

doi <http://dx.doi.org/10.18265/2447-9187a2022id7678>
ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 18/04/2023




APROVADO 14/06/2023

PUBLICADO ON-LINE 30/06/2023

PUBLICADO 15/01/2025

EDITORA ASSOCIADA
Gardênia Marinho Cordeiro

Caracterização química do bagaço de laranja: potencial rota para uso desse resíduo

 Ariane Tiemi Mitsuhara ^[1]
 Jheyce Cristina Moraes ^[2]
 Carlos Eduardo Crestani ^[3] *

[1] a.mitsuhara@gmail.com
[2] jheycecristina@hotmail.com
[3] cecrestani@ifsp.edu.br

Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de
São Paulo (IFSP), Matão,
São Paulo, Brasil

* Autor para correspondência.

RESUMO: Este trabalho relata uma caracterização completa de bagaço de laranja. O processamento da laranja para extração do suco gera o bagaço como resíduo agroindustrial, representando cerca de 50% do volume total do fruto, composto por casca, semente e polpa. Atualmente, seu uso consiste em aplicações de baixo valor agregado, como queima e adição à ração animal. O setor de energia renovável tem crescido em volume e importância nos últimos anos, por isso é fundamental que o setor traga valor agregado e melhores usos para o resíduo industrial. O primeiro passo para isso é conhecer a composição desse resíduo, que muitas vezes é queimado em sua totalidade. Neste trabalho, análises químicas foram realizadas utilizando padrões TAPPI e NREL específicos para materiais lignocelulósicos, mostrando que o resíduo de laranja contém, em massa seca, $2,9 \pm 0,2\%$ de cinzas, $12,3 \pm 0,9\%$ de umidade, $37,3 \pm 0,9\%$ de extrativos em água (o melhor solvente testado), $38,5 \pm 2,0\%$ de holocelulose, $33,1 \pm 1,5\%$ de celulose, $5,4 \pm 2,0\%$ de hemicelulose e $2,9 \pm 0,5\%$ de lignina. A composição química permite o aproveitamento do material lignocelulósico e da lignina do bagaço, das proteínas e do óleo essencial das cascas, proporcionando um aproveitamento com maior valor agregado aos resíduos, com benefícios econômicos e ambientais. Para tal benefício, a caracterização completa do material torna-se indispensável.

Palavras-chave: biomassa; laranja; material lignocelulósico; resíduo agroindustrial.

Chemical characterization of orange bagasse: potential pathway for the use of this residue

ABSTRACT: This paper reports a complete characterization of orange waste. The processing of oranges for juice extraction generates bagasse as an agro-industrial residue, representing about 50% of the total volume of the fruit, composed of peel, seeds, and pulp. Currently, its use consists of low added value applications, such as burning and adding to animal feed. The renewable energy sector has grown in volume and importance in recent years, so, it is essential for the sector to bring added value and better uses for industrial waste. The first step towards this is to know the composition of this residue, which is often



burned in its entirety. In this work, chemical analyzes were performed using TAPPI and NREL standards for lignocellulosic materials, showing that orange residue contains, in dry mass basis, $2.9 \pm 0.2\%$ ash, $12.3 \pm 0.9\%$ moisture, $37.3 \pm 0.9\%$ extractives in water (the best solvent tested), $38.5 \pm 2.0\%$ holocellulose, $33.1 \pm 1.5\%$ cellulose, $5.4 \pm 2.0\%$ hemicellulose, and $2.9 \pm 0.5\%$ lignin. The chemical composition allows the utilization of the lignocellulosic material and lignin from the bagasse, the proteins, and the essential oil from the peels, providing a higher value-added use for the residues, with economic and environmental benefits. For such benefit, this complete characterization of the material becomes indispensable.

Keywords: agro-industrial waste; biomass; lignocellulosic material; orange.

1 Introdução

A insegurança alimentar e nutricional aumentou exponencialmente face à pandemia de COVID-19, devido às alterações na cadeia de abastecimento alimentar em escala global. Isso ressalta a necessidade de pesquisas relacionadas a perdas e desperdícios de alimentos por razões sociais, ambientais, políticas e econômicas, visto que esse é um desafio global (Pereira; Firmo; Coutinho, 2022). Grandes quantidades de resíduos sólidos industriais são geradas anualmente através do processamento de matérias-primas. A maior parte desses resíduos é destinada para fins energéticos, acarretando perdas em seu aproveitamento. Assim, têm-se buscado alternativas para aproveitar a biomassa obtida, a fim de se gerarem materiais com alto valor agregado (Cypriano *et al.*, 2017; Silva; Oliveira; Mendes, 2020; Ulloa *et al.*, 2023).

A laranja (*Citrus sinensis*) é uma fruta de clima subtropical e híbrido. O Brasil é seu maior produtor, respondendo por 79% do consumo mundial, segundo o Anuário Brasileiro de Horti & Fruti (Kist; Carvalho; Beling, 2022). Entre os produtos industrializados a partir dessa matéria-prima, estão suco concentrado e congelado, polpas de frutas, balas em calda e massa, frutas cristalizadas, geleias e alimentos fermentados alcoólicos e acéticos (Cypriano *et al.*, 2017). Após a extração do suco, cerca de 50% da fruta corresponde ao resíduo industrial sólido, o bagaço, composto por albedo, sementes e resíduos, representando uma perda significativa de matéria-prima no processo industrial (Soares, 2022). Esse coproduto é um material lignocelulósico rico em vitaminas, fibras, pectina, extrativos, materiais inorgânicos, carboidratos e lignina (Cypriano *et al.*, 2017; Martini, 2009). Se bem aproveitado, desse coproduto podem ser obtidos importantes componentes comerciais, como os óleos essenciais, por exemplo. Assim, além de reduzir os impactos ambientais, esse material pode representar alternativas atraentes como matérias-primas para as indústrias alimentícia, farmacêutica e química de alto valor agregado (Cypriano *et al.*, 2017; Porto *et al.*, 2021). Devido à sua composição química e à grande quantidade de fibras e nutrientes, o bagaço também é destinado à alimentação de ruminantes como suplemento em rações, melhorando a palatabilidade e a conversão alimentar da dieta (Lucas; Schu; Nora, 2021; Soares, 2022), embora essa seja uma aplicação de baixo valor agregado.

O resíduo de laranja pode ser uma alternativa sustentável, energética e viável devido ao valor agregado de alguns tipos de subprodutos, desde que a caracterização completa revele uma composição destacada. Tendo em vista essa condição, surgiram indústrias especializadas no processamento de subprodutos ou resíduos de outras indústrias,

agregando valor a esses materiais por meio de modificações ou processos (Awan, 2013; Lucas; Schu; Nora, 2021; Oberoi *et al.*, 2010), procedimento que exige conhecimento detalhado de todos os componentes desses subprodutos. No caso do bagaço de laranja, a revisão da literatura realizada pelos autores citados acima não encontrou nenhum trabalho com descrição detalhada da mesma amostra de bagaço de laranja. Os artigos publicados, com objetivos diversificados, sempre focam em um ou outro componente, sem realizar uma caracterização completa do insumo. Com base nessa limitação, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma caracterização química completa de resíduos de laranja, apresentando rotas de uso potencial para esse resíduo.

No decurso deste artigo, a seção 2 descreve o referencial teórico; os métodos utilizados são apresentados na seção 3. Os resultados e uma discussão em relação às informações da literatura são apresentados na seção 4 e, por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2 Referencial teórico

O reaproveitamento de resíduos tem sido tema de projetos de pesquisa e inovação nos mais diversos setores. Em particular, no setor alimentício, pois seus resíduos, historicamente subaproveitados, têm sido objeto de estudo em aplicações que incluem, principalmente, geração de energia e de novos produtos, muitos deles com alto valor agregado. Daí a importância de se conhecerem suas características físico-químicas detalhadamente.

