aptidão para serem usadas como substratos na produção de enzimas celulases (Oliveira, *et al.* 2017) e lacases (Albulaihed, *et al.* 2023), ademais, também foi notada que vários microrganismos conseguem utilizar ela como substrato para produzir diferentes produtos ao consumir os açúcares, a levedura comercial (*Saccharomyces cerevisiae*) é capaz de produzir altos teores de bioetanol (Soares, *et al.* 2016) e o *Aspergillus fumigatus* para produzir celulases (Oliveira, *et al.* 2017). O uso desses resíduos, em conjunto com processos fermentativos, visa garantir uma produção economicamente viável de compostos com alta aplicabilidade na indústria de alimentos, contribuindo para um desenvolvimento mais sustentável e eficiente.

A pesquisa bibliométrica teve como objetivo principal avaliar o potencial biotecnológico da casca de coco, evidenciando suas diversas aplicações e metodologias de reaproveitamento. Com base nos resultados obtidos e nas tendências identificadas, decidiu-se explorar especificamente a produção de xilitol a partir da casca de coco, devido às suas promissoras aplicações na indústria alimentícia como um adoçante natural de baixo índice glicêmico.

## **5.2. Otimização da produção de xilose a partir da casca de coco**

Os resultados obtidos no planejamento experimental para produção de xilose e glicose são apresentados na figura 9. Os rendimentos dos açúcares foram, em média,

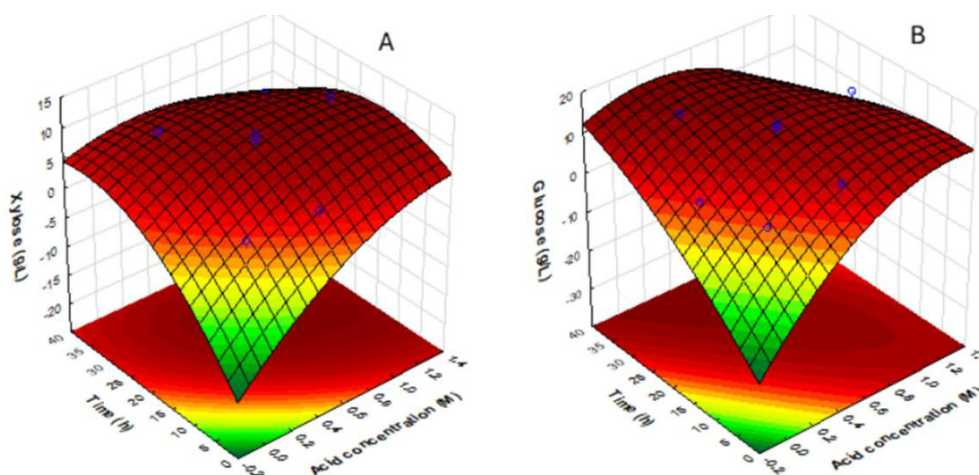
9,64 g/L para xilose e 13,39 g/L para glicose, entretanto, o maior rendimento para extração de xilose foi alcançado no sexto ensaio (1,17 M por 20 min), apresentando média de 11,45 g/L, enquanto o segundo ensaio (0,2 M por 30 min) foi mais eficaz na extração de glicose, tendo como resultado em 15,52 g/L de glicose. Importante a menção de que a concentração de 0,03M por 10 minutos teve a menor liberação de açúcares, indicando que maiores concentrações de ácido apresentam efeitos benéficos na extração de xilose enquanto um maior tempo é adequado para a extração de glicose.

Figura 9 – Resultado do experimento da hidrólise ácida da casca de coco com o uso de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Ensaio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)	Tempo (min)	Xilose (g/L)	Glicose (g/L)
1	0,20	10,00	1,87±0,02	2,15±0,00
2	0,20	30,00	10,19±0,22	15,52±0,032
3	1,00	10,00	7,26±0,00	8,93±0,06
4	1,00	30,00	9,22±0,02	10,45±0,00
5	0,03	20,00	2,92±0,17	3,35±0,13
6	1,17	20,00	11,48±0,06	14,58±0,13
7	0,60	5,90	4,70±0,09	9,75±0,12
8	0,60	34,10	7,52±0,06	14,14±0,01
9	0,60	20,00	10,56±0,27	14,29±0,31
10	0,60	20,00	9,53±0,01	13,11±0,01
11	0,60	20,00	8,84±0,07	12,77±0,30

A figura 10 mostra a superfície de resposta, que está delineando a área ideal para se obter xilose e glicose. As análises do teste F e ANOVA foram utilizadas como critérios para determinar significância dos modelos ajustados, que produziram resultados satisfatórios de coeficientes de correlação ( $R^2 = 0,86$  para equação 1 e  $R^2 = 0,81$  para equação 2).

Figura 10 – Superfície de resposta para xilose (A) e glicose (B) obtidas na casca do coco.



A partir dos resultados obtidos, a concentração de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,94 M por 21,36 minutos foi determinado como a mais eficaz para liberar xilose da casca de coco, com essas condições, foi possível obter concentrações superiores a 10g/L de xilose, indicando maior eficiência na decomposição da hemicelulose em xilose, permitindo a sua aplicação na síntese de produtos com alto valor.

