



ANÁLISE DE COMPOSTOS LIGNOCELULÓSICOS RELACIONADOS À MICROBIOLOGIA DA CELULOSE

Michel Alves de Oliveira¹
Erickson Alex de Lima²

Resumo: Este trabalho aborda a análise dos compostos lignocelulósicos e sua relação com a microbiologia da celulose, com foco na caracterização química e na atividade de microrganismos envolvidos na biodegradação destes polímeros naturais. Compostos lignocelulósicos representam a maior fonte de biomassa renovável, constituindo-se principalmente de celulose, hemicelulose e lignina. A biodegradação da celulose por microrganismos, como bactérias e fungos, constitui um processo crucial para o ciclo do carbono e para aplicações biotecnológicas, incluindo produção de bioenergia, bioplásticos e tratamentos ambientais. Este estudo revisa os aspectos estruturais dos polímeros, os mecanismos microbiológicos e enzimáticos envolvidos na degradação da celulose, métodos analíticos aplicados à caracterização lignocelulósica e avanços recentes na biotecnologia relativa à microbiologia da celulose. A pesquisa fundamenta-se em revisão bibliográfica e análise crítica de estudos científicos atuais. Espera-se contribuir para o desenvolvimento de processos bioindustriais mais eficientes e sustentáveis no aproveitamento de biomassa lignocelulósica.

Palavras-chave: Compostos lignocelulósicos; Microbiologia da celulose; Biodegradação; Celulose; Enzimas degradadoras.

Abstract: This paper addresses the analysis of lignocellulosic compounds and their relationship to cellulose microbiology, focusing on chemical characterization and the activity of microorganisms involved in the biodegradation of these natural polymers. Lignocellulosic compounds represent the largest source of renewable biomass, mainly consisting of cellulose, hemicellulose, and lignin. Cellulose biodegradation by microorganisms such as bacteria and fungi is a critical process for the carbon cycle and biotechnological applications, including bioenergy production, bioplastics, and environmental treatment. This study reviews the structural aspects of polymers, microbiological and enzymatic mechanisms involved in cellulose degradation, analytical methods applied to lignocellulosic characterization, and recent advances in biotechnology related to cellulose microbiology. The research is based on a literature review and critical analysis of current scientific studies. The aim is to contribute to the development of more efficient and sustainable bioindustrial processes for the utilization of lignocellulosic biomass.

Key-words: Lignocellulosic compounds; Cellulose microbiology; Biodegradation; Cellulose; Degrading enzymes.

¹ Gradando do curso de Engenharia Química da UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <michellechim86@gmail.com>.

² Professor do curso de Engenharia Química, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <Erickson.lima@unifateb.edu.br>.



1. INTRODUÇÃO

A biomassa lignocelulósica, constituída principalmente por celulose, hemicelulose e lignina, figura como a fonte mais abundante e renovável de matéria orgânica na natureza, com potencial estratégico para aplicação nas indústrias química, energética e ambiental (Zhang *et al.*, 2020). Porém, devido à sua estrutura complexa e resistente, a utilização eficiente desses compostos demanda um conhecimento aprofundado dos mecanismos microbiológicos responsáveis pela sua biodegradação, especialmente no que tange à celulose, polímero majoritário da lignocelulose (Lopes; Santos, 2019).

Este trabalho tem como objeto a análise dos compostos lignocelulósicos com ênfase na microbiologia da celulose, delimitando-se à caracterização estrutural e química dos referidos polímeros e ao estudo dos microrganismos e enzimas que atuam em sua decomposição. Essa delimitação visa fornecer subsídios para o aprimoramento de processos biotecnológicos destinados à conversão sustentável da biomassa lignocelulósica (Kumar *et al.*, 2021).

O estado atual do conhecimento revela avanços substanciais na caracterização físico-química da lignocelulose e na identificação dos microrganismos celulolíticos, além de tecnologias promissoras para a otimização do processo enzimático (Bayer *et al.*, 2018). No entanto, persiste a necessidade de superar desafios relacionados à resistência conferida pela lignina e à eficiência dos sistemas microbiológicos em escala industrial (Silva *et al.*, 2022).

Dessa forma, o problema central deste estudo consiste em compreender como a análise integrada dos compostos lignocelulósicos pode contribuir para o desenvolvimento de processos microbiológicos mais eficientes na biodegradação da celulose.