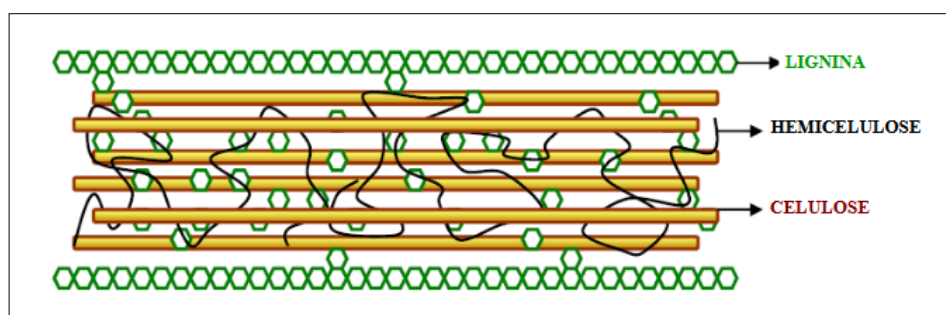
2.1 Materiais lignocelulósicos

Os materiais lignocelulósicos são resíduos orgânicos de biomassas gerados nas atividades agrícolas e industriais, provenientes de bagaços, cascas e restos de plantas, sendo fontes energéticas limpas, verdes, abundantes, baratas e renováveis. Esses materiais representam cerca de 60% da biomassa vegetal, apresentando um complexo altamente estável e resistente de estrutura vegetal cristalina (Rodrigues *et al.*, 2017). As principais biomassas geradas na colheita e no processamento de matérias-primas são bagaços de cana-de-açúcar, de frutas como laranja e maçã e de hortaliças (Viana; Cruz, 2016), polpa de beterraba, batata e tomate (Zanella, 2013), palma, palhas de cereais e grãos, cascas de frutas e café (Rodrigues *et al.*, 2017) e pó de serragem (Melo *et al.*, 2011).

A biomassa consiste em um composto polimérico de carboidratos presente em vegetais fibrosos, integrado basicamente por celulose, hemicelulose e lignina. Esses polissacarídeos compõem e constroem a estrutura da parede celular das plantas, a qual apresenta resistência graças a ligações químicas covalentes, conforme representado na Figura 1 (Cypriano *et al.*, 2017).

Figura 1 ►

Representação da estrutura de materiais lignocelulósicos.
Fonte: adaptado de Cypriano *et al.* (2017)



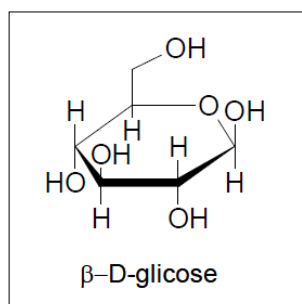
2.1.1 Celulose

A celulose é o polissacarídeo mais abundante na natureza, considerada uma fonte quase imensurável (Gurgel, 2010), sendo o componente predominante na construção estrutural da parede celular dos vegetais fibrosos. As principais fontes de celulose são as plantas coníferas, folhosas e gramíneas, algas marinhas e bactérias. Sua formação consiste na associação única de unidades de β -D-glicose, um monossacarídeo hexose simples de fórmula empírica $C_6H_{12}O_6$, através das ligações glicosídicas em configuração β -1,4, resultando em uma estrutura linear e rígida (Ogeda; Petri, 2010). A celulose é um homopolímero de alto peso molecular, apresentando uma massa molar média de 100.000 a 500.000 g/mol (Martini, 2009). A Figura 2 ilustra a unidade monomérica do polímero de celulose.

Figura 2 ►

Unidade monomérica da celulose.

Fonte: Martini (2009)



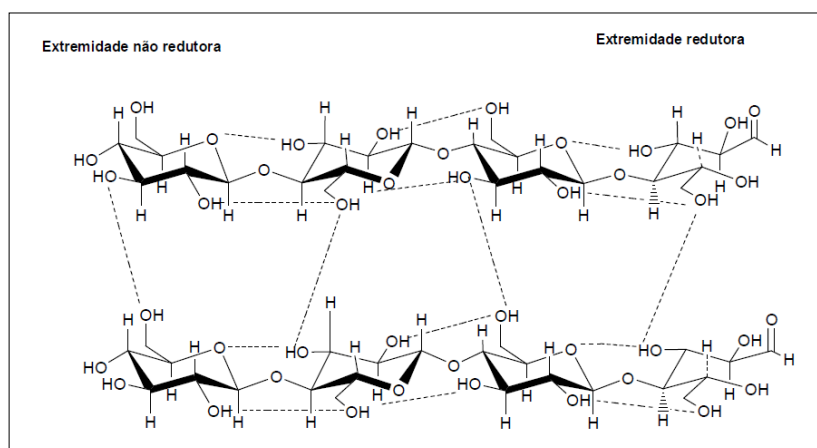
A estrutura da celulose apresenta um alto grau de ordenamento, presente em todos os tipos de fibras, variando somente o grau de polimerização, definido pela quantidade de unidades de repetição exibidas na cadeia do polímero. O grau de polimerização pode variar de 7.000 a 15.000 unidades de repetição, dado que as fibras apresentam formação de cadeia de diferentes tamanhos (Benevides, 2015; Gonçalves, 2009).

Em relação à conformação linear da cadeia de celulose, o alto número de ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares – devido à presença de vários grupos químicos hidroxila ($-OH$) – assume um papel de grande importância, visto que essas ligações são incumbidas de fornecer rigidez, estabilização, alinhamento e organização aos agregados e empacotados das cadeias de celulose para a formação das fibras vegetais. Com tal característica, as fibras são formadas pelas longas cadeias poliméricas unidas entre si por ligações de hidrogênio e pelas interações fortes de Van der Waals, contendo cerca de 36 cadeias sobrepostas de 3 nm a 4 nm de largura, envoltas por hemicelulose e lignina (Gonçalves, 2009; Gurgel, 2010). A Figura 3 exibe a estrutura da celulose.

Figura 3 ►

Representação da estrutura molecular da celulose.

Fonte: Martini (2009)



As cadeias de celulose apresentam regiões cristalinas e regiões amorfas, que se diferenciam pelo grau de ordenamento e orientação do arranjo. As regiões cristalinas, que representam cerca de 85% de toda a estrutura, são sítios de elevada ordem, de alto grau de cristalinidade e também de maior resistência mecânica à tração e tensão e à solvatação, resultando na insolubilidade da celulose em água. As regiões amorfas, que representam os 15% restantes da estrutura, exibem um arranjo desordenado com sítios vazios e desalinhados – parte dessas cadeias não está unida pelas ligações de hidrogênio, resultando em um menor grau de cristalinidade (Cypriano *et al.*, 2017; Gonçalves, 2009).

A celulose apresenta polimorfismo, uma característica que exhibe vários moldes polimórficos, como as celulosas tipos I, II, III e IV. As celulosas tipos I e II são encontradas naturalmente, e as celulosas tipos III e IV são obtidas por meio de tratamentos térmicos e químicos (Gurgel, 2010; Martini, 2009). A celulose também pode ser diferenciada pelo tamanho da molécula e pelo número de unidades de glicose presentes, sendo: i) α -celulose, a celulose não degradada; ii) β -celulose, a celulose degradada; iii) γ -celulose, a hemicelulose (Morais; Rosa; Marconcini, 2010). Com a longa e concreta base tecnológica, a celulose é uma fonte orgânica e biorrenovável, de alto valor comercial agregado, de carboidratos para a alimentação de ruminantes, para a produção de etanol, solventes e compostos orgânicos e para a extração de nanocristais de celulose incorporados no preparo de compósitos e nanocompósitos, atuando como reforço. É uma fonte de grande interesse tecnológico, comumente empregada nas indústrias têxtil, alimentícia, farmacêutica e de manufatura de papéis (Morais; Rosa; Marconcini, 2010).

2.1.2 Hemicelulose

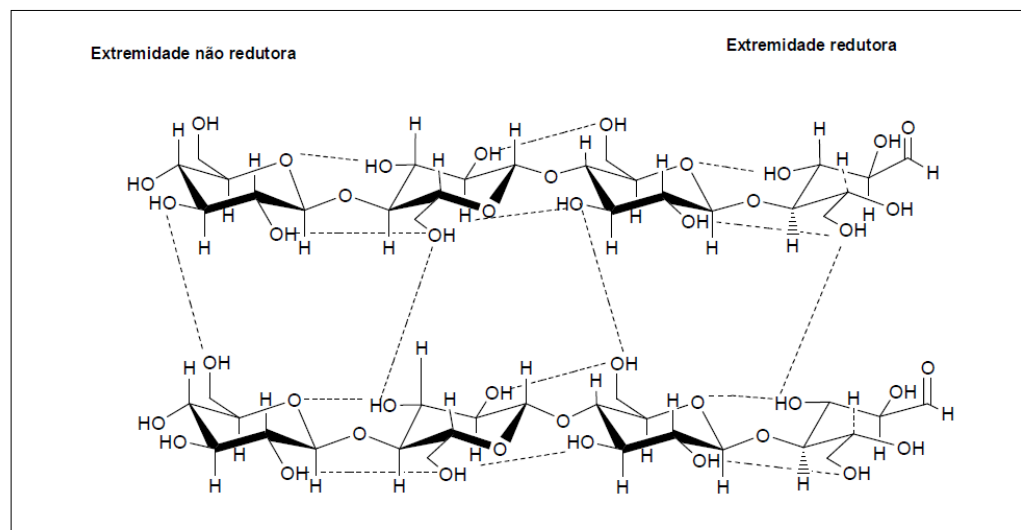
A hemicelulose é um polissacarídeo complexo, de composição heterogênea e estrutura amorfa. Envolve, associa e auxilia a formação de ligações cruzadas entre as fibras de celulose e a lignina, devido à presença de cadeias laterais e de ligações químicas e interações entre elas, o que confere rigidez, flexibilidade e estabilidade à parede celular das plantas (Gonçalves, 2009; Martini, 2009).

