



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

THAMMYRIS PIRES DE SOUZA

**ISOLAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA XILANA DAS FOLHAS E
GALHOS DE *PROTIUM PUNCTICULATUM* E SUA APLICAÇÃO
COMO ANTIOXIDANTE**

RECIFE

2022

THAMMYRIS PIRES DE SOUZA

ISOLAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA XILANA DAS FOLHAS E GALHOS DE
PROTIUM PUNCTICULATUM E SUA APLICAÇÃO COMO ANTIOXIDANTE

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à
Disciplina de TCC2 como parte dos requisitos para
conclusão do Curso de Graduação em Farmácia do
Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal
de Pernambuco.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Alves de Lima

Co-orientador: Prof. Dr. Iranildo José da Cruz Filho

RECIFE

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Souza, Thammyris Pires de .

Isolamento e caracterização da xilana das folhas e galhos de *Protium puncticulatum* e sua aplicação como antioxidante / Thammyris Pires de Souza. - Recife, 2022.

52 : il., tab.

Orientador(a): Maria do Carmo Alves de Lima

Cooorientador(a): Iranildo José da Cruz Filho

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Farmácia - Bacharelado, 2022.

1. Radicais livres. 2. Antioxidantes. 3. Polissacarídeos. 4. Xilanas. I. Lima, Maria do Carmo Alves de . (Orientação). II. Cruz Filho, Iranildo José da. (Cooorientação). III. Título.

540 CDD (22.ed.)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
CURSO DE BACHARELADO EM FARMÁCIA



Aprovada em: 03/10/2022.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIA DO CARMO ALVES DE LIMA
Data: 04/10/2022 17:50:43-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Maria do Carmo Alves de Lima
(Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
gov.br ROSALI MARIA FERREIRA DA SILVA
Data: 03/10/2022 18:10:50-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Rosali Maria Ferreira da Silva
(Presidente e Examinadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
gov.br DIEGO SANTA CLARA MARQUES
Data: 04/10/2022 01:21:59-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Diego Santa Clara Marques
(Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Katharina Marques Diniz
(Suplente)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino, meu guia, socorro presente nas horas de angústia, quem me sustenta e me faz seguir. Aos meus pais Sônia Maria e Paulo José, pois sem a força e dedicação deles, eu não estaria nessa jornada. Aos irmãos Tarciane Pires, Tyago Pires e Laudiceia Amaral, obrigada por se dedicarem, me dando força e inspiração para seguir, ajudando em tudo que poderiam, nunca me deixando desanimar. E meu cunhado Jefferson Camilo, sempre me fazendo comemorar cada pequena conquista, vibrando por mim e se orgulhando.

Ao meu noivo Charles Henrique, agradeço por tudo que fez por mim durante os nossos 10 anos de parceria, sem você me mandando respirar, segurando a minha mão e acreditando que eu seria capaz de passar por cada perrengue, eu não teria conseguido, você foi fundamental para que eu conseguisse chegar onde estou hoje.

Foram vocês que sempre estiveram presentes e me sustentaram até o presente dia, nunca me deixando desistir, sempre me encorajando a voar, comemorando cada pequena vitória e mostrando o quanto são orgulhosos de mim. Vocês foram necessários para que eu chegasse até aqui, obrigada por me mostrarem um amor único.

Aos meus sobrinhos Isabella Amaral, Mayana Victória e Nicolas Lavir, afilhadas Diana Karla e Sophia Gabrielly, que sempre me deram amor, e me fizeram sorrir nos meus dias mais difíceis, com o encanto que são. Me tornando a tia/madrinha forte pra correr atrás dos sonhos. Tenho sorte em ter vocês para colorir meus dias.

A minha avó Hisbela Maria, tias Silvia Aguiar e Nilda Maria (in memorian), por sempre acreditarem em mim e me abençoarem nesse caminho, emanando luz e amor de onde estão, vocês foram fundamentais para meu crescimento pessoal e na formação da pessoa que sou hoje, obrigada por me amarem a todo o momento.

Agradeço aos meus sogros Maria de Lourdes, Josimar Albuquerque, Flávio Henrique, Macilêa Maciel e Alexsandra Pessoa. Cunhadas Jennefer Henrique, Stefane Maria e seus maridos Gabriel Alves, Getúlio César e madrinha Juliana Aguiar. Vocês que se orgulharam de cada conquista minha, vibraram comigo minhas

alegrias e me ampararam em dias tristes, sempre acreditando no meu potencial, o que foi fundamental para me dar coragem para concluir mais essa etapa.

Aos meus amigos, em especial Andreza Comap que está em minha vida a tanto tempo, se alegrando por minhas conquistas e me sustentando nas fases tristes da vida. E compadres Conceição Neres e Daivson Lira que sempre me mostram a mulher incrível que sou e estão em tudo na minha vida, acreditando que consigo muito mais do que imagino. Também Mônica Lima e Adriel Silva que estão ao meu lado há tanto tempo, apoiando e acreditando em mim.

Assim como a família (Co)Valentes, que mesmo depois do fim do curso técnico no IFPE seguem comigo, presentes, me animando e amando, vocês são sempre incríveis. A Mylena Felix, minha amiga (Co)Valente que sempre me socorreu curso de farmácia, me deu a mão, me ajudou em disciplinas, me emprestou o ouvido pra eu reclamar. Também a Emanuelle de Oliveira e Beatriz Vasconcelos, vocês estiveram ao meu lado durante os 5 anos desse curso, sorrindo, chorando e ouvindo minhas reclamações, sem a ajuda e apoio de vocês eu não sei como teria chegado até o fim, obrigada por tudo.

E aos Doutores e Mestres do LqIT Paula Roberta, Irís Trindade, Keriolayne Santos, José Cleberson, Pedro Bonfim, Maria José Cristiane, Maria Fernanda e Cezar Amorim. Vocês me ensinaram, ajudaram e apoiaram, estiveram comigo em momentos em que precisei distrair, aliviando sempre meu coração e acreditando na minha capacidade.

Agradeço a Diego Marques, que me ajudou na realização dos testes e interpretação de resultados, ficando até tarde comigo para finalização das análises, e ao Professor Jorge Luíz Sonogo, que disponibilizou seu espectro e mesmo com meu horário limitado permitiu o uso.