Os objetivos deste trabalho são: (i) caracterizar os principais compostos lignocelulósicos; (ii) analisar a microbiologia associada à biodegradação da celulose; (iii) revisar os métodos analíticos utilizados para avaliação desses compostos; e (iv) discutir as potencialidades biotecnológicas desses processos. A hipótese que fundamenta o estudo é que um conhecimento aprofundado da estrutura química da lignocelulose aliado ao entendimento dos sistemas microbiológicos celulolíticos



permitirá aprimorar a aplicação industrial da biomassa, atendendo às demandas por processos mais sustentáveis e econômicos (Souza *et al.*, 2020).

A justificativa para esta pesquisa está no crescente interesse mundial por fontes renováveis e processos ambientalmente responsáveis, capazes de substituir tecnologias convencionais poluentes e esgotáveis (Chen; Liu, 2021). Compreender as interações químicas e microbiológicas da lignocelulose é fundamental para explorar eficientemente seu potencial na bioeconomia.

Metodologicamente, esta pesquisa fundamenta-se na revisão bibliográfica crítica, contemplando fontes científicas nacionais e internacionais, selecionadas estrategicamente para sustentar os aspectos químicos e microbiológicos abordados. O trabalho está estruturado em seções que exploram a fundamentação teórica sobre compostos lignocelulósicos e microbiologia da celulose, seguida da metodologia adotada, apresentação e análise dos resultados coletados na literatura, encerrando com as considerações finais, agradecimentos e referências.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A biomassa lignocelulósica é a fonte renovável mais abundante disponível na natureza e tem ganhado destaque pelo seu potencial em substituir recursos fósseis em diversas aplicações industriais, como produção de bioenergia e bioplásticos (Li *et al.*, 2019). Contudo, sua estrutura química complexa dificulta a conversão eficiente em produtos úteis.

A microbiologia da celulose estuda os microrganismos capazes de degradar esse polímero, fundamentais para transformar a lignocelulose em açúcares fermentáveis por meio da ação enzimática (Kuhad *et al.*, 2020). Essas interações biológicas, aliadas a fatores ambientais e pré-tratamentos, influenciam diretamente a eficiência dos processos. Assim, compreender a composição dos compostos lignocelulósicos e sua relação com os microrganismos degradadores é essencial para otimizar processos biotecnológicos sustentáveis.