É constituída por diferentes unidades e tipos de açúcares de cinco carbonos ($C_5H_8O_4$)_n e de seis carbonos ($C_6H_{10}O_5$)_n, denominados de pentoses e hexoses, respectivamente, em que *n* é definido pelo grau de polimerização da cadeia polimérica. Na composição, podem existir condensados em proporções e unidades variadas, sendo compostos de pelo menos dois tipos de açúcares, como pentoses (D-xilose e L-arabinose) e hexoses (D-glicose, D-manose e D-galactose), e por ácidos urônicos (ácidos de açúcares) como o glucurônico, o galacturônico e o manurônico. A hemicelulose apresenta solubilidade em meios ácido e básico, sendo facilmente hidrolisável em seus monômeros (Gonçalves, 2009). A Figura 4 ilustra alguns dos açúcares que compõem e formam a estrutura molecular da hemicelulose.

Figura 4 ▶

Representação dos principais açúcares que formam a hemicelulose.

Fonte: Martini (2009)



A estrutura multiforme do polissacarídeo pode apresentar regiões lineares e ramificadas com a presença de grupos laterais, concedendo um baixo peso molecular de 25.000 g/mol a 35.000 g/mol, ou seja, exibe um grau de polimerização menor que a celulose, sofrendo variações de acordo com a espécie da planta e o método de isolamento (Gurgel, 2010).

O agrupamento dos polissacarídeos de celulose com a hemicelulose resulta na holocelulose, termo utilizado para denominar os carboidratos totais presentes na parede celular das plantas, dado que a hemicelulose apresenta uma característica primordial: pode ser separada da celulose por meio de extração em meio básico de material delignificado (Morais; Rosa; Marconcini, 2010; Ogeda; Petri, 2010).

A hemicelulose pode ser uma fonte comercial de carboidratos para a produção de xilitol, precursores para a síntese de polímeros e resinas, etanol, ácidos orgânicos espessantes, adesivos, coloides protetores, emulsificantes, lubrificantes, estabilizantes, furfural e derivados. Também pode melhorar bebidas, como cervejas e sucos, e aumentar a digestibilidade na alimentação de animais (Morais; Rosa; Marconcini, 2010).

2.1.3 Lignina

A lignina é o segundo polímero mais abundante na natureza, sendo um dos principais constituintes dos vegetais, após a celulose. Exibe uma estrutura molecular complexa, aromática, extensa e desordenada (Gonçalves, 2009; Morais; Rosa; Marconcini, 2010). É uma macromolécula amorfa, multifuncional, tridimensional, com alta massa molecular e insolubilidade em meio aquoso (Cypriano *et al.*, 2017).

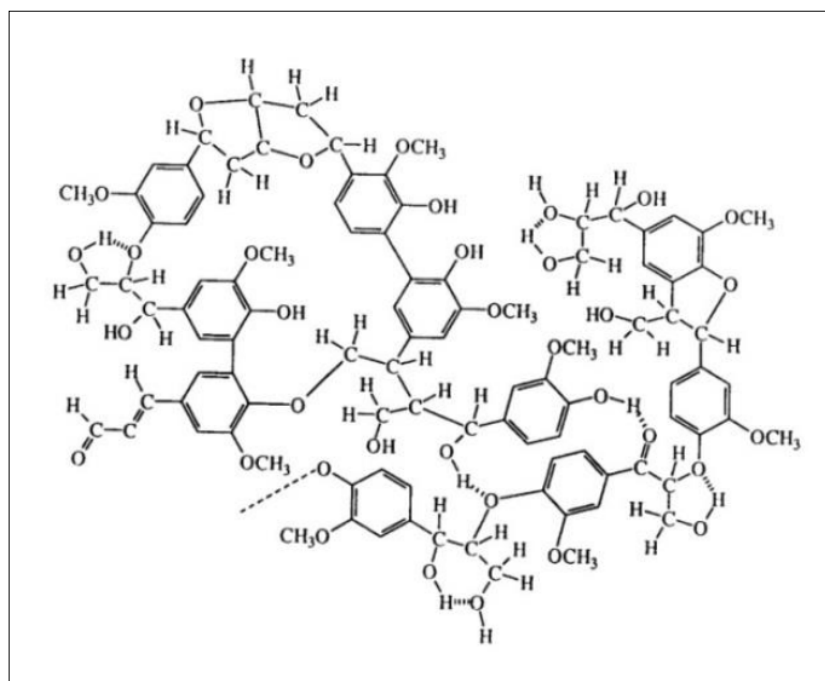
A macromolécula está associada à celulose e à hemicelulose, por meio de ligações covalentes e pela interação física, fornecendo mais rigidez e impermeabilidade à parede celular das plantas. A lignina protege os tecidos vasculares das plantas contra a ação de microrganismos, fornece resistência mecânica e facilita o transporte de água, metabólitos e nutrientes. A sustentação, rigidez e resistência às forças de compressão, impacto e quebra conferidas pela lignina à parede celular das plantas devem-se à sua estrutura tridimensional. Já o transporte de água, nutrientes e metabólitos ocorre pelo retardamento na permeação de água nos tecidos condutores do xilema. Os tecidos lignificados impedem a penetração de enzimas que destroem a parede celular, conferindo resistência ao

ataque por microrganismos, devido à sua natureza hidrofóbica (Cypriano *et al.*, 2017; Ogeda; Petri, 2010).

A lignina é constituída principalmente por unidades monoméricas de fenilpropano, unidas entre si pelo acoplamento randômico (Cypriano *et al.*, 2017), derivadas da polimerização desidrogenativa dos álcoois cumarílico, coniferílico e sinapílico, formando duas ligações de éter para cada ligação de carbono-carbono. A repetição ao longo da cadeia não ocorre de forma regular, apresentando diferentes tipos de ligações químicas dispostas por toda a molécula, exibindo alta complexidade, conforme se vê na Figura 5. A estrutura química da lignina depende da idade e do tipo genético da planta, variando entre as coníferas, as folhosas e as gramíneas (Gonçalves, 2009; Gurgel, 2010).

Figura 5 ►

Representação da estrutura da lignina.
Fonte: adaptado de Martini (2009)



A lignina é obtida como subproduto da indústria de polpas em larga escala e por métodos de isolamento de biomassas, que consistem em eliminar extrativos presentes no material em condições brandas, visando à prevenção de qualquer alteração na natureza química da lignina. De acordo com Moraes, Rosa e Marconcini (2010), existem três tipos de preparação: i) por extração; ii) por isolamento como resíduo; iii) por isolamento como derivados.

A lignina é aplicada principalmente como fonte para a produção de energia térmica por sua queima, embora esse processo ofereça poucas vantagens econômicas (Rodrigues *et al.*, 2017). Além de ser uma fonte de energia, a lignina vem sendo estudada atualmente para, após modificações químicas, ser incorporada aos polímeros (Rabelo, 2010). Pode ser destinada à indústria madeireira – devido à resistência ao calor e à estabilidade química – e à geração de aldeídos aromáticos e produtos fenólicos através da degradação da lignina para a fabricação de produtos químicos como espumas de poliuretano, adesivos – devido à semelhança entre as estruturas químicas de fenol e lignina –, resinas fenólicas, e ainda pode ser convertida em fibras de carbono (Moraes; Rosa; Marconcini, 2010).

2.2 Morfologia da laranja

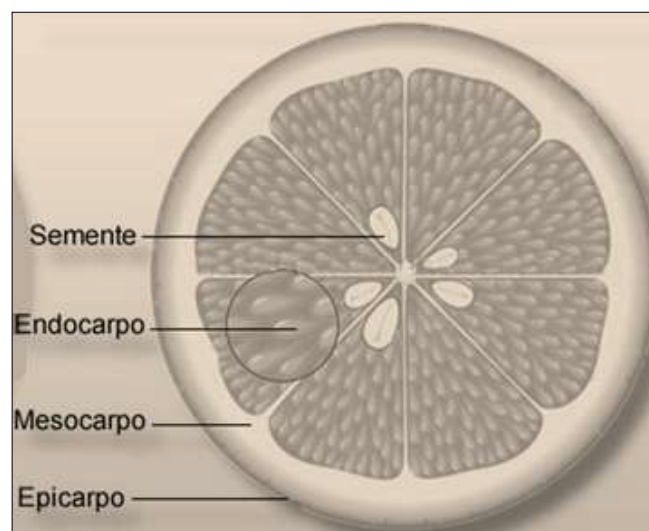
A valiosa composição química da laranja pode auxiliar na prevenção de doenças cardíacas, neurológicas, metabólicas e neoplásicas. Essa composição pode variar de acordo com as condições ambientais e de cultivo e conforme as diferenças morfofisiológicas existentes nos frutos cítricos (Lima, 2010).