Por fim e com profunda gratidão, agradeço a Maria do Carmo e Iranildo José, meus professores, pela orientação e dedicação durante toda jornada, me dando oportunidades, compartilhando suas experiências e conhecimentos, desde o segundo período do curso. Os seus conselhos e ensinamentos irão sempre me acompanhar na jornada da vida.

Obrigada por toda essa caminhada, vocês formaram quem sou hoje!

RESUMO

Os radicais livres são produzidos naturalmente no organismo, mas quando em desequilíbrio com os antioxidantes causam o estresse oxidativo, envolvido com várias doenças capazes de causar problemas no sistema imunológico e o aparecimento das doenças crônicas não transmissíveis. Assim, os antioxidantes são muito estudados por sua capacidade de controlar a produção dos radicais livres, manter a homeostase e diminuir o risco de desenvolvimento dessas doenças. Muito se discute sobre a busca por novas fontes com potencial ação antioxidante, que ultimamente tem sido relatada nas plantas, e mais recentemente em polissacarídeos. Por isso, o objetivo deste trabalho foi extrair e caracterizar duas xilanas de galhos e folhas da espécie *Protium puncticulatum* e avaliar a atividade antioxidante *in vitro* promovida, em comparação com padrões de ácido ascórbico e hidroxitolueno butilado, tendo como controle a xilana da madeira de bétula (comercial). Para tal, foi realizada a análise de composição química dos galhos e folhas, extração das xilanas, caracterização física e química, por espectroscopia de reflexão total atenuada no infravermelho com transformada de Fourier (ATR-FTIR), comportamento de degradação térmica e determinação de fenólicos totais presentes na estrutura. Por fim, os testes de atividade antioxidante *in vitro* de redução de radicais DPPH, sequestro do radical ABTS•+, poder redutor de íons ferro e do molibdênio. A xilana das folhas apresentou maior teor de hemicelulose (24,57%), os rendimentos das xilanas foram de 24,32% nos galhos e 19,57% nas folhas. A ATR-FTIR permitiu a determinação dos grupos funcionais das xilanas de galho e folha de *Protium puncticularum* e da xilana de madeira de bétula, observando bandas em 3700-3000 cm^{-1} de grupos OH, 2936-2920 cm^{-1} relacionadas ao estiramento simétrico do CH, 1620 cm^{-1} da flexão da ligação O-H, 1420-1310 cm^{-1} das vibrações da flexão de C-H, OH ou CH₂, entre 1175 a 100 cm^{-1} do estiramento das ligações C-O, C-C, C-O e CO-C e 897-890 cm^{-1} do estiramento e deformação das ligações relacionadas às hemiceluloses, de ligação β -glicosídicas. A análise e derivada termogravimétrica apresentaram três estágios de degradação térmica, 35 a 160 °C da perda de teor de umidade/água, 170 °C a 350°C decomposição térmica em moléculas menores e 350 °C a degradação. A atividade antioxidante *in vitro*, promoveu baixos resultados. Para o ensaio de redução de radicais DPPH, variaram em 10%. Captura de radicais ABTS o percentual foi entre 30-35,9%. Foram capazes de reduzir o complexo de fosfomolibdênio, com valores menores que 6%. E não foram capazes de reduzir íons ferro. Também apresentaram baixos teores de fenólicos em sua estrutura (<0.1 ng EAG/g xilana). A atividade antioxidante das xilanas está relacionada com a estrutura química, e polissacarídeos sulfatados, fosforilados e acetilados parecem apresentar melhores resultados. Assim, as xilanas obtidas nesse estudo apresentam-se aptas a passar por modificações estruturais como sulfatação, fosforilação e acetilação, tendo em vista que pode proporcionar resultados antioxidantes mais significantes, para a realização de futuros testes e aplicações.

Palavras-chave: radicais livres; antioxidantes; polissacarídeos; xilanas.

ABSTRACT

Free radicals are produced naturally in the body, but when out of balance with antioxidants, they cause oxidative stress, involved with various diseases capable of causing problems in the immune system and the appearance of chronic non-communicable diseases. Thus, antioxidants are widely studied for their ability to control the production of free radicals, maintain homeostasis and reduce the risk of developing these diseases. Much is discussed about the search for new sources with potential antioxidant action, which lately has been reported in plants, and more recently in polysaccharides. Therefore, the objective of this work was to extract and characterize two xylans from branches and leaves of the species *Protium puncticulatum* and to evaluate the promoted in vitro antioxidant activity, compared to standards of ascorbic acid and butylated hydroxytoluene, with commercial xylan as control. For this, the analysis of the chemical composition of the branches and leaves, extraction of xylans, physical and chemical characterization, by total reflection attenuated infrared spectroscopy with Fourier transform (ATR-FTIR), thermal degradation behavior and determination of phenolics were carried out. totals present in the structure. Finally, in vitro antioxidant activity tests of DPPH radical reduction, ABTS•+ radical scavenging, reducing power of iron and molybdenum ions. The xylan from the leaves showed the highest hemicellulose content (24.57%), the xylan yields were 24.32% in the branches and 19.57% in the leaves. The ATR-FTIR allowed the determination of the functional groups of the branch and leaf xylans of *Protium puncticularum* and the commercial xylan, observing bands at 3700-3000 cm⁻¹ of OH groups, 2936-2920 cm⁻¹ related to the symmetric stretching of CH, 1620 cm⁻¹ of the bending of the O-H bond, 1420-1310 cm⁻¹ of the vibrations of the bending of C-H, OH or CH₂, between 1175 to 100 cm⁻¹ of the stretching of the C-O, C-C, C-O and CO-C bonds and 897– 890 cm⁻¹ of the stretching and deformation of the bonds related to hemicelluloses, of β-glycosidic bonds. The thermogravimetric analysis and derivative showed three stages of thermal degradation, 35 to 160 °C for the loss of moisture/water content, 170 °C to 350 °C for thermal decomposition into smaller molecules and 350 °C for degradation. The in vitro antioxidant activity promoted low results. For the DPPH radical reduction assay, they varied by 10%. ABTS radical capture percentage was between 30-35.9%. They were able to reduce the phosphomolybdenum complex, with values lower than 6%. And they were not able to reduce iron ions. They also had low levels of phenolics in their structure (<0.1 ng EAG/g xylan). The antioxidant activity of xylans is related to the chemical structure, and sulfated, phosphorylated and acetylated polysaccharides seem to present better results. Thus, the xylans obtained in this study are able to undergo structural modifications such as sulfation, phosphorylation and acetylation, considering that it can provide more significant antioxidant results, making them promising for future tests and applications.