A Figura 12 ilustra o perfil da produção do xilitol no meio hidrolisado de casca de coco, sendo notório a produção de xilitol que atingiu a concentração máxima de 3,18 g/L. Rendimento e produtividade de xilitol de 0,198g.  $\text{g}^{-1}$  e 0,027g/L/h observados em 24 horas. Além do rápido consumo da glicose que levou a produção de etanol no meio (valores de até 5,68g/L).

### 5.3 Produção de xilitol a partir da casca de coco

A Figura 11 apresenta a cinética de produção de xilitol pelo microrganismo *Kluyveromyces marxianus* ATCC 36907, realizada a 30 °C e 200 rpm ao longo de 120 horas. A análise do gráfico permite observar o comportamento dos principais componentes da fermentação – glicose, xilose, xilitol, etanol e biomassa – durante o processo fermentativo.

Inicialmente, observa-se que a glicose é rapidamente consumida nas primeiras 20 horas de processo. Esse comportamento sugere que a glicose é a principal fonte de carbono utilizada pelo microrganismo no início da fermentação. A queda acentuada na concentração de glicose indica que *K. marxianus* ATCC 36907 prioriza o consumo desse monossacarídeo, conforme esperado em processos fermentativos onde a glicose é rapidamente metabolizada para ativação do crescimento celular. Esse consumo inicial é

típico, pois a glicose proporciona uma fonte de energia prontamente disponível para as células, acelerando o crescimento e a produção de biomassa.

Por outro lado, a xilose apresenta uma curva praticamente constante ao longo do processo, com uma taxa de consumo muito baixa após o esgotamento da glicose. Esse comportamento sugere que, embora presente no meio, a xilose não é metabolizada na mesma taxa que a glicose. Essa baixa utilização da xilose pode estar relacionada a algumas limitações no metabolismo da *K. marxianus* ATCC 36907 como um menor consumo de xilose pela presença de altas concentrações de glicose, tendo sua metabolização como algo prioritário para o microrganismo (Neta, *et al.* 2024) ou pela presença de inibidores fermentativos no meio como ácidos orgânicos que surgem da degradação da hemicelulose, que ainda pode estar presentes no hidrolisado mesmo após a desintoxicação com adição de  $\text{Ca(OH)}_2$ , já que ela apenas reduz o teor deles (Albuquerque, *et al.* 2015). Essas características são relevantes em processos de produção de xilitol, uma vez que a xilose é o substrato específico para a produção deste poliálcool, e a sua lenta conversão pode impactar o rendimento final de xilitol.

A produção de xilitol inicia-se após o esgotamento da glicose e ocorre de forma gradual ao longo do processo. Esse comportamento sugere que a produção de xilitol está diretamente associada à presença de xilose no meio, sendo convertida em xilitol pela ação enzimática específica. A produção de xilitol a partir de xilose em condições em que há baixo consumo de glicose é favorável em processos industriais, uma vez que minimiza a produção de subprodutos indesejáveis, sendo necessário purificar o meio para que a xilose esteja em maior disponibilidade para a *K.Marxianus* ATCC 36907, como a inserção de outro microrganismo como a levedura comercial, que apresenta preferência pelo consumo de glicose (Neta, *et al.* 2024). Esse comportamento pode estar relacionado com vias metabólicas específicas que convertem xilose em xilitol sob condições de baixa atividade de oxigênio, onde a xilose redutase pode agir de forma eficiente.

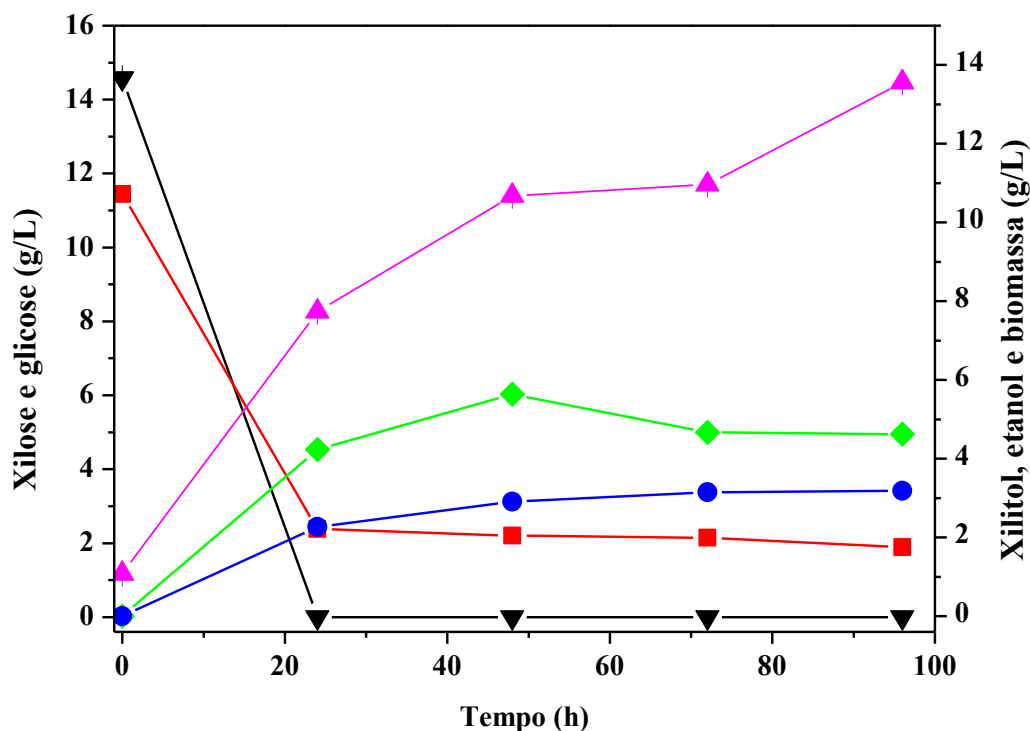
A produção de etanol é observada principalmente nas fases iniciais da fermentação, coincidindo com o período de consumo de glicose. Isso indica que a produção de etanol está diretamente ligada ao metabolismo inicial da glicose, ocorrendo de forma predominante enquanto o monossacarídeo é utilizado. A estabilização da concentração de etanol após o consumo de glicose sugere que a fermentação alcoólica é limitada à presença desse substrato específico, com a produção cessando após o seu esgotamento, o trabalho de Neta, *et al.* (2024) avalia a possível inibição da produção de