O fruto é composto de fragmentos distintos, facilmente separáveis da polpa cítrica, que compõem a sua morfologia. A laranja se compõe das seguintes partes: endocarpo ou polpa, epicarpo ou flavedo e mesocarpo ou albedo. O epicarpo é a parte mais externa (a casca), rico em substâncias químicas como pigmentos carotenoides, responsáveis pela coloração amarelo-alaranjada do fruto maduro, vitaminas e óleos essenciais, como o limoneno, que proporciona o sabor e o aroma característicos. O mesocarpo refere-se à parcela média branca e esponjosa, aderente à casca do fruto, rica em hemicelulose, celulose, lignina, glicídios solúveis, flavononas – responsáveis pelo sabor amargo –, substâncias pécticas – responsáveis pela propriedade espessante no suco – e compostos fenólicos. O endocarpo é a polpa da fruta cítrica, sendo a parte comestível envolta pelo albedo, elemento que forma as vesículas, sementes e gomos do fruto, os quais contêm o suco e o bagaço e estão divididos por membranas. A polpa é composta por celulose, hemicelulose, substâncias pécticas, açúcares, flavonoides, vitaminas, sais minerais, carotenoides e antocianinas (Benevides, 2015; Lima, 2010; Mendonça *et al.*, 2006; Zanella, 2013). A columela corresponde ao centro do fruto, com características físicas e textura semelhantes às do albedo, conectando as membranas (Zanella, 2013). A Figura 6 mostra a estrutura interna da laranja.

Figura 6 ►

Estrutura anatômica do fruto cítrico.

Fonte: Benevides (2015)



Ainda que o suco concentrado da fruta seja o produto principal, outros subprodutos também dispõem de valor comercial expressivo. Os subprodutos gerados são: os óleos essenciais, D-limoneno, líquidos aromáticos, pectina, flavonoides, polpa da laranja congelada e farelo de polpa cítrica (Cypriano *et al.*, 2017; Rezzadori; Benedetti, 2009).

Os óleos essenciais são misturas complexas de substâncias orgânicas voláteis e lipídicas, removidas por métodos de extração como prensagem a frio – a partir do rompimento das bolsas de óleo existentes na casca do fruto –, maceração, ultrassom, extração em Soxhlet e destilação por arraste de vapor. Os solventes mais usados e

eficientes nos processos de extração são hexano, benzeno, álcoois metílico, etílico e propílico, éteres e solventes clorados. Os óleos extraídos são destinados às indústrias alimentícia e farmacêutica (Cypriano *et al.*, 2017; Donadon; Santos, 2018).

Os compostos presentes no extrato denso e resinoso da laranja incluem limoneno, linalol, mircenol, canfeno, entre outros (Donadon; Santos, 2018). O componente de maior valor é o limoneno, uma fonte de terpeno monocíclico, comumente utilizado nas indústrias químicas para a fabricação de adesivos, resinas, borrachas, pigmentos e tintas, e também nas indústrias farmacêutica e alimentícia como componente de sabor e aroma (Cypriano *et al.*, 2017).

O bagaço é composto pelo albedo, sementes e casca. A partir dele, podem-se obter componentes comerciais importantes através de métodos químicos e enzimáticos, como a pectina, vitamina C, óleos essenciais, hesperidina, celulose, ácidos orgânicos, pigmentos, enzimas, compostos antioxidantes e metabólitos secundários biologicamente ativos (Cypriano *et al.*, 2017; Donadon; Santos, 2018; Rezzadori; Benedetti, 2009), sendo alternativas atrativas para o aproveitamento do resíduo gerado, o que minimiza os impactos ambientais. O bagaço é usado como matéria-prima destinada às indústrias para a fabricação de fertilizantes orgânicos, etanol de segunda geração, aromas, fragrâncias e saborizantes (Cypriano *et al.*, 2017).

A biomassa energética pode ser empregada nas indústrias para a geração de energia através da sua combustão em fornos e caldeiras. Visando obter conversões mais eficientes, podem ser realizados os métodos de pirólise e gaseificação, nos quais a biomassa é degradada termicamente em atmosfera estequiométrica de oxigênio (Benevides, 2015).

O bagaço é uma biomassa lignocelulósica rica em carboidratos, como hemicelulose e celulose, a qual pode ser hidrolisada por processos químicos ou enzimáticos, a fim de gerar e disponibilizar substâncias fermentescíveis de açúcares de cinco e seis carbonos, como a glicose, xilose e arabinose, utilizadas para a produção de etanol de segunda geração através de sua conversão pelo processo de fermentação (Awan, 2013; Oberoi *et al.*, 2010).

A casca da laranja apresenta alto teor de flavonoides, carotenoides, terpenoides e outros óleos voláteis, além de minerais como potássio e cálcio, podendo ser utilizada na fabricação de farinhas desenvolvidas em fibras e na extração de óleos essenciais – referindo-se a uma mistura líquida oleosa de distintos aldeídos, de coloração amarelo-alaranjada –, utilizados nas indústrias farmacêutica e alimentícia (Mendonça *et al.*, 2006).

As sementes também podem ser destinadas à extração de óleos essenciais para as indústrias alimentícias e de perfumes. As folhas, raízes e sementes apresentam propriedades farmacológicas (Donadon; Santos, 2018).

A biomassa pode ser triturada, prensada, desidratada e compactada de forma a facilitar o manuseio, transporte e armazenagem (Benevides, 2015). As propriedades e a qualidade microbiológica desse material impedem que seu armazenamento se prolongue além de 60 dias (Donadon; Santos, 2018).

A fibra de bagaço destaca-se por promover saciedade, palatabilidade e diminuição na ingestão de calorias nas dietas humanas e animais, principalmente ruminantes, melhorando a conversão alimentar, fornecendo melhorias na digestibilidade, palatabilidade e na conversão alimentar da dieta (Mendonça *et al.*, 2006; Valença *et al.*, 2016). A fibra do bagaço apresenta boa aceitação de rebanhos bovinos de corte e leite, porém não supre todas as necessidades dos animais, devido à baixa

quantidade de proteínas, que se limita a até 30% da matéria seca na ração de um animal adulto (Martini, 2009).

3 Método da pesquisa

A revisão de literatura apresentada até aqui, no melhor conhecimento destes autores, mostra que a caracterização completa do bagaço de laranja é inédita. Existem análises de algum ou alguns componentes, mas nunca uma avaliação completa. Nesse sentido, a metodologia deste trabalho visou contemplar a caracterização mais completa possível de amostras de bagaço de laranja.

3.1 Preparação de amostras

O bagaço de laranja foi coletado em um estabelecimento comercial em Matão, estado de São Paulo, Brasil, que realizou o beneficiamento das laranjas para extração do suco. O resíduo foi seco em estufa Marconi MA 035 a 50 °C e estocado para a realização de todas as análises. Em seguida, o material foi pesado, as sementes retiradas e o bagaço triturado em moinho de facas Marconi MA 048 para uniformização do material. A caracterização química da matéria seca consistiu na análise dos teores de extrativos em solvente, umidade, cinzas, lignina, holocelulose, celulose e hemicelulose, segundo as normas padronizadas pela TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*) e pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) para materiais lignocelulósicos (Morais; Rosa; Marconcini, 2010).

3.2 Metodologia analítica

Os extrativos em solvente foram estipulados seguindo a norma TAPPI T204 cm-97 (TAPPI, 2007) com adaptações, em aparelho tipo Soxhlet, por extração contínua de 6 horas, utilizando-se álcool etílico, éter etílico e água destilada como solvente. A umidade foi determinada usando-se o procedimento descrito no padrão TAPPI T421 om-22 (TAPPI, 2015) em estufa a 105 °C até peso constante. O teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma NREL/TP 510-42618 (Sluiter *et al.*, 2012), utilizando-se um forno mufla a uma temperatura de 700 °C. O teor de lignina foi determinado por hidrólise ácida, utilizando-se uma solução de ácido sulfúrico a 72% (p/p), de acordo com o padrão TAPPI T13 m-54 – que se tornou o T222 om-21 (TAPPI, 2006). O material hidrolisado foi filtrado em funil de vidro sinterizado com diâmetro máximo de poros de 10 µm a 16 µm (porosidade 4), após a suspensão ser deixada em refluxo por 4 horas, seguida de lavagem com água destilada até pH neutro.