Keywords: free radicals; antioxidants; polysaccharides; xylans.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura molecular do BHT	18
Figura 2 - Estrutura molecular do ácido ascórbico	18
Figura 3 - Folha da espécie <i>Protium puncticulatum</i>	20
Figura 4 - Estrutura da biomassa vegetal e representação dos seus principais constituintes.	22
Figura 5 - Estrutura química da xilana com a evidenciação de diferentes monossacarídeos.	23
Figura 6 – Resultados da análise da composição para os galhos (A) e as folhas (B) de <i>Protium puncticulatum</i> respectivamente.....	35
Figura 7 – Espectros de ATR-FTIR para as xilanas dos galhos (A) e das folhas (B) de <i>Protium puncticulatum</i> e da xilana comercial (C) respectivamente	37
Figura 8 – Curvas de análise termogravimétrica (A) e derivada termogravimétrica (B) para as xilanas dos galhos e das folhas de <i>Protium puncticulatum</i> e da xilana comercial respectivamente.....	38
Figura 9 – Atividade antioxidante promovida pelas xilanas dos galhos e das folhas de <i>Protium puncticulatum</i> comparadas a xilana comercial e aos padrões ácido ascórbico e BHT por diferentes métodos <i>in vitro</i> DPPH (A), ABTS (B), redução do complexo fosfomolibdênio (C) e redução de íons ferro (D) respectivamente.	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	RADICAIS LIVRES E DOENÇAS ASSOCIADAS AO ESTRESSE OXIDATIVO	14
2.2	ANTIOXIDANTES	16
2.3	PLANTAS MEDICINAIS	19
2.4	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS PLANTAS.....	20
2.5	ESTRUTURA QUÍMICA DAS XILANAS.....	23
2.5.1	Xilanas como agentes antioxidantes	24
3	MATERIAL E MÉTODO	26
3.1	REAGENTES	26
3.2	PLANTA: GALHOS E FOLHAS DE <i>Protium puncticulatum</i>	26
3.3	ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GALHOS E DAS FOLHAS...27	
3.4	PROCESSO DE EXTRAÇÃO E OBTENÇÃO DAS XILANAS	27
3.5	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA	28
3.5.1	Análise por espectroscopia de reflexão total atenuada no infravermelho com transformada de Fourier (ATR-FTIR)	28
3.5.2	Comportamento de degradação térmica	29
3.5.3	Determinação de fenólicos totais presentes na estrutura das xilanas ...29	
3.6	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE <i>IN VITRO</i>	30
3.6.1	Redução de Radicais DPPH.....	30
3.6.2	Capacidade de Sequestro do Radical ABTS	31
3.6.3	Poder Redutor de íons ferro	32
3.6.4	Atividade Antioxidante Total: Método do Fosfomolibdênio	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35

4.1	ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS GALHOS E DAS FOLHAS DA <i>Protium puncticulatum</i>	35
4.2	RENDIMENTO DE OBTENÇÃO DAS XILANAS.....	36
4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	36
4.3.1	Análise por espectroscopia de reflexão total atenuada no infravermelho com transformada de Fouruer (ATR-FTIR)	37
4.3.2	Análises termogravimétrica (TGA) e termogravimétrica diferencial (DTG)	38
4.4	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE <i>IN VITRO</i>	39
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Os radicais livres são espécies químicas altamente reativa, tendo em vista seus elétrons desemparelhados, possuindo capacidade oxidante ou redutora. São produzidos de forma natural no organismo humano, estando envolvidos em vários processos metabólicos normais (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011; SHINDE; GANU, NAIK, 2012). Porém, quando ocorre um desequilíbrio entre a geração de radicais livres e a habilidade do organismo como antioxidante, que é capaz de causar a degradação desses radicais, ocasiona o que chamamos de estresse oxidativo (MELO-SILVEIR *et al.*, 2012).

O estresse oxidativo metabólico faz parte do processo patológico de muitas doenças incluídas como as principais causas de morte no mundo, podendo causar enfraquecimento do sistema imunológico e o aparecimento de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) (REYES-FERMÍN *et al.*, 2020; YAZHEN *et al.*, 2020). Tendo em vista que as DCNT são consideradas um dos maiores problemas de saúde (IBGE, 2020), o estudo de potenciais antioxidantes se faz muito importante, pois eles possuem a capacidade de atrasar ou inibir as taxas de oxidação (YAZHEN *et al.*, 2020), conseguindo obter a homeostase e diminuir o risco de desenvolvimento dessas doenças (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011; SHINDE; GANU, NAIK, 2012).

Os antioxidantes são moléculas com hidroxila em sua estrutura, que através de diversos mecanismos possuem a capacidade de controlar a produção de radicais livres no organismo (BREWER, 2011; YAZHEN *et al.*, 2020). O uso de antioxidantes em indústrias de alimentos, farmacêuticas e cosméticas, tem crescido. Como exemplos vê-se o uso do aditivo alimentar hidroxitolueno butilado (BHT) e do ácido ascórbico (vitamina C), sendo empregados em alimentos e formulações cosméticas e medicamentos (SILVA, L. *et al.*, 2017).

Nesse contexto, muito se discute sobre a busca por novas fontes com potencial ação antioxidante (GUIMARÃES, 2015). Pesquisas voltadas para o estudo de plantas medicinais estão sendo consideradas para a descoberta de novas potenciais drogas. Isso devido ao antigo uso de produtos naturais com atividade terapêutica na medicina popular (SALMERÓN-MANZANO *et al.*, 2020).