xilitol em meios com glicose e sem glicose, reportando valores de produção de 1,01 g/L no meio com glicose e 5,52 g/L no meio sem glicose, evidenciando o efeito adverso que a glicose pode ter na produção de xilitol.

A concentração celular, representada pelo aumento de biomassa, continua a crescer ao longo de todo o processo, atingindo um platô nos tempos finais da fermentação. O aumento da biomassa, mesmo após o consumo de glicose, indica que o microrganismo consegue manter seu crescimento, embora em menor taxa, possivelmente utilizando a xilose como fonte de carbono residual. Esse crescimento sustentado sugere que *K. marxianus* ATCC 36907 apresenta potencial para uso em processos de produção prolongada, onde a adaptação ao substrato de xilose permite que a célula continue a se proliferar, mantendo sua viabilidade durante o processo, porém, a fim de aumentar a eficácia do consumo de xilose, é interessante empregar outros métodos para purificar ainda mais o meio, como o tratamento com *Saccharomyces Cerevisiae* para consumir completamente a glicose (Romero García, *et al.* 2022) e a adsorção de interferentes com o carvão ativado, que é capaz de reduzir do hidrolisado concentrações de glicose para 4,27%, de ácido acético para 40,78%, além de eliminar completamente ácido fórmico (Neta, *et al.* 2024).

Os resultados obtidos demonstram que *Kluyveromyces marxianus* ATCC 36907 possui potencial para a produção de xilitol a partir da xilose presente no hidrolisado da casca de coco-verde. O consumo inicial de glicose proporciona condições ideais para o crescimento celular e permite que o microrganismo entre em uma fase de produção de xilitol após o esgotamento deste substrato. A baixa taxa de consumo de xilose e a produção de etanol restrita ao início do processo são características desejáveis em processos industriais de produção de xilitol, pois favorecem o rendimento do produto principal e minimizam subprodutos indesejáveis.

Figura 11 - Cinética de produção de xilitol por *Kluyveromyces marxianus* ATCC 36907 a 30 °C e 200 rpm, durante 120h: (▼) Glicose, (■) xilose, (●) xilitol, (◆) etanol e (▲) concentração celular.



A Figura 12 apresenta também o rendimento (g de xilitol/g de xilose) e a produtividade de xilitol (g/L/h) ao longo do tempo. Observa-se que o rendimento de xilitol aumenta progressivamente com o passar das horas de fermentação. Inicialmente, o rendimento é nulo (0,00 g/g) na marca de 0 horas, pois o xilitol ainda não foi produzido. Com o decorrer do processo, o rendimento alcança 0,95 g/g em 24 horas, indicando um aproveitamento mais eficiente da xilose para a produção de xilitol. Esse valor continua a crescer até atingir 1,68 g/g em 96 horas, esse aumento constante de rendimento sugere que, à medida que a xilose é consumida e as condições do meio se estabilizam, o microrganismo se torna mais eficiente na conversão de xilose em xilitol, possivelmente devido à adaptação metabólica da célula ao substrato disponível, Albuquerque (2014) usando a *Kluyveromyces marxianus* CCA 510 para fermentar hidrolisado de bagaço de caju alcançou 0,363 g/g de rendimento, 0,070 g/L.h e 6,76 g/L de produção de xilitol durante 120 horas, apresentando semelhanças com o rendimento desse trabalho, favorecendo a possibilidade de se empregar casca de coco para produzir xilitol.