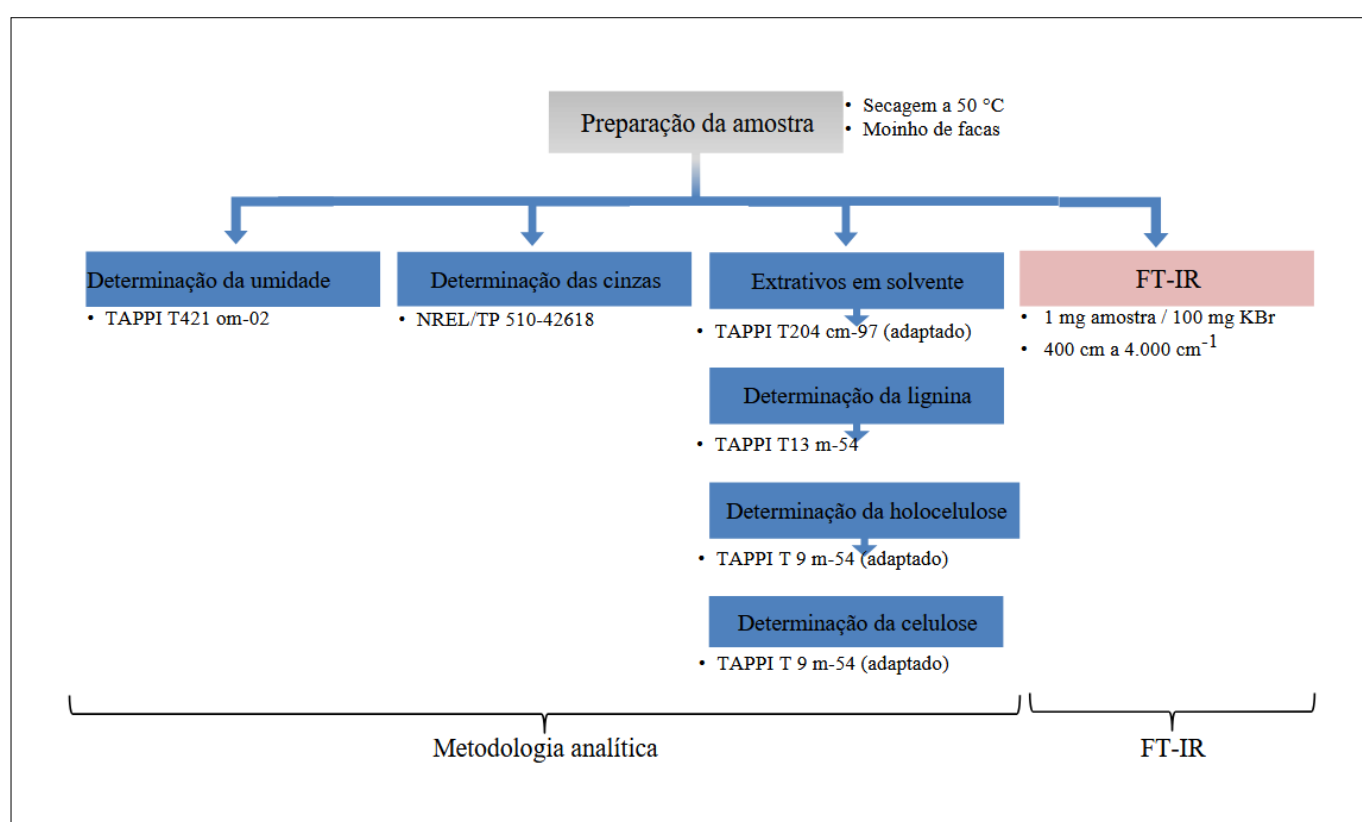
A holocelulose foi determinada por hidrólise ácida, utilizando-se ácido acético e hipoclorito de sódio por 4 horas, seguindo o padrão TAPPI T 9 m-54 – que se tornou o método 249 cm-21 (TAPPI, 2021). O material hidrolisado foi filtrado em funil de vidro sinterizado com diâmetro máximo de poro de 40 µm a 100 µm (porosidade 2), seguido de lavagem com água destilada até pH neutro. A celulose foi determinada por hidrólise básica de holocelulose, utilizando-se solução de hidróxido de sódio 17,5% (p/v), de acordo com o método T 9 m-54 adaptado (TAPPI, 2021). O material foi filtrado e lavado até pH neutro. A diferença entre celulose e holocelulose resulta no teor de hemicelulose.

3.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR)

Os ensaios por espectroscopia na região do infravermelho foram realizados para caracterizar os grupos químicos presentes no bagaço de laranja, utilizando-se um espectrômetro de infravermelho médio com transformada de Fourier, modelo Nicolet 6700 FT-IR, marca Thermo Scientific, com comprimento de onda de 400 cm^{-1} a 4.000 cm^{-1} . As amostras foram prensadas em pastilhas de KBr – na proporção de 1 mg de amostra para 100 mg de KBr – e colocadas em estufa a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ para perda de umidade. Os espectros de absorção foram analisados usando-se o software OMNIC.

Figura 7 ▼
Esquema metodológico de caracterização do bagaço de laranja.
Fonte: elaborado pelos autores

Todas as análises foram realizadas em triplicata, e os resultados são apresentados como uma média dos três valores, junto com seu desvio. O esquema metodológico pode ser visto na Figura 7.



4 Resultados e discussão

O bagaço de laranja apresentou 86,2% do teor de umidade inicial obtido durante o processo de preparo das amostras para as análises de caracterização, valor próximo ao encontrado na literatura – 82,25% (Orozco *et al.*, 2014). Os valores médios dos resultados da análise da composição química das fibras do bagaço de laranja, todos realizados em triplicata, bem como seu desvio padrão, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 ►

Composição química do
bagaço de laranja.

Fonte: dados da pesquisa

Análise	Massa seca (g em 100 g)*
	37,3 ± 3,7 (água destilada)
Extrativos em solvente	19,3 ± 0,9 (etanol)
	1,5 ± 0,5 (éter etílico)
Umidade	12,3 ± 0,9
Cinzas	2,9 ± 0,2
Lignina	2,9 ± 0,5
Celulose	38,5 ± 2,0
Holocelulose	33,1 ± 1,5
Hemicelulose	5,4 ± 2,0

*Média e desvio-padrão de três repetições

O valor obtido para a umidade da biomassa após o processo de secagem foi de 12,3%, próximo ao apresentado nos trabalhos de Martini (2009) com 12%, Retore *et al.* (2010) com 13,36%, Cavichiolo, Biagi e Marsaioli Junior (2014) com 12,16%, Silva *et al.* (2015) com 10,3% e Silva *et al.* (2016) com 10,05%.

O teor de cinzas representa a fração de minerais presentes na amostra, como sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e cobre, percentuais esses que estão diretamente relacionados ao solo em que a fruta foi cultivada. Esse teor resulta do método de calcinação em mufla por ignição de matéria orgânica, promovendo a formação de gases e eliminando os elementos químicos carbono, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e enxofre (Morais; Rosa; Marconcini, 2010; Silva *et al.*, 2016).

A análise de cinzas apresentou 2,9%, valor semelhante aos obtidos nos estudos de Oberoi *et al.* (2010) com 2,87%, Romero-Lopez *et al.* (2011) com 2,6%, Orozco *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2015) com 3,56% e Silva *et al.* (2016) com 3,46%; inferior ao apresentado por Retore *et al.* (2010) com 8,57%; e superior ao encontrado por Awan (2013) com 1,95%. Com base nesses resultados, pode-se dizer que os valores encontrados neste trabalho estão dentro dos encontrados na literatura pesquisada.

Os extrativos, que podem ser captados de materiais lignocelulósicos por meio de solventes polares e apolares, são compostos responsáveis por acumular nutrientes e formar aromas, sabores e cores. São tipicamente representados por vários compostos de baixo a médio peso molecular, como proteínas, açúcares, polissacarídeos e outros compostos solúveis em solventes orgânicos e água (Morais; Rosa; Marconcini, 2010; Nogueira, 2016).