O Brasil é um país reconhecido por sua biodiversidade, tendo a região amazônica como a mais conhecida por possuir espécies medicinais, dentre elas,

está a Família Burseracea, que abrange aproximadamente 21 gêneros, incluindo o *Protium* com mais de 800 espécies, sendo uma delas *Protium puncticulatum*, conhecida como breu vermelho. Seu uso tem destaque em madeireiras, com estudos sobre atividade biológica escassos (ALMEIDA *et al.*, 2020). Porém, Iwakiri *et al.* (2016) e Santos H. (2018) relataram metabólitos secundários como principais responsáveis por atividades antiparasitárias e lignanas com potencial ação para fungos oportunistas de *Candida* e *Cryptococcus*, respectivamente.

Os principais componentes das plantas são celulose, polioses, lignina, extrativos e sais minerais (ZHAO *et al.*, 2019). E estudos recentes vêm relatando que fontes bioativas isoladas das plantas, como compostos fenólicos e metabólitos secundários (REYES-FERMÍN *et al.*, 2020; YAZHEN *et al.*, 2020), são capazes de promover ação antioxidante.

Mais recentemente, os polissacarídeos tem se destacado, devido a sua versatilidade estrutural e por promoverem diferentes atividades biológicas já relatadas na literatura (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2019). A hemicelulose, componente da parede celular das plantas, é um polímero amorfo composto por pentosanas e hexosanas, constituída principalmente por xilanas, que são um homopolissacarídeo ou heteropolissacarídeo de xilose (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012).

Mesmo seu potencial de aplicação não estando totalmente desenvolvido, devido à diversidade estrutural, e sua aplicação industrial ser limitada, há estudos relatando atividades biológicas, incluindo antioxidante (MATTOS, 2017; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; HROMÁDKOVÁ *et al.*, 2013). A atividade antioxidante dos polissacarídeos está relacionada aos grupos hidroxilas, que podem ser doadores ou aceptores de hidrogênio (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2019).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Extrair e estudar a estrutura química de duas xilanas de galhos e folhas da espécie *Protium puncticulatum* e avaliar sua atividade antioxidante *in vitro*.

1.1.1 Específicos

- Análise da composição química das folhas e galhos;
- Extração das xilanas;
- Caracterização físico-química das estruturas;
- Investigação da atividade antioxidante.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RADICAIS LIVRES E DOENÇAS ASSOCIADAS AO ESTRESSE OXIDATIVO

Estresse oxidativo é um desequilíbrio que ocorre entre a produção dos radicais livres e a competência do organismo de gerar a defesa antioxidante, havendo radicais livres em grande quantidade e diminuição ou deficiência de antioxidantes no organismo (EBRINGEROVÁ *et al.*, 2008; BOONCHUAY *et al.*, 2021).

Os radicais livres (RL) são espécies químicas reativas, ou seja, todo átomo ou molécula que tenha elétrons desemparelhados em sua órbita externa, isso o torna altamente reativo, proporcionando a capacidade de reagir com qualquer composto próximo dessa órbita, passando a ter função oxidante ou redutora (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011; SHINDE; GANU, NAIK, 2012). Assim, os RL podem receber outro elétron solitário e são reduzidos, ou doam e são oxidados, resultando ou provocando reações de óxido-redução (SHINDE; GANU, NAIK, 2012).

São instáveis, reativos e com vida média muito curta. Seu elétron pode se encontrar em átomos de Nitrogênio, denominado de Espécie Reativa de Nitrogênio (ERN) ou em átomos de oxigênio, denominado de Espécie Reativa de Oxigênio (ERO) (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011; SHINDE; GANU, NAIK, 2012). As EROs mais comuns incluem Ânion Superóxido (O_2^-), Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2), Radicais Peroxil (ROO) e Radicais Hidroxil ($OH^\cdot$). E as ERNs mais comuns são o Óxido Nítrico (NO) e Ânion Peroxinitrito ($ONOO^-$) (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011).

Esses átomos são produzidos naturalmente e a todo o momento no organismo humano (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011; SHINDE; GANU, NAIK, 2012), essa produção ocorre em diferentes situações, como no metabolismo mitocondrial, via de ácido úrico, peroxissomos, inflamação, em fagócitos, no exercício físico, além da influência de fatores externos nos níveis de radicais presentes no organismo (VELLOSA *et al.*, 2021). Eles estão envolvidos na produção de ATP, regulação do crescimento celular, fagocitose, sinalização celular, síntese de substâncias biológicas e outros mecanismos endógenos (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012).

Sendo assim, observa-se que essas espécies quando balanceadas com os mecanismos de defesa antioxidantes, possuem funções relevantes para o organismo (SHINDE; GANU, NAIK, 2012). Porém, quando há uma produção exagerada de EROS, acarreta em um desequilíbrio que gera o chamado estresse oxidativo (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012). Esse processo conduz à oxidação de biomoléculas e perda de funções biológicas, bem como, desequilíbrio homeostático, com geração de danos estruturais em células e tecidos, levando a alterações funcionais ou até destruição completa das células, desencadeando diversas doenças (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2019; LIAN *et al.*, 2020).

A permanência desse desequilíbrio pode causar danos crônicos, ocasionando o que chamamos de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011; SHINDE; GANU, NAIK, 2012). Segundo o IBGE, no Brasil, pelo menos uma doença crônica afetou cerca de 52% da população adulta do país, por isso, é considerada um dos maiores problemas de saúde pública, levando a ocorrência de mortes e perda da qualidade de vida (IBGE, 2020).

As DCNTs com maior incidência e prevalência estão associadas ao envelhecimento precoce, problemas pulmonares, cardiopatias, aterosclerose, danos no DNA com mutagênese e carcionogênese, processos inflamatórios, diabetes, artrites, processos degenerativos, Parkinson, acidente vascular cerebral, Alzheimer, esclerose múltipla e outras (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011; SHINDE; GANU, NAIK, 2012).

2.2 ANTIOXIDANTES

Como os radicais livres são altamente reativos, o organismo visa controlar a degradação causada por eles, por meio de dois sistemas antioxidantes. São eles o endógeno enzimático, que realiza a degradação de superóxido em água, e o exógeno não enzimático, que usa os compostos antioxidantes da dieta para atuar sobre as EROs. Mas quando ocorre o desequilíbrio entre a produção dos EROs e sua degradação, ocorre o estresse oxidativo, que influencia negativamente a qualidade de vida do indivíduo (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011; SHINDE; GANU, NAIK, 2012).