A concentração de xilitol produzido nesse trabalho foi de 3,68 g/L em 96 horas, outros trabalhos que usam resíduos diferentes reportaram valores semelhantes, Junior

(2019) em sua dissertação, encontra valores de produção de xilitol de 4,53 g/L após 96 horas, porém sem haver o consumo total de nenhum dos açúcares, restando aproximadamente 21,12% de glicose e 9,34% de xilose, mencionando que esse resultado provavelmente se deu pela preferência da levedura em consumir nas horas iniciais preferencialmente glicose, nesse trabalho, a glicose e a produção de etanol decorrente do seu consumo demonstrou ter possivelmente reduzido o consumo de xilose e a produção de xilitol, sendo necessário empregar métodos como o tratamento com levedura comercial (*S. cerevisiae*) para reduzir a concentração de glicose no meio, Neta, et al (2024) encontrou uma boa produção de xilitol (14,97 g/L) adotando a estratégia de purificar o hidrolisado com concentração de 40 g/L de xilose, apesar da inibição do crescimento microbiano causado, que ela atribui ao excesso de substrato e a estresse osmótico.

A produtividade de xilitol também é um parâmetro importante para avaliar a eficiência do processo fermentativo. No início, em 24 horas, a produtividade de xilitol é de 0,09 g/L/h, indicando um bom ritmo inicial de produção. Contudo, com o avanço do tempo, a produtividade começa a diminuir gradualmente, chegando a 0,03 g/L/h em 96 horas. Essa redução na taxa de produtividade é comum em processos fermentativos de longo prazo, pois fatores como a diminuição de substrato disponível, o acúmulo de produtos e eventuais limitações no crescimento celular podem impactar negativamente a taxa de produção.

Esses resultados indicam que, embora o rendimento continue a crescer, a produtividade de xilitol tende a diminuir ao longo do processo. Esse comportamento é característico de processos em que o consumo de substrato não é linear e pode sofrer variações em função das condições do meio e do metabolismo celular. Para um processo industrial, é desejável equilibrar rendimento e produtividade, e esses dados sugerem que um tempo de fermentação intermediário, como 48 a 72 horas, pode ser ideal para maximizar tanto o rendimento quanto a produtividade de xilitol antes que a eficiência do processo comece a declinar significativamente.

Figura 12 - Cinética de produção de xilitol e análise de rendimento e produtividade em função do tempo.

<b>Tempo (h)</b>	<b>Biomassa (g/L)</b>	<b>Xilose (g/L)</b>	<b>Glicose (g/L)</b>	<b>Xilitol (g/L)</b>	<b>Etanol (g/L)</b>	<b>Rendimento (g de xilitol/g de xilose)</b>	<b>Produtividade de xilitol (g/L/h)</b>
0	1,07 ± 0,04	11,45 ± 0,06	14,58 ± 0,12	0,00 ± 0,00	4,23 ± 0,08	0,00	-
24	7,73 ± 0,04	2,39 ± 0,11	0,00 ± 0,00	2,27 ± 0,14	4,23 ± 0,09	0,95	0,09
48	10,67 ± 0,01	2,21 ± 0,06	0,00 ± 0,00	2,91 ± 0,19	5,63 ± 0,03	1,32	0,06
72	10,96 ± 0,01	2,15 ± 0,04	0,00 ± 0,00	3,15 ± 0,01	4,66 ± 0,06	1,47	0,04
96	13,56 ± 0,04	1,89 ± 0,04	0,00 ± 0,00	3,18 ± 0,02	4,62 ± 0,04	1,68	0,03

## CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou o potencial biotecnológico da casca de coco-verde como matéria-prima para a produção de xilitol, um poliálcool de alto valor agregado utilizado nas indústrias alimentícia e farmacêutica. A análise e os experimentos realizados evidenciam que, mediante um pré-tratamento ácido otimizado e o uso de *Kluyveromyces marxianus* ATCC 36907, é possível converter a xilose da casca em xilitol com rendimentos elevados. Os resultados obtidos indicam que a casca de coco-verde, além de ser uma fonte abundante e acessível, pode ser transformada em um produto de alto valor comercial, contribuindo para uma economia mais sustentável e com menor impacto ambiental.

No entanto, observou-se uma queda na produtividade ao longo do tempo de fermentação, o que sugere que processos de otimização adicionais são necessários para alcançar o equilíbrio ideal entre rendimento e produtividade. Para aplicação em escala industrial, sugere-se um tempo de fermentação entre 48 e 72 horas, otimizando o processo e maximizando a eficiência.

Conclui-se que a valorização de resíduos agroindustriais como a casca de coco-verde, por meio da biotecnologia, representa uma alternativa viável e promissora para a produção de xilitol. Além disso, o reaproveitamento deste resíduo contribui significativamente para a redução do impacto ambiental associado ao descarte inadequado, promovendo o desenvolvimento sustentável e a inovação no setor industrial brasileiro. Estudos futuros poderão explorar outras condições de fermentação e possíveis melhorias no pré-tratamento, ampliando as possibilidades de aproveitamento da casca de coco-verde e expandindo seu papel como recurso estratégico para biorrefinarias.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Fernando Antônio Pinto. In: SOBRAL, L. F. (Ed.). **Coco: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Processamento do coco-verde e do coco-seco. p. 177-186. E-book. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1117851>. Acesso em: 4 mar. 2024.