Os teores de extrativos obtidos nos solventes álcool etílico (19,3%), água destilada (37,3%) e éter etílico (1,51%) mostram pouca diferença quando comparados aos níveis mencionados em Rivas *et al.* (2008), que foram 25% em álcool etílico e 45% em água destilada, e em Martini (2009), com 1,51% em éter etílico. Esse fato se deve à solubilidade dos compostos orgânicos baseada na estrutura molecular, na polaridade das ligações e no momento de dipolo (μ) das moléculas. A solubilidade é uma propriedade física indispensável para separar misturas e extrair substâncias. Em ordem crescente de polaridade do solvente, podem ser citados o éter etílico ($\mu = 1,15D$), o álcool etílico ($\mu = 1,70D$) e a água destilada ($\mu = 1,85D$) (Bruice, 2006). A extração do extrato denso e da resina foi mais eficiente com o solvente água, mostrando maior afinidade entre o solvente e o soluto devido ao grande número de carboidratos na amostra de bagaço de laranja, os quais são facilmente solúveis em água. Substâncias como graxas e resinas

podem ser extraídas com o solvente de baixa polaridade – éter etílico –, e flavonoides e compostos fenólicos são extraídos com o solvente de média polaridade – álcool etílico.

Com base nesses resultados, os resíduos de laranja podem ser uma fonte potencial para a extração de óleos essenciais (a fração de extrativos em água destilada poderia ser ainda maior com a amostra *in natura*, visto que é possível ter havido perdas durante a secagem), a serem utilizados como insumos nas indústrias química, alimentícia e farmacêutica para a fabricação de solventes, fertilizantes, produtos químicos, aromas, aromatizantes, fragrâncias e cosméticos. Isso porque são constituídos por uma mistura de vários compostos orgânicos como aldeídos, prevalecendo D-limoneno, cetonas, fenóis, álcoois, carotenoides e terpenos (Retore *et al.*, 2010).

A quantificação foi realizada quanto aos teores de carboidratos estruturais, lignina, holocelulose, celulose e hemicelulose após a remoção dos extrativos do material lignocelulósico e da umidade. Segundo Nogueira (2016), a composição difere entre as variedades e de acordo com o cultivo e o método de extração do caldo e de secagem e moagem do bagaço; portanto, a caracterização completa de uma mesma amostra é essencial para o conhecimento de suas características e usos potenciais.

O teor de lignina encontrado pelo tratamento ácido foi de 2,9%, valor próximo ao obtido por Orozco *et al.* (2014) com 2,81% e Rosa e Pinheiro (2021) com 3,14%; superior ao demonstrado por Rivas *et al.* (2008) com 0,84%; e inferior ao resultado de Awan (2013) com 4,4% e Nogueira (2016) com 9,9%. A lignina pode ser utilizada principalmente como fonte de energia e para obtenção de fibras de carbono e termoplásticos, devido a sua resistência e alto poder calorífico (Martini, 2009).

O teor de celulose obtido foi de 38,5%, semelhante ao de Orozco *et al.* (2014) com 36,38%. Houve uma diferença significativa no teor de holocelulose adquirido neste trabalho, que foi de 33,1%, quando comparado aos valores encontrados na literatura: 22,9% obtido por Nogueira (2016), 18,8% por Rosa e Pinheiro (2021) e 21,08% por Retore *et al.* (2010). Maior discrepância é encontrada em relação aos dados de holocelulose coletados nos trabalhos de Orozco *et al.* (2014), que apresentaram 9,93%, Rivas *et al.* (2008) – 9,21% – e Awan (2013) – 4,98%. Contato insatisfatório entre as fibras e a solução básica pode ser a causa de acesso insuficiente para despolimerizar as cadeias de celulose (Rodrigues *et al.*, 2017), ou mesmo entupimento de poros e contaminantes presentes nos filtros podem ser fontes de divergências nos resultados. Além disso, Martini (2009) e Cypriano *et al.* (2017) mencionam que os teores e proporções dos constituintes que compõem a biomassa podem variar de acordo com fatores genéticos e influências ambientais.

A hemicelulose é mais facilmente degradada do que a celulose, devido à presença de regiões amorfas em sua estrutura molecular, e pode ser determinada pela diferença entre celulose e holocelulose. Obteve-se um teor de 5,4%, valor que está de acordo com os 5,7% divulgados por Oberoi *et al.* (2010), 3,39% obtidos por Nogueira (2016) e 3,63% por Awan (2013). O maior valor – 26,45% –, obtido por Orozco *et al.* (2014), está em desacordo com a literatura. Segundo Ogeda e Petri (2010), as interações entre hemicelulose e lignina são mais fracas do que aquelas entre hemicelulose e celulose. Esse fato pode ser explicado por fortes ligações de hidrogênio e ligações covalentes.

O espectro FT-IR de resíduo de laranja obtido na região espectral de 400 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} , descrito na Figura 8, mostra as bandas de absorção características de um material de natureza lignocelulósica, devido à presença de carboidratos estruturais, lipídios, proteínas, ésteres e compostos aromáticos. A Tabela 2 apresenta os principais sinais de absorção e os grupos químicos relacionados à composição do resíduo da laranja.

Figura 8 ▶

Espectro de infravermelho do bagaço de laranja.

Fonte: dados da pesquisa

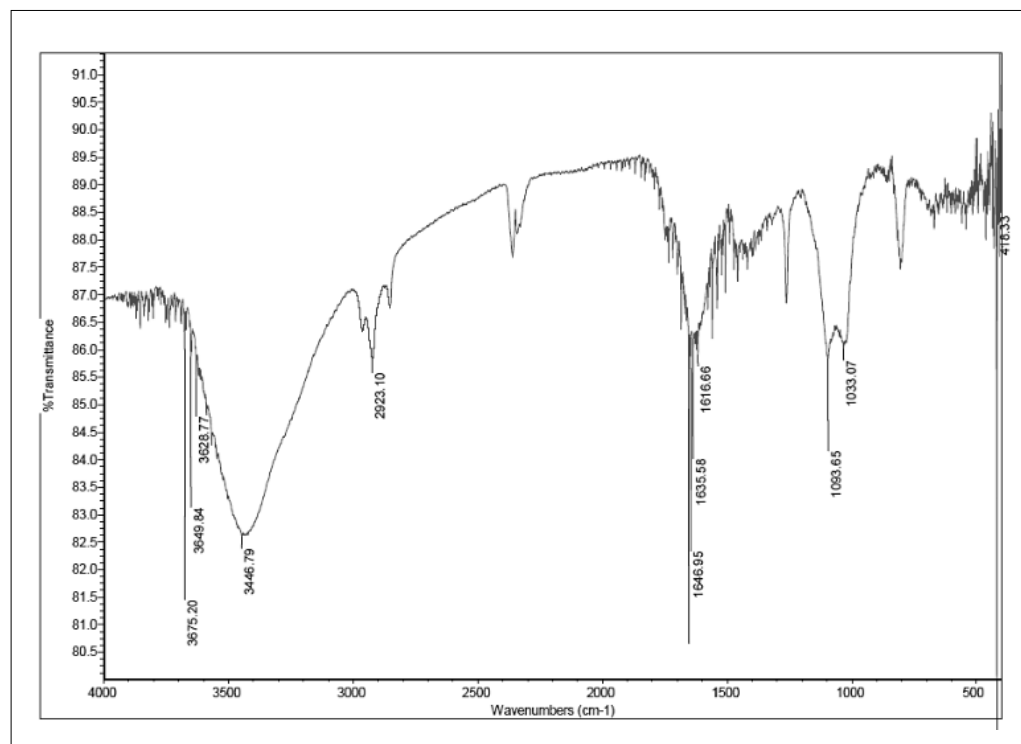


Tabela 2 ▶

Valores das principais bandas de absorção do bagaço de laranja.