Assim é fundamental o estudo de antioxidantes (AO), tendo em vista que eles são os autores capazes de combater radicais livres e alcançar o equilíbrio desejado para obter a homeostase, diminuindo assim os riscos de desenvolvimento das doenças crônicas não transmissíveis (KUNWAR; PRIYADARSINI, 2011; SHINDE; GANU, NAIK, 2012).

Os antioxidantes podem ser definidos como uma família heterogênea de moléculas aromáticas, com ao menos uma hidroxila, que mesmo em baixas concentrações podem atrasar ou mesmo inibir as taxas de oxidação (YAZHEN *et al.*, 2020; OLIVEIRA, A. *et al.*, 2009). É a junção de vitaminas, minerais, pigmentos naturais, enzimas, em suma, um conjunto de substâncias, com a capacidade de controlar a produção de radicais livres no organismo, sendo capazes de reagir com eles, e assim prevenir ou reduzir o estresse oxidativo, protegendo as células, proteínas, lipídios, DNA, dentre outras, de seus efeitos (BREWER, 2011; YAZHEN *et al.*, 2020).

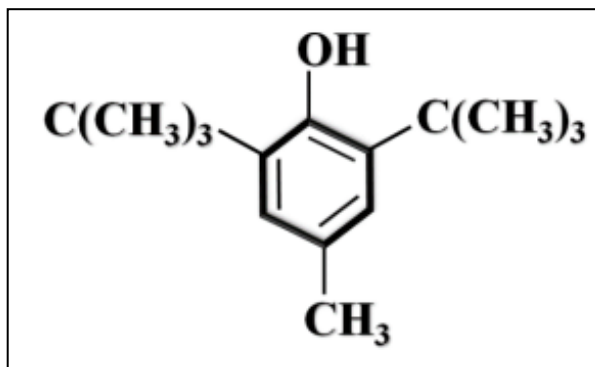
De modo geral, eles agem no organismo por diferentes mecanismos, e segundo Bianchi e Antunes (1999) e Oliveira, A. *et al.* (2009), estão relacionados a:

- Complexação de íons metálicos;
- Captura de radicais livres;
- Decomposição de peróxidos;
- Inibição de enzimas responsáveis pela geração de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio;
- Modulação de vias sinalizadoras celulares;
- Impedir que radicais livres sejam formados, através da inibição das reações em cadeia com ferro e cobre;
- Interceptar radicais livres gerados, impedindo seu ataque a lipídeos, aminoácidos, e DNA, evitando lesões e perda de integridade celular;
- Reparar a lesão causada pelos radicais livres, através da remoção de danos do DNA e reconstituição das membranas celulares;
- Adaptação do organismo a geração dos radicais livres, através de um aumento da síntese de enzimas antioxidantes.

Existem antioxidantes de origem natural, originados principalmente de plantas que possuem a substância bioativa, ou os sintéticos, como Butil-hidroxianisol (BSA) e Butil-hidrotolueno (BHT) usados nas indústrias de alimentos. Endógena, produzida pelo próprio organismo, podendo ser enzimático ou não (POKORNÝ, 2007), com destaque para superóxido dismutase, glutatona peroxidase e redutase, e exógena obtidas principalmente da dieta com destaque para vitaminas E e C, carotenóides e polifenóis (VELLOSA *et al.*, 2021).

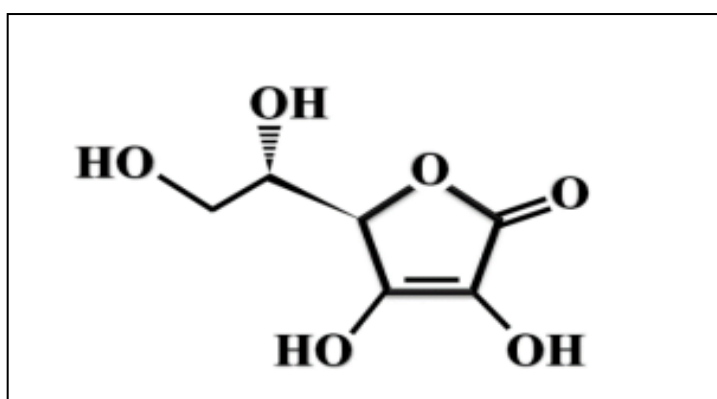
Como exemplos, o Butil-Hidroxitolueno (BHT), figura 1, é um antioxidante sintético, lipossolúvel, análogo da vitamina E, do grupo dos fenóis, envolvido principalmente na reação de conversão dos radicais peroxil em hidroperóxidos lipídicos, ele doa H⁺ e elétrons, e interrompem a reação em cadeia durante a peroxidação lipídica, por isso, é considerado um eficiente protetor de membrana. Sendo muito utilizado como aditivo alimentar, conservantes e empregado em formulações cosméticas principalmente que contém óleo em sua composição, pois ajuda a prevenir a rancidez do produto e medicamentos (SILVA, L. *et al.*, 2017).

Figura 1 - Estrutura molecular do BHT

Fonte: SILVA, L. *et al.*, 2017

Já o ácido ascórbico (vitamina C), figura 2, é um antioxidante não enzimático, hidrossolúvel, que atua como agente redutor doando elétrons e H^+ para as espécies reativas, tornando-as inofensivas. E devido a sua hidrossolubilidade, age em associação com a vitamina E para eliminar a peroxidação lipídica. É muito utilizado como conservante alimentício, por proporcionar maior tempo de vida útil para muitos alimentos, conferindo preservação de sabor e cor, além de seu uso como aditivo em carnes, e sendo ainda usada em cosméticos para proporcionar ações desejadas a pele (SILVA, L. *et al.*, 2017).

Figura 2 - Estrutura molecular do ácido ascórbico

Fonte: SILVA, L. *et al.*, 2017

O uso de AO nas indústrias de alimentos, farmacêuticas e cosméticas, tem sido amplamente estudada, e é perceptível que se tem buscado, cada vez mais, a descoberta por novos potenciais fármacos com ação antioxidante (GUIMARÃES, 2015). Os compostos naturais devido ao antigo uso relatado, e por possuírem

diversas propriedades comprovadas como anti-inflamatória, anti-bactericida, ação antioxidante, entre outras (MOURE *et al.*, 2001; BREWER, 2011; YAZHEN *et al.*, 2020), tem se tornado alvo de pesquisas em busca de evidências sobre sua eficácia.