ADIGUZEL, G.; FAIZ, O.; SISECIOGLU, M; SARIC, B.; BALTACIC, O.; AKBULUTC, A.; GENCD, B.; ADIGUZELC, A. A novel endo- $\beta$ -1,4-xylanase from *Pediococcus acidilactici* GC25; purification, characterization and application in clarification of fruit juices. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 129, p. 571578, May 2019. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.02.054.

AKHAVAN SEPAHY, Abbas; GHAZI, Shokoofeh; AKHAVAN SEPAHY, Maryam. Cost-effective production and optimization of alkaline xylanase by indigenous *Bacillus mojavensis* AG137 fermented on agricultural waste. **Enzyme research**, [s. l.], v. 2011, p. 593624, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4061/2011/593624>.

ALAKANGAS, E. (2005) **Bionergy in Finland**. In: EUBIONET. International Training Programme: wood fuel production for small scale and district heating plants. Joensuu.

ALBUQUERQUE, Tiago Lima. **Produção biotecnológica de xilitol a partir de hidrolisado de bagaço de caju**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

ALBULAIHED, Yazeed *et al.* Optimization of Laccase from *Stenotrophomonas Maltophilia* E1 by Submerge Fermentation Using Coconut Husk with Its Detoxification and Biodecolorization Ability of Synthetic Dyes. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 10, n. 1, p. 80, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/s40643-023-00703-x>.

ALEBIOSU, F. A. *et al.* Production of Xylanases from Fungal Isolates by Solid State Fermentation using Sugar Cane Bagasse. **International Journal of Current Microbiology**, [s. l.], v. 4, n.12, p. 323–331, 2015.

ALOKIKA; SINGH, Bijender. Production, characteristics, and biotechnological applications of microbial xylanases. **Applied microbiology and biotechnology**, [s. l.], v. 103, n. 21–22, p. 8763–8784, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-019-10108-6>.

ANDRADE, Alexandro Pereira; *et al.* Estabelecimento inicial de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão em diferentes substratos. **Revista Arvore**, v. 37, n. 4, p. 737–745, 1 ago. 2013.

BASTOS, Reinaldo Gaspar. **Tecnologia das fermentações: fundamentos de bioprocessos**. São Paulo: EdUFSCar, 2015. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5652827/mod\\_resource/content/1/TS\\_Reinaldo\\_TecnologiaFermentacoes.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5652827/mod_resource/content/1/TS_Reinaldo_TecnologiaFermentacoes.pdf). Acesso em: 11 mar. 2024.

BAPTISTA, Marlene; DOMINGUES, Lucília. Kluyveromyces Marxianus as a Microbial Cell Factory for Lignocellulosic Biomass Valorisation. **Biotechnology Advances**, v. 60, n. 108027, p. 108027, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.108027>.

BUTT, M. S.; TAHIR-NADEEM, M.; AHMAD, Z. Xylanases and their applications in baking industry. **Food Technol, Biotechnol.** v. 46, p. 22–31. 2007. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/file/34864> Acesso em: 01 fev. 2025

BENASSI, Antonio Carlos; FANTON, César José; SANTANA, Enilton Nascimento. **O cultivo do coqueiro-anão-verde**. DCM/Incapar, 2013. E-book. Disponível em: <https://biblioteca.incapar.es.gov.br/digital/bitstream/item/2711/1/BRT-cultivodocoqueiroanao-benassi.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2024.

BRAGA, M. *et al.* O potencial da lignina no contexto brasileiro: um diagnóstico de especialistas brasileiros sobre tecnologias e tendências para 2030. **O PAPEL**, v. 84, p. 87–97, jul. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1155859/o-potencial-da-lignina-no-contexto-brasileiro-um-diagnostico-de-especialistas-brasileiros-sobre-tecnologias-e-tendencias-para-2030>. Acesso em: 2 abr. 2024.

BRAINIER, Maria Simone de Castro Pereira. Coco: Produção e mercado. **Caderno Setorial ETENE - BNB**, ano 6, nº206, Dezembro, 2021. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1043>

BHAT, M. K.; BHAT, S. Cellulose degrading enzymes and their potential industrial applications. **Biotechnology advances**, [s. l.], v. 15, n. 3–4, p. 583–620, 1997. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0734-9750\(97\)00006-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0734-9750(97)00006-2).

CABRAL, Mirelle Márcio Santos *et al.* Bioethanol production from coconut husk fiber. **Ciencia rural**, [s. l.], v. 46, n. 10, p. 1872–1877, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20151331>.

CABRAL, Mirelle Márcio Santos *et al.* Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. **Engevista**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 99, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22409/engevista.v19i1.802>.

CABRAL, M. M. S. **Aproveitamento da casca do coco verde para a produção de Etanol de segunda geração**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, 2015. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1201/1/Aproveitamento%20da%20casca%20do%20coco%20verde%20para%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20etanol%20de%20segunda%20gera%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.

CAETANO, Luciane *et al.* Compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras. *In:* , 2004, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: [s. n.], II Seminário de Patologia das Edificações 2004.

CANETTIERI, Eliana Vieira; SILVA, João Batista de Almeida e.; FELIPE, Maria das Graças de Almeida. Obtenção biotecnológica de xilitol a partir de cavacos de eucalipto. **Revista brasileira de ciencia do solo**, v. 38, n. 3, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-93322002000300008>.