Fonte: Orozco et al. (2014) e Silverstein, Webster e Kiemle (2010)

Banda / cm ⁻¹	Grupos químicos	Tipo de vibração
3675-3446	-OH	Estiramento (deformação axial)
2923	-CH, CH ₂ , CH ₃	Estiramento assimétrico
1733	C=O	Estiramento
1653-1616	C=C	Estiramento
1558-1253	-CH, CH ₂ , CH ₃	Deformação angular assimétrica e simétrica
1093-1033	C-O-H e C-O-R	Deformação angular
805, 668, 418	-CH e -OH	Deformação angular fora do plano

Os picos em 3675 cm⁻¹, 3649 cm⁻¹, 3628 cm⁻¹ e 3446 cm⁻¹ – de maior intensidade – referem-se às vibrações de estiramento (deformação axial) do grupo funcional -OH da celulose, dos álcoois e das substâncias pécicas presentes no material. O pico em 2923 cm⁻¹ corresponde à vibração de alongamento assimétrico de compostos alifáticos da ligação C-H dos grupos CH₂ e CH₃ de carboidratos, hemicelulose e lignina. A banda em 1733 cm⁻¹ pode ser atribuída ao alongamento do grupo C=O de ácidos carboxílicos, compostos aromáticos, lipídios, ésteres e lignina. Os picos em 1653 cm⁻¹, 1646 cm⁻¹, 1635 cm⁻¹ e 1616 cm⁻¹ se devem ao alongamento da ligação C=C de compostos aromáticos e substâncias pécicas. As vibrações assimétricas e simétricas de deformação da ligação C-H dos CH₂ e CH₃ das cadeias alifáticas que constroem a estrutura básica dos carboidratos, em geral, presentes no material lignocelulósico através das ligações glicosídicas, podem ser observadas em 1558 cm⁻¹, 1457 cm⁻¹ e 1253 cm⁻¹. Os sinais em 1093 cm⁻¹ e 1033 cm⁻¹ correspondem às vibrações de deformação angular das ligações C-O-H dos álcoois e das ligações C-O-R dos ésteres. Por fim, as bandas em 805 cm⁻¹, 668 cm⁻¹ e 418 cm⁻¹ podem ser atribuídas a deformações

angulares fora do plano das ligações C–H e –OH de carboidratos em geral (Awan, 2013; Martini, 2009; Orozco *et al.*, 2014; Porto *et al.*, 2021; Silverstein; Webster; Kiemle, 2010).

Finalmente, com os resultados da composição química completa do bagaço de laranja, é possível utilizar esses dados para estudos de viabilidade econômica de insumos com maior valor agregado e melhor aproveitamento para diversas aplicações, como ração animal, vitaminas, sabores para indústrias de alimentos, polpa cítrica para regulação e estimulação intestinal, ação oxidante, entre outras. Os solventes extrativos, mesmo em uma massa já seca do resíduo, apresentaram valores que indicam a possibilidade de extração de óleos essenciais de amplo uso industrial, principalmente para fabricação de perfumes, além de citrato de cálcio (Soares, 2022). As cinzas podem aumentar o valor econômico do resíduo se utilizadas como fertilizante (Donadon; Santos, 2018). Os extratos em solventes podem ser utilizados para produção de pectina, incorporação em alimentos, adsorção, produção de enzimas e etanol 2G (Silva *et al.*, 2016). A holocelulose, a celulose e a hemicelulose são polissacarídeos de cadeia longa e podem, após o processo de sacarificação, liberar glicose para o processo de fermentação e produção de etanol 2G (Nogueira, 2016). O bagaço da polpa cítrica pode ser utilizado na alimentação animal (Silva, 2019; Soares, 2022), como matéria-prima para a produção de xilitol, um adoçante com propriedades anticariogênicas, e também hidrolisado, para uso na indústria farmacêutica como um poderoso prebiótico (Calore, 2022). Por fim, a lignina, embora frequentemente queimada para produção de energia, tem mostrado potencial em diversos setores produtivos como dispersante em concreto, em pigmentos e em produtos cerâmicos, como emulsificante em óleos e látex, como aglutinante de *pellets*, como lignopoliuretanos, como antioxidantes, na produção de vanilina, entre outros usos (Porto *et al.*, 2021), evidenciando seu alto valor agregado.

5 Considerações finais

Os resultados obtidos neste estudo, juntamente com as informações teóricas apresentadas, indicam que o bagaço de laranja, insumo abundante, de preço acessível, alto valor nutricional e com composição química diversificada, é um material promissor para inúmeras e viáveis aplicações, o que contribui para evitar o acúmulo e o descarte inadequado em diversas áreas industriais. Estudos desse tipo são possíveis a partir dos dados completos da caracterização do bagaço de laranja e podem demonstrar o potencial direto de aplicação desses resíduos.

A massa seca do bagaço de laranja foi composta por $19,3 \pm 0,9\%$ de solventes extrativos na casca – da qual são extraídos óleos essenciais de amplo uso industrial, principalmente para fabricação de perfumes –, além de citrato de cálcio; $2,9 \pm 0,2\%$ de cinzas, que podem aumentar seu valor econômico se utilizadas como fertilizante; $19,3 \pm 0,9\%$ de extratos em solventes, que podem ser utilizados para produção de pectina, incorporação em alimentos, adsorção, produção de enzimas e etanol 2G; $38,5 \pm 2,0\%$ de holocelulose, $33,1 \pm 1,5\%$ de celulose e $5,4 \pm 2,0\%$ de hemicelulose, que podem, após o processo de sacarificação, liberar glicose para o processo de fermentação e produção de etanol 2G (Nogueira, 2016); e $2,9 \pm 0,5\%$ de lignina. O bagaço da polpa cítrica pode ser utilizado na alimentação animal (Silva, 2019; Soares, 2022); pode servir de matéria-prima para a produção de xilitol, um adoçante com propriedades anticariogênicas; pode ser hidrolisado e utilizado na indústria farmacêutica como um poderoso prebiótico. Embora grandes quantidades de ligninas sejam queimadas na produção de energia, sua aplicação nos diferentes setores produtivos tem se destacado como dispersante em concreto, pigmentos, produtos cerâmicos, emulsificante em óleos e látex, aglutinante de *pellets*, lignopoliuretanos, produção de vanilina, antioxidantes, entre outros.

Com base nas caracterizações realizadas, foi possível observar que os resultados da composição química completa estão de acordo com os valores individuais encontrados na literatura, evidenciando características típicas de material lignocelulósico. A composição química do bagaço de laranja permite sua aplicação em um amplo campo de estudos e aplicações industriais, incluindo estudos de viabilidade econômica para a separação de compostos específicos com base em seu valor agregado, novos destinos para substâncias subaproveitadas e geração de valor para o processo industrial, tudo isso a partir de uma descrição completa do resíduo, inédita na literatura até então.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFSP – Campus Matão por fornecer a infraestrutura e apoio técnico para realização deste trabalho.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições ao artigo

MITSUHARA, A. T.: revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. **MORAES, J. C.:** concepção ou desenho do estudo/pesquisa; análise e/ou interpretação dos dados. **CRESTANI, C. E.:** concepção ou desenho do estudo/pesquisa; análise e/ou interpretação dos dados.; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. Todos os autores participaram da escrita, discussão, leitura e aprovação da versão final do artigo.

Referências

AWAN, A. T. **Orange bagasse as biomass for 2G-ethanol production.** 2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/909661>. Acesso em: 17 jun. 2023.

BENEVIDES, L. C. **Pirólise do bagaço de laranja:** análise cinética dos estágios de secagem e devolatização. 2015. Dissertação (Mestrado em Energia) – Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/handle/10/1864>. Acesso em: 17 jun. 2023.

BRUICE, P. Y. **Química orgânica.** 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

CALORE, R. H. **Aproveitamento de biomassa lignocelulósica como fonte de extração de hemicelulose para o uso como substrato para atividade de xilanase.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/236217>. Acesso em: 17 jun. 2023.

CAVICHIOLO, J. R.; BIAGI, J. D.; MARSAIOLI JUNIOR, A. Caracterização do bagaço de laranja úmido e seco. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (CONBEA 2014), 42., 2014, Campo Grande. **Anais [...]**. SBEA: Campo Grande, 2014. Disponível em: <http://conbea14.sbea.org.br/2014/anais/R0210-1.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2023.

CYPRIANO, D. Z.; SILVA, L. L.; MARIÑO, M. A.; TASIC, L. A biomassa da laranja e seus subprodutos. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 176-191, 2017. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/TasicNoPrelo.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2023.

DONADON, F. A. B.; SANTOS, D. F. L. A relevância da eco-inovação para resíduos sólidos na agroindústria da fruticultura. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 205-227, 2018. Disponível em: <https://revistagt.fpl.emnuvens.com.br/get/article/view/1251>. Acesso em: 17 jun. 2023.

GONÇALVES, C. **Aplicação de agentes oxidantes no pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar e sua influência na sacarificação da celulose.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2009. Disponível em: <https://maua.br/files/dissertacoes/aplicacao-agentes-oxidantes-280908.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

GURGEL, L. V. A. **Hidrólise ácida de bagaço de cana-de-açúcar: estudo cinético de sacarificação de celulose para produção de etanol.** 2010. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.11606/T.75.2011.tde-25032011-081629>.

KIST, B. B.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. **Uma fase mais espremida.** *In*: BELING, R. R. (ed.). Anuário Brasileiro de Horti & Fruti 2022. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2022. p. 62-63. Disponível em: https://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wp-content/uploads/2022/04/HORTIFRUTI_2022.pdf. Acesso em: 18 abr. 2023.

LIMA, U. A. **Matérias-primas dos alimentos.** São Paulo: Blucher, 2010.