2.3 PLANTAS MEDICINAIS

A pesquisa voltada para o estudo de plantas medicinais vem sendo reconhecida como um dos melhores caminhos para a descoberta de novas potenciais drogas (SALMERÓN-MANZANO *et al.*, 2020). O uso de produtos naturais com atividade terapêutica é antigo, e existem inúmeros exemplos de plantas usadas na medicina popular com os mais variados propósitos (ALMEIDA *et al.*, 2020).

O Brasil é conhecido por ser um país com muita diversidade de espécies vegetais, em que são consideradas cinco regiões em abundância de espécies com uso medicinais, com destaque para floresta amazônica (ALMEIDA *et al.*, 2020). A Amazônia é a maior reserva de produtos naturais que possuem efeitos fitoterápicos, a biodiversidade da sua flora tem estimulado a comunidade científica pelas possíveis aplicações medicinais dos produtos produzidos pelas plantas amazônicas e por ser uma provável rica e ilimitada fonte de novos produtos e compostos naturais (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Atualmente, as plantas medicinais são muito utilizadas em todo mundo, como recurso alternativo para o tratamento de enfermidades (SALMERÓN-MANZANO *et al.*, 2020; YAZHEN *et al.*, 2020; CAMPOS; ALBUQUERQUE, 2021). Basicamente as plantas tem habilidade de produzir uma variedade dos chamados metabolitos secundários (YAZHEN *et al.*, 2020), que são micromoléculas de estruturas complexas com baixo peso molecular, que conferem vantagens adaptativas às plantas, com objetivo principal de proteção a estresses abióticos e bióticos. Esses metabolitos variam em quantidade e qualidade a depender da espécie (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012). Além disso, possuem atividades biológicas e farmacêuticas bem significantes, dentre elas, anti-inflamatórias, antitumoral e antioxidante (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2019).

A floresta amazonica apresenta uma grande variedade de plantas medicinais, dentre as diferentes especies estudadas, tem-se as pertencentes a Família

Burseraceae, que abrange aproximadamente 21 gêneros, incluindo *Protium*, amplamente distribuída e encontrada na região amazônica, possuindo mais de 800 espécies, entre elas está a espécie *Protium puncticulatum* também conhecida como breu vermelho vista na Figura 3, de uso com destaque em madeiras (IWAKIRI *et al.*, 2016), e com estudos de atividade biológica escassas.

Figura 3 - Folha da espécie *Protium puncticulatum*



Fonte: IWAKIRI *et al.*, 2016

Porém, Iwakiri *et al.* (2016), realizando estudos com as espécies do gênero *Protium*, observaram que, os metabólitos secundários eram os principais responsáveis por atividades antiparasitárias. Os metabólitos secundários encontrados por estudos são principalmente triterpenos, lignanas, cumarinas e flavonoides. E Santos H. (2018) identificou lignanas com potencial ação para cepas de fungos oportunistas de *Candida* e *Cryptococcus*.

2.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS PLANTAS

As plantas são constituídas por celulose, polioses, lignina, extrativos e sais minerais, apresentando uma estrutura lamelar na qual se distribuem seus componentes (ZHAO *et al.*, 2019). A celulose e a hemicelulose predominam na região da parede celular e a lignina distribui-se por toda estrutura, apresentando máxima concentração na lamela média enquanto as substâncias pécticas são encontradas distribuídas tanto na parede celular como na lamela média das células

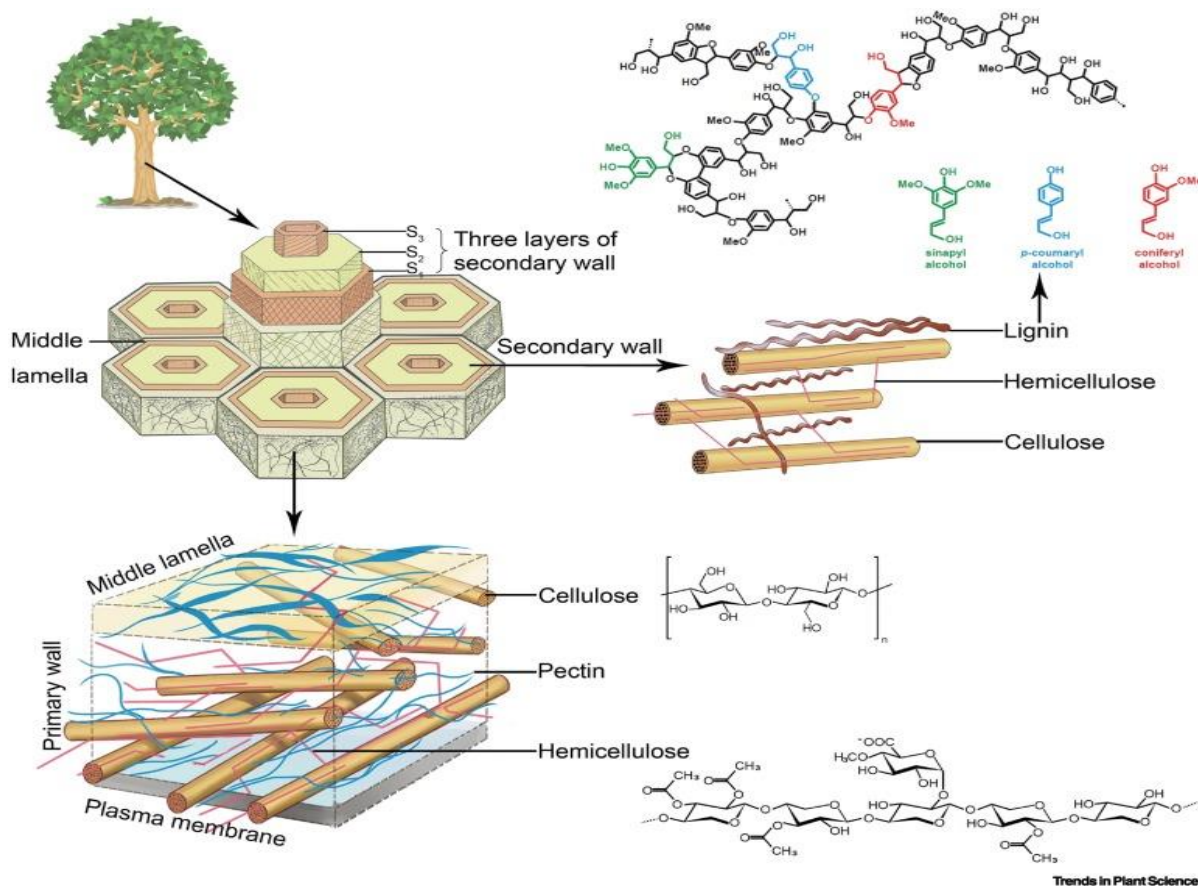
vegetais (MALHERBE; CLOETE, 2002; ZHAO *et al.*, 2019). A Figura 4 apresenta a localização e os principais componentes presentes nas biomassas vegetais.