CARRIJO, Osmar. Alves.; LIZ, Ronaldo Setti de; MAKISHIMA, Nozomu. **Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola**. Horticultura brasileira, v. 20, n. 4, p. 533–535, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/PQsvvcv3dgWRHGT9qsFML/?lang=pt>. Acesso em: 13 mar. 2024.

CHAKDAR, Hillol *et al.* Bacterial xylanases: biology to biotechnology. **3 biotech**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 150, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13205-016-0457-z>.

COLLARES, Daniela Garcia; PAULA, Stephane. Aplicações para valorização da lignina. **Agroenergia em Revista**, v. 4, n.9, p. 62–72, dez. 2015.

COLORETTI, Fabio *et al.* Detection and identification of yeasts in natural whey starter for Parmigiano Reggiano cheese-making. **International dairy journal**, v. 66, p. 13–17, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.10.013>.

CORTEZ, Luis A. B. *et al.* Processamento de casca e fibra de coco verde por carbonização para agregação de valor. **BioEng**, Campinas, v. 3, p. 21–30, abr. 2009.

CUNHA, Paulo Waldemiro Soares. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil**. 2012. - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

DAUGSCH, Andreas; PASTORE, Gláucia. Obtenção de vanilina: Oportunidade biotecnológica. **Química Nova**, [s. l.], v. 28, n.4, n. 08/03/2004, p. 642–645, 2005.

DAUGSCH, A.; PASTORE, G. **Obtenção de vanilina: oportunidade biotecnológica**. Química nova, v. 28, n. 4, p. 642–645, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/9Z8ZTr8Ckm8JTB8twgpggw/>. Acesso em: 13 mar. 2024.

D'ALMEIDA, Alan Portal; DE ALBUQUERQUE, Tiago Lima. Coconut Husk Valorization: Innovations in Bioproducts and Environmental Sustainability. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-024-06080-5>. Acesso em: 28 fev.2025

DE FREITAS ROSA, Morsyleide *et al.* **Apoio do BNB à pesquisa e desenvolvimento da fruticultura regional**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2009. v. 1. Acesso em: 16 Jan.2025

DE FREITAS ROSA, Morsyleide *et al.* **Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde**. Rua Dra. Sara Mesquita, 2270, Pici: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001.

DE MELO, Dayane Wendy Duarte. **Perdição das velocidades específicas da produção de xilitol a partir do bagaço de caju por *Kluyveromyces Marxianus CCa 510*, utilizando redes neurais artificiais**. 2023. - TCC (Graduação em Engenharia química) - Departamento de Engenharia química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

DE MOURA, Sarah Conessa *et al.* **Xilanases microbianas e suas aplicações industriais**. 1. ed. Parque Estação Biológica (PqEB), Av. W/3 Norte (final), s/n, Ed. Sede, Subsolo, CEP 70770-901, Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134008/1/Xilanases-microbianas-e-suas-aplicac807o771es-industriais-2021.pdf>.

DE SOUZA MIRANDA PACHECO, Verônica. **Isolamento e seleção de fungos filamentosos produtores de celulases a partir de resíduos agroindustriais**. 2016. Dissertação (Mestrado em farmácia) - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/52065>.

DE SOUZA, Nádia Maria *et al.* Eficiência da hidrólise ácida e explosão a vapor na liberação de pentoses e hexoses de resíduos agroindustriais. **Revista Contemporânea**, [s. l.], v. 3, n. 8, p. 12078–12095, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.56083/rcv3n8-117>.

DE OLIVEIRA, Simone Lopes do Rêgo. **Aproveitamento da casca do coco verde (*Cocos nucifera L.*) para produção de celulases**. 2010. - Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

DIAZ, Ana Belen; BLANDINO, Ana; CARO, Ildefonso. Value added products from fermentation of sugars derived from agro-food residues. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 71, p. 52–64, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.016>.

DIEDRICH, Cintia; *et al.* **Celulase, produção e substratos para a indústria alimentícia - revisão bibliográfica**. Revisão - Curso de Medicina Veterinária na Universidade de Cruz Alta, Rio Grande do Sul. 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/295259645\\_Celulase\\_producao\\_e\\_substratos\\_para\\_a\\_industria\\_alimenticia\\_-\\_Revisao\\_bibliografica](https://www.researchgate.net/publication/295259645_Celulase_producao_e_substratos_para_a_industria_alimenticia_-_Revisao_bibliografica). Acesso em: 13 mar. 2024.

DO NASCIMENTO; Silva Alencar, V. *et al.* Resíduos agroindustriais: uma alternativa promissora e sustentável na produção de enzimas por microrganismos. **Ciência, Tecnologia e Inovação: do campo à mesa. Anais... Instituto Internacional Despertando Vocações**, 2020. Disponível em: <https://ciagro.institutoidv.org/ciagro/uploads/1753.pdf>.

DOS SANTOS, Valdilene Canazart. **Engenharia Evolutiva da levedura *Kluyveromyces marxianus* UFV-3 para fermentação de xilose**. 2011. - Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2011.