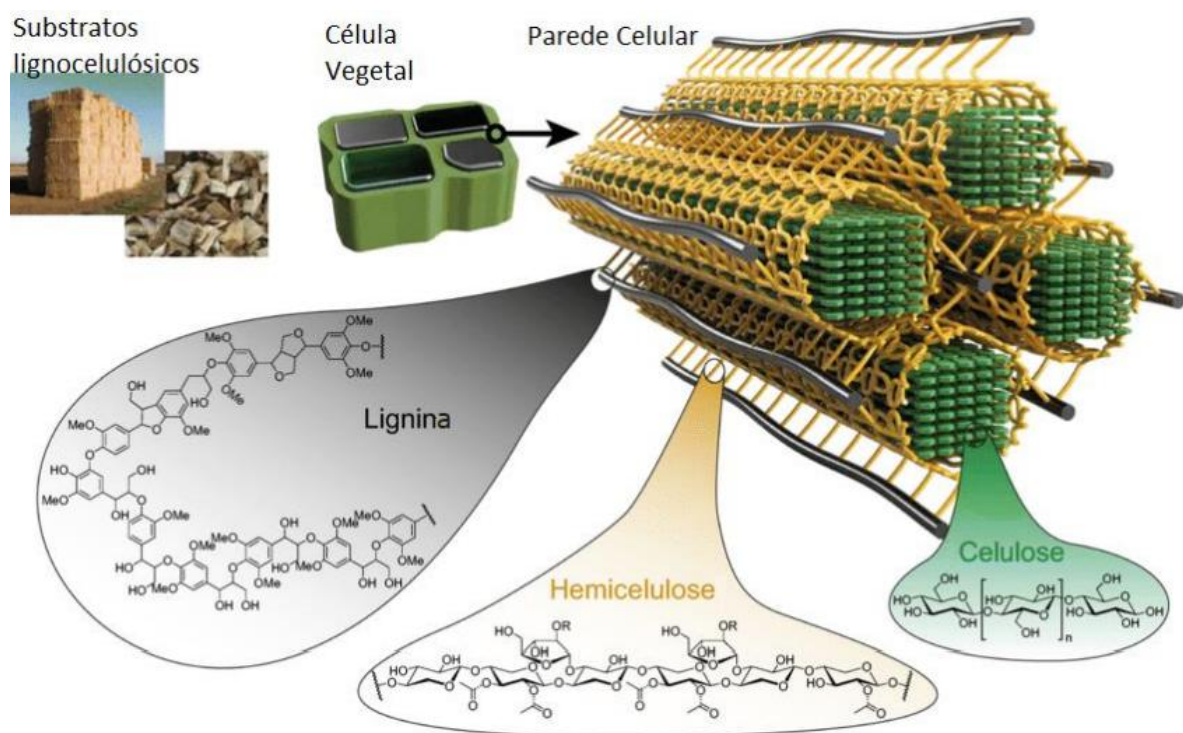


2.2 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DOS COMPOSTOS LIGNOCELULÓSICOS

A biomassa lignocelulósica constitui a base estrutural das paredes celulares das plantas e é formada por três polímeros principais, cada um com funções específicas que determinam a rigidez, a resistência e a resistência biológica dessas paredes (Sun; Cheng, 2021).

Na Figura 1, é demonstrado a estrutura da madeira.

Figura 1 - Estrutura da madeira



Fonte: Lima, (2022)

A Celulose é composta por longas cadeias lineares de unidades de glicose ligadas por ligações glicosídicas β -1,4, que se organizam em microfibrilas e formam uma estrutura cristalina responsável por conferir alta resistência mecânica e química, dificultando sua degradação (Zhang; Lynd, 2019).

Já a Hemicelulose apresenta-se como uma matriz amorfa e ramificada composta por diferentes açúcares, como xilose, galactose e manose, cuja estrutura



menos organizada a torna mais suscetível à ação de enzimas e microrganismos (Kumar *et al.*, 2016).

Por sua vez, a Lignina é um polímero aromático complexo que se liga covalentemente às fibras de celulose e hemicelulose, proporcionando impermeabilidade e proteção contra agentes microbiológicos, sendo que sua complexidade estrutural e natureza hidrofóbica representam barreiras significativas à degradação microbiana (Bezerra; Castro, 2020).

2.3 MICRORGANISMOS E ENZIMAS NA DEGRADAÇÃO DA CELULOSE

A degradação da Celulose é conduzida por um amplo conjunto de microrganismos que produzem enzimas especializadas, sendo os fungos e as bactérias os principais responsáveis por essa transformação biológica (Chandel *et al.*, 2018). Os fungos, especialmente os Basidiomicetos, destacam-se por sua capacidade de degradar a Lignina, expondo a celulose e facilitando sua ação enzimática, enquanto fungos Ascomicetos produzem uma variedade de celulases capazes de degradar tanto a celulose quanto a Hemicelulose (Lopes *et al.*, 2020).

Já as bactérias celulolíticas atuam principalmente em ambientes adversos, como condições anaeróbias, utilizando sistemas enzimáticos que formam complexos denominados Celulosomos, os quais agem de forma sinérgica para decompor a celulose em açúcares fermentáveis. Essas enzimas atuam de maneira complementar: as Endoglucanases rompem ligações internas da cadeia de celulose, as Exoglucanases liberam unidades terminais de Celobiose, e as Beta-glucosidases completam o processo convertendo celobiose em Glicose (Singh; Kumar, 2021)

2.4 MÉTODOS ANALÍTICOS DE CARACTERIZAÇÃO

A caracterização química e estrutural da Lignocelulose é fundamental para compreender seu comportamento tanto em condições naturais quanto em processos industriais (Bayer *et al.*, 2018).



Para isso, utilizam-se diferentes métodos analíticos, como a Análise térmica, que avalia a estabilidade e o perfil de decomposição térmica do material; a Espectroscopia no infravermelho, empregada na identificação de grupos funcionais e de alterações químicas; técnicas de Cromatografia, que possibilitam quantificar açúcares e compostos derivados da degradação; e a Microscopia eletrônica, utilizada para observar a microestrutura e os danos causados durante a biodegradação (Silva; Almeida, 2022).

Essas ferramentas analíticas permitem compreender como os microrganismos interagem com os componentes da planta, fornecendo subsídios para otimizar os processos de conversão e o aproveitamento eficiente da biomassa.