LUCAS, B. N.; SCHU, A. I.; NORA, F. M. D. Benefícios dos compostos bioativos encontrados em resíduos agroindustriais utilizados na alimentação animal. *In*: NORA, F. M. D. (org.). **Compostos bioativos e suas aplicações.** Canoas: Mérida Publishers, 2021. p. 208-225. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-7-4.c9>.

MARTINI, P. R. R. **Conversão pirolítica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos.** 2009. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/10457>. Acesso em: 18 abr. 2023.

MELO, P. S.; BERGAMASCHI, K. B.; TIVERON, A. P.; MASSARIOLI, A. P.; OLDONI, T. L. C.; ZANUS, M. C.; PEREIRA, G. E.; ALENCAR, S. M. Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1088-1093, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000600027>.

MENDONÇA, L. M. V. L.; CONCEIÇÃO, A.; PIEDADE, J.; CARVALHO, V. D.; THEODORO, V. C. A. Caracterização da composição química e do rendimento dos resíduos industriais do limão Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 870-874, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000400025>.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. **Procedimentos para análise lignocelulósica**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. 54 p. (Documentos, v. 236). Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/883400/procedimentos-para-analise-lignocelulosica>. Acesso em: 18 abr. 2023.

NOGUEIRA, D. P. **Estudo da obtenção de açúcares redutores totais a partir do bagaço de laranja (Citrus sinenses) por hidrólises ácida diluída e enzimática**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6084>. Acesso em: 18 abr. 2023.

OBEROI, H. S.; VADLANI, P. V.; MADL, R. L.; SAIDA, L.; ABEYKOON, J. P. Ethanol production from orange peels: two-stage hydrolysis and fermentation studies using optimized parameters through experimental design. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 6, p. 3422-3429, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf903163t>.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1549-1558, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000700023>.

OROZCO, R. S.; HERNÁNDEZ, P. B.; MORALES, G. R.; NÚÑEZ, F. U.; VILLAFUERTE, J. O.; LUGO, V. L.; RAMÍREZ, N. F.; DÍAZ, C. E. B.; VÁZQUEZ, P. C. Characterization of lignocellulosic fruit waste as an alternative feedstock for bioethanol production. **BioResources**, v. 9, n. 2, p. 1873-1885, 2014. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/characterization-of-lignocellulosic-fruit-waste-as-an-alternative-feedstock-for-bioethanol-production/>. Acesso em: 17 jun. 2023.

PEREIRA, L. F. A.; FIRMO, W. C. A.; COUTINHO, D. F. A importância do reaproveitamento de resíduos da indústria alimentícia: o caso do processamento de frutas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, e38111234089, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34089>.

PORTO, D. S.; FORIM, M. R.; COSTA, E. S.; FERNANDES, J. B.; SILVA, M. F. G. F. Evaluation of lignins of trunk and roots from *Citrus sinensis* L. Osbeck: a large available Brazilian biomass. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, n. 1, p. 29-39, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20200150>.

RABELO, S. C. **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1612293>. Acesso em: 18 abr. 2023.

RETORE, M.; SILVA, L. P.; TOLEDO, G. S. P.; ARAÚJO, I. G. Efeito da fibra de coprodutos agroindustriais e sua avaliação nutricional para coelhos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 5, p. 1232-1240, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000500028>.

REZZADORI, K; BENEDETTI, S. Proposições para valorização de resíduos do processamento do suco de laranja. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. **Proceedings** [...]. São Paulo: UNIP, 2009. p. 1-11. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/6a/4/K.%20Rezzadori%20-%20Resumo%20Exp%20-%206A-4.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

RIVAS, B.; TORRADO, A.; TORRE, P.; CONVERTI, A.; DOMÍNGUEZ, J. M. Submerged citric acid fermentation on orange peel autohydrolysate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 7, p. 2380-2387, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf073388r>.

RODRIGUES, C.; WOICIECHOWSKI, A. L.; LETTI, L. A. J.; KARP, S. G.; GOELZER, F. D.; SOBRAL, K. C. A.; CORAL, J. D.; CAMPIONI, T. S.; MACENO, M. A. C.; SOCCOL, C. R. Materiais lignocelulósicos como matéria-prima para a obtenção de biomoléculas de valor comercial. In: RESENDE, R. R. (org.). **Biotecnologia aplicada à agro&indústria: fundamentos e aplicações**. Volume 4. São Paulo: Blucher, 2017. Cap. 8, p. 283 -314. DOI: <https://dx.doi.org/10.5151/9788521211150-08>.

ROMERO-LOPEZ, M. R.; OSORIO-DIAZ, P.; BELLO-PEREZ, L. A.; TOVAR, J.; BERNARDINO-NICANOR, A. Fiber concentrate from orange (*Citrus sinensis* L.) bagasse: characterization and application as bakery product ingredient. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 4, p. 2174-2186, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms12042174>.

ROSA, J. M. A.; PINHEIRO, I. R. Planejamento experimental DCCR aplicando a hidrólise enzimática do bagaço de laranja empregando as enzimas celulasas e pectinases. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 3191-3208, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-216>.

SILVA, C. E. F.; GAMA, B. M. V.; OLIVEIRA, L. M. T. M.; ARAUJO, L. T.; ARAUJO, M. L.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M.; ABUD, A. K. S. Uso da laranja lima e seus resíduos no desenvolvimento de novos produtos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 1, p. 69-96, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18011/bioeng2016v10n1p69-96>.

SILVA, F. L. H.; SERRANO, M.; GOMES, J. P.; SANTOS, S. F. M.; ALCÂNTARA, S. Caracterização físico-química do resíduo do bagaço de laranja para obtenção de pectinase através do cultivo em estado sólido. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS (SINAFERM), 20.; SIMPÓSIO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BIOMASSAS (SHEB), 11., 2015, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: UFC, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.17648/sinaferm-2015-33870>.

SILVA, G. F. **Avaliação do potencial do bagaço de laranja industrial peletizado para a produção de butanol por Clostridium beijerinckii via fermentação acetona-butanol- etanol**. 2019. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11216>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SILVA, L. A. S.; OLIVEIRA, V. C.; MENDES, F. B. Principais aplicações dos resíduos da laranja e sua importância industrial. **Revista Artigos. Com**, v. 22, e5139, 2020. Disponível em: <https://acervomais.com.br/index.php/artigos/articulo/view/5139>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D.; CROCKER, D. **Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP)**. Issue Date: April 2008. Revision Date: August 2012. Golden: NREL, 2012. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy13/42618.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2023.

SOARES, G. H. B. **Bagaço de laranja na alimentação de vacas leiteiras: revisão bibliográfica**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/236168>. Acesso em: 17 jun. 2023.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp, Test Method T 222 om-21**. Norcross: TAPPI, 2006. Disponível em: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T222.aspx>. Acesso em: 26 jun. 2023.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Carbohydrate composition of extractive-free wood and wood pulp by gas-liquid chromatography, Test Method T 249 cm-21**. Norcross: TAPPI, 2021. Disponível em: <https://ipstesting.com/find-a-test/tappi-test-methods/tappi-t-249-carbohydrate/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Moisture in pulp, paper and paperboard, Test Method TAPPI/ANSI T 412 om-22**. Norcross: TAPPI, 2015. Disponível em: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T412.aspx>. Acesso em: 26 jun. 2023.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Solvent extractives of wood and pulp, Test Method T 204 cm-17**. Norcross: TAPPI, 2007. Disponível em: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T204.aspx>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ULLOA, P. R.; ULLOA, J. A.; RANGEL, B. E. U.; MÁRTIR, K. U. L. Protein isolate from orange (*Citrus sinensis* L.) seeds: effect of high-intensity ultrasound on its physicochemical and functional properties. **Food and Bioprocess Technology**, v. 16, n. 3, p. 589-602, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02956-4>.

VALENÇA, R. L.; FERREIRA, A. C. D.; SANTOS, A. C. P.; SILVA, B. C. D.; SANTOS, G. R. A.; OLIVEIRA, E. S. Composição química e perdas em silagem de bagaço de laranja pré-seco. **Boletim de Indústria Animal**, v. 73, n. 3, p. 206-211, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17523/bia.v73n3p206>.

VIANA, L. G.; CRUZ, P. S. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais. *In*: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 4., 2016, Cruz das Almas. **Anais [...]**. Cruz das Almas: UFRB, 2016. p. 1-3. Disponível em: <https://doceru.com/doc/s85s85n>. Acesso em: 6 nov. 2024.

ZANELLA, K. **Extração da pectina da casca da laranja-pera (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com solução diluída de ácido cítrico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1621964>. Acesso em: 17 jun. 2023.