FRANCESCHIN, Giada *et al.* Conversion of rye straw into fuel and xylitol: a technical and economical assessment based on experimental data. **Chemical engineering research & design: transactions of the Institution of Chemical Engineers**, [s. l.], v. 89, n. 6, p. 631–640, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2010.11.001>.

GONÇALVES, J.E.; SARTORI, M.M. P.; LEÃO, A.L. (2009) Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 657-661.

HYVÖNEN, Lea; KOIVISTOINEN, Pekka; VOIROL, Felix. Food technological evaluation of xylitol. *In: ADVANCES IN FOOD RESEARCH*. [S. l.]: Elsevier, 1982. p. 373–403.

INFANTE-NETA, Aida Aguilera *et al.* Xylitol Production from Passion Fruit Peel Hydrolysate: Optimization of Hydrolysis and Fermentation Processes. **Bioresource Technology**, v. 414, n. 131628, p. 131628, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131628>. Acesso em: 25 fev.2025

IRFAN, Muhammad; NADEEM, Muhammad; SYED, Quratulain. One-factor-at-a-time (OFAT) optimization of xylanase production from *Trichoderma viride*-IR05 in solid-state fermentation. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 317–326, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrras.2014.04.004>.

IRFAN, Muhammad *et al.* Optimization of process parameters for xylanase production by *Bacillus* sp. in submerged fermentation. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 139–147, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrras.2015.10.008>.

JUNIOR, José Edvan Marques. **Desenvolvimento do processo de purificação do xilitol produzido pela rota biotecnológica com o hidrolisado hemicelulósico do bagaço de caju**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

JOHN, V. M. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5, Anais..., São Paulo, 2003.

JEFFRIES, T. W. Utilization of Xylose by Bacteria, Yeasts, and Fungi. **Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology**, v. 27, p. 1–32, 1983. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/bfb0009101>

KAUR, Harpreet *et al.* Bio-conversion of lignin extracted from sugarcane bagasse and coconut husk to vanillin by *Bacillus* sp. **International journal of current research and review**, v. 13, n. 07, p. 118–123, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31782/ijcrr.2021.13716>.

KOUTINAS, Apostolis A. *et al.* Valorization of Industrial Waste and By-Product Streams via Fermentation for the Production of Chemicals and Biopolymers. **Chemical Society Reviews**, v. 43, n. 8, p. 2587–2627, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/c3cs60293a>.

LEAL, Karla. **10 benefícios da água de coco e como consumir (com receitas)**. Disponível em: <https://www.tuasaude.com/beneficios-da-agua-de-coco/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LORENZI, Bruno Rossi; DE ANDRADE, Thales Haddad Novaes. O etanol de segunda geração no Brasil: Políticas e redes sociotécnicas. **Revista brasileira de ciências sociais**, v. 34 n°100, p. 1–19, 3 nov. 2019.

MATTOS, Adriano Lincoln Albuquerque; ROSA, Morsyleide de Freitas. **Processamento de casca de coco-verde para a produção de substrato agrícola**. 1. ed. Embrapa Agroindústria Tropical, 2023. E-book. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1157644/1/CT-279.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023.

MARAFON, Anderson Carlos *et al.* **Aproveitamento de casca de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios**. Av. Beira Mar, 3250, Aracaju, SE CEP 49025-040: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019.

MARTÍNEZ, María et al. A Simplified Techno-Economic Analysis for Sophorolipid Production in a Solid-State Fermentation Process. **Energies**, v. 15, n. 11, p. 4077, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/en15114077>. Acesso em: 26 fev.2025

MANZ, U., VANNINEN, E., VOIROL, F. Xylitol - it's properties and use as a sugar substitute in foods. In: **f. r. a. symposium on sugar and sugar replacements**, 10., London, 1973.

MIOLA, Brígida *et al.* Aproveitamento energético dos resíduos de cascas de coco verde para produção de briquetes. **Engenharia sanitária e ambiental**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 627–634, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-4152202020180029>.

MUSSATTO, Solange Inês; ROBERTO, Inês Conceição. Xilitol: Edulcorante com efeitos benéficos para a saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, [s. l.], v. 38, n.4, p. 402–413, 2002.

MOURO, Adriane. **Fermentação de Xilose e Celobiose por leveduras isoladas da biodiversidade brasileira**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/100622/313694.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

NASCIMENTO, Murillo Alessandro et al. Produção de etanol de segunda geração a partir da celulose contida no coco verde. **Processando o Saber**, v. 15, n. Jan/2023, p. 32–46, Jun/2023. Disponível em: <https://www.fatecpg.edu.br/revista/index.php/ps/article/view/279>.

NAIDU, Yuvarani; SIDDIQUI, Yasmeen; IDRIS, Abu Seman. Comprehensive studies on optimization of ligno-hemicellulolytic enzymes by indigenous white rot hymenomycetes under solid-state cultivation using agro-industrial wastes. **Journal of environmental management**, [s. l.], v. 259, n. 110056, p. 110056, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110056>.

OLIVEIRA, Sérgio Dantas *et al.* Utilization of Agroindustrial Residues for Producing Cellulases by *Aspergillus Fumigatus* on Semi-Solid Fermentation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 1, p. 937–944, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.038>.