A celulose é um polímero formado por longas cadeias lineares de resíduos de glicose unidos por ligações β -D-glicose. A hemicelulose é um polímero amorfo composto por pentosanas e hexosanas, constituído principalmente por xilose. Os açúcares obtidos a partir da hidrólise da celulose e da hemicelulose podem também gerar diversos produtos por via fermentativa, dentre estes, etanol, ácido láctico, ácido succínico, butanol, acetona, xilitol além de apresentarem diferentes atividades biológicas (KOBAYASHI; FUKUOKA, 2013; ZHAO *et al.*, 2019).

Substâncias pécticas são os polímeros em que o ácido galacturônico se encontra metilesterificado (pectinas), os polímeros em que este se encontra desesterificado (ácidos pécticos) e os polissacarídeos neutros (arabinanas, galactanas e arabinogalactanas) que, apesar de não possuírem uma cadeia de ácido galacturônico, encontram-se, geralmente, em associação com as pectinas (PELLOUX; RUSTÉRUCCI; MELLEROWICZ, 2007). Essas substâncias apresentam diversas aplicações: na indústria de alimentos, como geleificante, espessante e estabilizante. Na indústria farmacêutica, na incorporação de fármacos administrados na mucosa oral e como bioadesivos (ZHAO *et al.*, 2019).

A lignina é um polímero altamente estável formado, principalmente, por unidades fenilpropano. A molécula apresenta diversas aplicações na indústria de cimento e concreto, podem ser utilizadas como dispersantes em pastilhas de ração animal e micronutrientes agrícolas, além de atuar como adsorvente natural, adsorvendo metais tóxicos em águas e também diferentes atividades biológicas antitumoral, antioxidante, imunomoduladora dentre outras (MALHERBE; CLOETE, 2002; VINARDELL; MITJANS, 2017; ZHAO *et al.*, 2019). Os extrativos (moléculas bioativas) apresentam diferentes propriedades farmacológicas e os sais minerais podem ser utilizados como suplemento alimentares, estes se encontram distribuídos por toda planta (MALHERBE; CLOETE, 2002; KOBAYASHI; FUKUOKA, 2013).

Figura 4 - Estrutura da biomassa vegetal e representação dos seus principais constituintes.



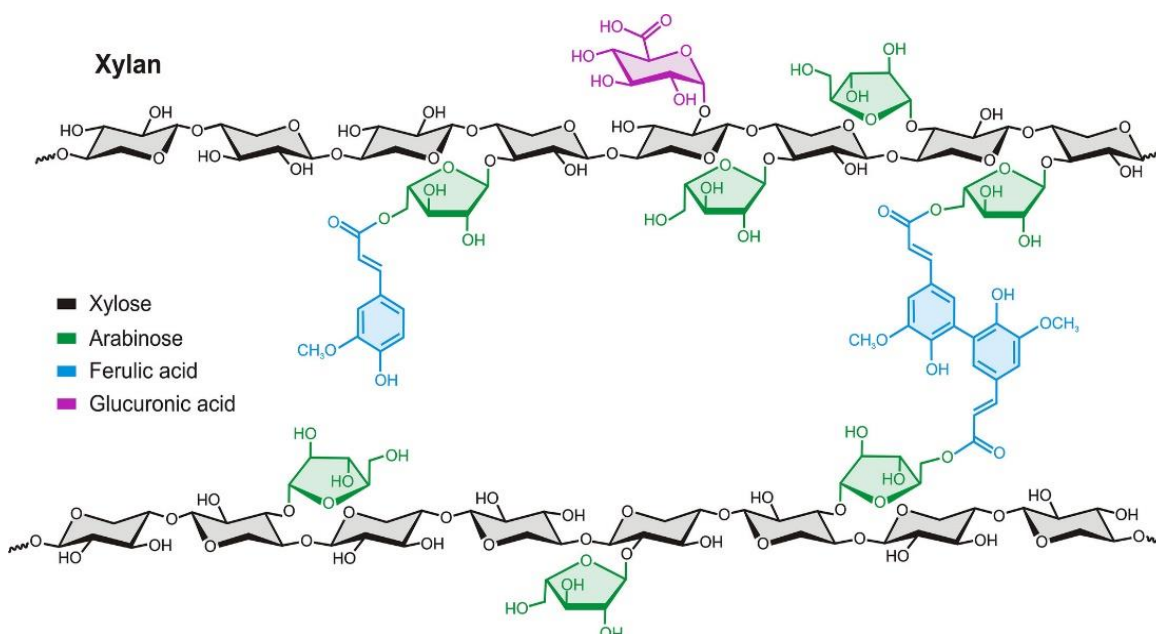
Fonte: Zhao *et al.*, 2019

O Brasil se encontra em uma posição privilegiada na utilização integral das biomassas, isso porque o país apresenta: grandes extensões de culturas agrícolas, vasta biodiversidade, água em abundância, intensa radiação solar e diversidade climática. Por ano, no país, são produzidos em média 350 milhões de toneladas de resíduos lignocelulósicos (ASSUNÇÃO *et al.*, 2010). Dentre estes constituintes os polissacarídeos tem se destacado devido a sua versatilidade estrutural e por promover diferentes atividades biológicas (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2019). Sendo assim, daremos um enfoque nas xilanas, um polissacarídeo.