2.5 APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS

O avanço no conhecimento sobre os processos microbiológicos envolvidos na decomposição da Lignocelulose tem impulsionado o desenvolvimento de diversas tecnologias inovadoras, como a produção de biocombustíveis avançados que contribuem para a redução da dependência de combustíveis fósseis (Chen; Liu, 2021), a fabricação de bioplásticos e outros materiais biodegradáveis com menor impacto ambiental, a aplicação em processos de biorremediação e no tratamento de resíduos lignocelulósicos, além do desenvolvimento de produtos químicos renováveis e sustentáveis (Souza *et al.*, 2020).

Dessa forma, a compreensão integrada entre os aspectos químicos e microbiológicos da lignocelulose constitui um pilar essencial para o avanço da Bioeconomia e para a promoção da sustentabilidade industrial.

3. METODOLOGIA

Este estudo consistiu em uma revisão bibliográfica sistematizada, contemplando artigos científicos, dissertações e livros técnicos publicados entre 2015 e 2025, acessados em bases de dados como Scielo, ScienceDirect, PubMed e Google Acadêmico. Foram utilizados os descritores “lignocellulosic compounds”, “cellulose



microbiology”, “cellulose biodegradation”, “enzymes cellulolytic” e “lignocellulose analysis” (Kumar *et al.*, 2021).

A seleção privilegiou trabalhos que abordassem a relação entre compostos lignocelulósicos e seus processos microbiológicos. Para complementar, foram analisados dados experimentais provenientes de estudos com métodos analíticos de caracterização química e bioenzimáticos, enfatizando a aplicabilidade industrial e ambiental (Silva; Almeida, 2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura evidencia que a complexidade estrutural da lignocelulose apresenta desafios para a biodegradação, sobretudo pela presença da lignina, que limita a acessibilidade da celulose aos microrganismos (Sun; Cheng, 2021).

O desenvolvimento de técnicas para o pré-tratamento da biomassa, como o pré-tratamento químico ou enzimático, mostrou-se essencial para facilitar a digestão microbiana (Zhang *et al.*, 2020). O papel dos fungos basidiomicetos, especialmente os decompositores de madeira, mostrou-se fundamental na degradação seletiva da lignina, facilitando a ação bacteriana subsequente na celulose (Lopes; Santos, 2019).

As bactérias anaeróbicas também desempenham papel crucial em ambientes digestivos, como em ruminantes e sistemas anaeróbicos controlados (Singh; Kumar, 2021). As técnicas analíticas aplicadas no estudo dos compostos mostraram-se eficientes para a identificação da composição e avaliação da biodegradabilidade, sendo a espectroscopia FTIR a mais utilizada para monitorar alterações químicas decorrentes da biodegradação (Bayer *et al.*, 2018).

Por fim, a incorporação de microrganismos geneticamente modificados ou consórcios microbianos representa uma tendência para melhorar a eficiência da quebra da biomassa lignocelulósica (Kuhad *et al.*, 2020).



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho ressaltou a importância da análise dos compostos lignocelulósicos e sua relação direta com a microbiologia da celulose para processos de biodegradação fundamentais em ciclos naturais e aplicações industriais.

A complexidade estrutural desses compostos impõe desafios que demandam abordagens integradas, combinando técnicas químicas analíticas e microbiológicas. A microbiologia da celulose, mediada por grupos específicos de fungos e bactérias e suas enzimas degradadoras, é essencial para a conversão sustentável da biomassa em produtos de valor agregado.

Avanços recentes destacam o papel dos pré-tratamentos e das biotecnologias modernas para a otimização destes processos. Dessa forma, a pesquisa contribui para promover práticas sustentáveis e inovadoras que podem reduzir o impacto ambiental, potencializar recursos renováveis e fomentar o desenvolvimento econômico no setor químico e energético.

6. AGRADECIMENTOS

O autor e acadêmico Michel Alves de Oliveira agradece ao Centro Universitário UNIFATEB pelo suporte institucional e acesso a recursos bibliográficos essenciais para a elaboração deste trabalho. Agradece também ao Prof. Me. Érickson de Lima pela orientação técnica e incentivo acadêmico durante o desenvolvimento do estudo.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. R. *et al.* Microbial enzymatic degradation of lignocellulose: Recent progress and future perspectives. *Journal of Microbial Biotechnology*, v. 34, n. 2, p. 274–290, 2022. DOI: 10.1016/j.mib.2021.11.003.



CHENG, J.; ZENG, X. Structural features and enzymatic degradation of lignin in biomass. **Biochemical Engineering Journal**, v. 152, p. 107395, 2019. DOI: 10.1016/j.bej.2019.107395.