OLIVEIRA, Monique B. *et al.* Uso do Biochar produzido a partir da fibra de coco para remoção de íons Pb<sup>2+</sup> em meio aquoso. **Processos Químicos**, [s. l.], p. 109–119, 2024.

ORZUAA, María C. et al. Exploitation of agro industrial wastes as immobilization carrier for solid-state fermentation. **Industrial Crops and Products**, v. 30, p. 24–27, 4 fev. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.02.001> Acesso em: 16 jan.2025

ORLANDELLI, Ravelly Casarotti *et al.* Enzimas de interesse industrial: Produção por fungos e aplicações. **SaBios: Rev. Saúde e Biol**, [s. l.], v. 7, n.3, n. 12/2012, p. 97–109, 2012.

PAL, Ajay.; KHANUM, Farhath. Efficacy of xylanase purified from *Aspergillus niger* DFR5 alone and in combination with pectinase and cellulose to improve yield and clarity of pineapple juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 5, p. 560568, 2011b. DOI: 10.1007/s13197-010-0175-1.

PAL, Ajay; KHANUM, Farhath. Purification of xylanase from *Aspergillus niger* DFR-5: Individual and interactive effect of temperature and pH on its stability. **Process biochemistry (Barking, London, England)**, [s. l.], v. 46, n. 4, p. 879–887, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2010.12.009>.

PANDEY, A. *et al.* The realm of microbial lipases in biotechnology. **Biotechnology and applied biochemistry**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 119–131, 1999. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1470-8744.1999.tb00541.x>.

PEREIRA, Agnes *et al.* Revisão de Literatura: Utilização do Xilitol para a prevenção de Otite Média Aguda. **Arq. Int. Otorrinolaringol**, [s. l.], v. 13, n.1, n. 15/11/2008, p. 87–92, 2009.

ROCHA, Maria Valderes Ponte *et al.* Evaluation of dilute acid pretreatment on cashew apple bagasse for ethanol and xylitol production. **Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)**, v. 243, p. 234–243, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2013.12.099>.

ROUWENHORST, R. J. *et al.* Production, Distribution, and Kinetic Properties of Inulinase in Continuous Cultures of *Kluyveromyces Marxianus* CBS 6556. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 54, n. 5, p. 1131–1137, 1988. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.54.5.1131-1137.1988>.

ROSMINE, Emilda *et al.* Utilisation of agrowaste Xylan for the production of industrially important enzyme xylanase from aquatic *Streptomyces* sp. And potential role of xylanase in deinking of newsprint. **International journal of current microbiology and applied sciences**, [s. l.], v. 8, n. 01, p. 2061–2076, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.216>.

SADH, Pardeep Kumar; DUHAN, Surekha; DUHAN, Joginder Singh. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. **Bioresources and bioprocessing**, [s. l.], v. 5, n. 1, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>.

SLININGER, P. J., BOLEN, P. L., KURTZMAN, C. P. *Pachysolen tannophilus*: Properties and process consideration for ethanol production from D-xylose. **Enzyme Microb. Technol., Hayward Health**, v.9, p.5-15, 1987.

SUBRAMANIYAN, S.; PREMA, P. Biotechnology of microbial xylanases: enzymology, molecular biology, and application. **Critical reviews in biotechnology**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 33–64, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/07388550290789450>.

SILVA, A.S.R; *et al.* Avaliação do desempenho de argamassa de revestimento com uso de fibra de polipropileno na cidade de Salvador/BA. **In: Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, V.São Paulo: Anais**, p.469-479, 2003

SILVA, Everton Jose da *et al.* Compósito cimentício com elevado teor de fibra de coco tratada: propriedades físicas e durabilidade. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [s. l.], v. 23, n. 3, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0499>.

VICENTE, Mariana dos Santos; VICENTE, Matheus; ANTÔNIO VICENTE, Marco; MADALENO, Leonardo Lucas. Resíduos agroindustriais utilizados para fabricação de etanol

de segunda geração. **Ciência & Tecnologia**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. e16116, 2024. DOI: 10.52138/citec.v16i1.394. Disponível em: <https://publicacoes.fatecjaboticabal.edu.br/citec/article/view/394>. Acesso em: 19 Jan. 2025.

WALIA, Abhishek; MEHTA, Preeti; GULERIA, Shiwani; SHIRKOT, Chand Karan. Modification in the properties of paper by using cellulase-free xylanase produced from alkalophilic *Cellulosimicrobium cellulans* CKMX1 in biobleaching of wheat straw pulp. **Can J Microbiol** 61(9):671–681. 2015 <https://doi.org/10.1139/cjm-2015-0178>

WALIA, Abhishek; GULERIA, Shiwani; MEHTA, Preeti; CHAUHAN; Anjali, PARKASH, Jyoti. Microbial xylanases and their industrial application in pulp and paper biobleaching: a review. **3 Biotech** 7(1):11. J 2017 <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0584-6>

ZANCHETTA, Ariane. **Celulases e suas aplicações**. [S. l.: s. n.]. [200-]. Disponível em: <http://www1.rc.unesp.br/ib/ceis/mundoleveduras/2013/Celulases.pdf> Acesso em: 12 Mar.2024