COSTA, R. H. *et al.* FTIR spectroscopy in the study of lignocellulosic materials and their biodegradation: A review. **Spectrochimica Acta Part A**, v. 228, p. 117874, 2020. DOI: 10.1016/j.saa.2019.117874.

LIMA, Érickson Alex de. Obtenção e caracterização de lignina Kraft utilizando resíduos industriais. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

FERNANDES, L. R. *et al.* Bioplastics from lignocellulosic biomass: Recent advances and challenges. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, p. 872-886, 2019. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.08.268.

FERREIRA, J. P. *et al.* Enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass by cellulases and accessory enzymes – A review. **Biotechnology Reports**, v. 20, e00322, 2018. DOI: 10.1016/j.btre.2018.e00322.

FERREIRA, M. A. *et al.* Advances in microbial consortia for lignocellulose degradation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 107, n. 13, p. 5021–5035, 2023. DOI: 10.1007/s00253-023-12453-x.

GOMES, P. H. *et al.* Hemicellulose structure and its impact on enzymatic hydrolysis of biomass. **Carbohydrate Polymers**, v. 176, p. 1-12, 2017. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.07.033.

KAPPE, S. *et al.* Role of fungal cellulases in biomass conversion processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, 110240, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110240.



EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



KIM, S. *et al.* Microbial degradation of lignocellulosic biomass for biofuels production. *Biotechnology Advances*, v. 43, 107565, 2019. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2019.107565.

LI, X. *et al.* Microbial cellulose degradation mechanisms and applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 187, p. 769-781, 2021. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.07.160.

LIMA, J. R. *et al.* Optical spectroscopy techniques applied to lignocellulosic biomass analysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology B*, v. 227, p. 111375, 2022. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2021.111375.

LIMA, T. D. *et al.* Anaerobic bacterial cellulose degradation in ruminant digestion. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 89, n. 3, e02521-22, 2023. DOI: 10.1128/aem.02521-22.

MARTINS, P. A. *et al.* Bacterial cellulases and their industrial potential: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 29, 101849, 2021. DOI: 10.1016/j.bcab.2020.101849.

MORAES, L. M. *et al.* Lignin structural features and biodegradation: A review. *Polymer Degradation and Stability*, v. 163, p. 124-134, 2019. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2019.05.020.

OLIVEIRA, C. S.; PEREIRA, M. W. Characterization of lignocellulosic biomass by electron microscopy. *Micron*, v. 95, p. 47-57, 2017. DOI: 10.1016/j.micron.2016.11.009.



OLIVEIRA, R. H. *et al.* Advancements in pretreatment methods for lignocellulosic biomass using chemical and enzymatic processes. **Bioresource Technology**, v. 339, 125603, 2021. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125603.

REIS, M. T.; ALMEIDA, D. R. M. Chromatographic analysis on lignocellulosic biomass saccharification. **Journal of Chromatography B**, v. 1150, 122182, 2021. DOI: 10.1016/j.jchromb.2020.122182.

RODRIGUES, A. C.; SILVEIRA, J. L. Microbial biodegradation of lignocellulosic residues: A review. **Environmental Technology & Innovation**, v. 17, 100586, 2020. DOI: 10.1016/j.eti.2019.100586.

SANTIAGO, L. R. *et al.* FTIR assessment of lignocellulosic biomass degradation by fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 169, 105262, 2022. DOI: 10.1016/j.ibiod.2021.105262.

SANTOS, F. A. *et al.* Overview of lignocellulosic biomass resources and their potential applications. **Renewable Energy**, v. 152, p. 673-684, 2020. DOI: 10.1016/j.renene.2020.01.090.

SILVA, R. F. *et al.* Thermal analysis of lignocelulósica biomass: TG and DSC studies. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 135, p. 2491-2501, 2019. DOI: 10.1007/s10973-018-7679-7.

Michel Alves de Oliveira

Item de colaboração	Igual aos demais	Menor que os demais	Maior que os demais	Não participou deste item
Contextualização do trabalho	x			
Organização dos dados	x			
Análise formal dos dados	x			
Análise formal do texto	x			
Financiamento para desenvolvimento do trabalho	x			
Investigação e estudo	x			

EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



Metodologia	x			
Administração de cronograma	x			
Administração de recursos	x			
Gestão do projeto	x			
Validação do projeto	x			
Marketing	x			
Escrita do trabalho	x			
Participação em reuniões	x			
Revisão do trabalho	x			
Participação na construção do protótipo	x			