2.5 ESTRUTURA QUÍMICA DAS XILANAS

A xilana é um homo ou heteropolissacarídeo de xilose, elas são os principais componentes da hemicelulose das paredes celulares ao lado da celulose (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012). Consiste em uma estrutura de xilose ligada a β -1,4 que pode ser substituída no 2'-OH ou 3'-OH com outras moléculas, como grupos acetil, grupos 4-O-metil glucuronil, arabinose, ácido galacturônico, ácido ferúlico dentre outros (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2019). A Figura 5 apresenta a estrutura química da xilana evidenciando os diferentes monossacarídeos.

Figura 5 - Estrutura química da xilana com a evidenciação de diferentes monossacarídeos.



Fonte: Oliveira, D. *et al.*, 2019

Devido à diversidade dependente da fonte de polissacarídeos do tipo xilana, ramificação e composição química variável, seu potencial de aplicação não foi totalmente desenvolvido comercialmente, em contraste com outros polissacarídeos naturais (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2019). Entretanto, diferentes atividades biológicas são reportadas na literatura, a Tabela 1 apresenta diferentes atividades promovidas por xilanas obtidas de diversas fontes, tornando-as um interessante objeto para estudos antioxidantes.

Tabela 1 - Atividades biológicas obtidas por diferentes xilanas encontradas na literatura.

Fonte de obtenção	Atividade biológica	Referências
Espigas de milho	Antioxidante Anticoagulante Antimicrobiano Antiproliferativa	MELO-SILVEIRA <i>et al.</i> (2012)
Farelo de trigo	Antioxidante	HROMÁDKOVÁ <i>et al.</i> (2013)
Espigas de milho	Antiproliferativa	MELO-SILVEIRA <i>et al.</i> (2019)
Palha de milho	Prebiótica	LIAN <i>et al.</i> (2020)
Espigas de milho	Imunomoduladora	SHI <i>et al.</i> (2014)
Xilana de madeira	Antiviral	STONE <i>et al.</i> (1998)

Fonte: Autora, 2021

Atualmente, a aplicação industrial de xilana isolada é limitada (MATTOS, 2017), ela vem sendo utilizada para fins de produção de materiais de embalagens de alimentos, produção de papel, furfural, no campo têxtil, como estabilizantes para alimentos (QUEIRÓS, 2015; OZANSKI, 2018; ALVES, 2021; MARCELINO, 2011). Um dos produtos gerados é o xilitol, um álcool com poder adoçante usado para produção de bebidas, geleias, sorvetes e outros (OZANSKI, 2018). Também introduzida no processo de panificação, pois as xilanas na farinha de trigo deixa a massa macia devido a sua capacidade de absorver água. (OZANSKI, 2018; MARCELINO, 2011). Além do uso em pesquisas, ensaios enzimáticos, bioquímicos e análises diagnósticas *in vitro*. Na indústria farmacêutica, micropartículas de xilana tem sido utilizada para produção de formas de liberação controlada (ALVES, 2021).

2.5.1 Xilanas como agentes antioxidantes

A atividade antioxidante tem sido estudada em carboidratos, existindo alguns estudos que pesquisam essa ação em polissacarídeos produzidos por fungos e algas. Carboidratos com efeitos antiproliferativos e antioxidantes são provavelmente bastantes úteis, tendo em vista sua solubilidade em água e baixa toxicidade (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2019; LIAN *et al.*, 2020). A atividade antioxidante dos polissacarídeos, moléculas hidratadas, está relacionada aos grupos hidroxilas, que podem ser doadores ou aceptores de hidrogênio, o que os tornam

moléculas com grande potencial antioxidante (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; MELO-SILVEIRA *et al.*, 2019).

Diferentes ensaios de atividade antioxidante *in vitro* têm sido realizados com as xilanas, a fim de avaliar o potencial destes polissacarídeos como agente antioxidante. A Tabela 2 sumariza os principais ensaios realizados com diferentes xilanas.

Tabela 2 - Atividade antioxidante *in vitro* realizada por diferentes ensaios, promovidas por xilanas obtidas por diferentes fontes.

Fonte de obtenção	Ensaio de atividade antioxidante	Referências
Espigas de milho	Capacidade antioxidante total, Eliminação do radical hidroxila, Eliminação do radical superóxido Quelante férrico Poder redutor	MELO-SILVEIRA <i>et al.</i> (2012)
Farelo de trigo	Potencial de redução DPPH ABTS	HROMÁDKOVÁ <i>et al.</i> (2013)
Casca de amêndoa	DPPH	EBRINGEROVÁ <i>et al.</i> (2008)
Espiga de milho	Potencial de redução DPPH ABTS	BOONCHUAY <i>et al.</i> (2021)
Sabugo de milho	Potencial de redução DPPH ABTS Capacidade de absorção do radical de oxigênio	ZHANG <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Autora, 2021.

Assim, diante dos resultados obtidos de estudos já realizados, a xilana extraída de folhas e galhos de *Protium puncticulatum*, pode ser considerada para realização de estudos iniciais relacionado à atividade antioxidante *in vitro*.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 REAGENTES

Ciclohexano (Merck, CAS: 110-82-7), etanol (Merck, CAS: 64-17-5), ácido sulfúrico (Merck, CAS: 7664-93-9), glicose (Merck, CAS: 50-99-7), xilose (Merck, CAS: 58-86-6), arabinose (Merck, CAS: 5328-37-0), furfural (Merck, CAS: 98-01-1), hidroximetilfurfural (Merck, CAS: 67-47-0), acetonitrila (Merck, CAS: 75-05-8), clorito de sódio (Sigma-Aldrich, CAS: 7758-19-2), ácido acético (Merck, CAS: 64-19-7), hidróxido de sódio (Merck, CAS: 1310-73-2), ácido bórico (Merck, CAS: 10043-35-3), ácido ascórbico (Merck, CAS: 50-81-7), 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Merck, CAS:1898-66-4), 2,2'- azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) (Merck, CAS: 30931-67-0), butylated hydroxytoluene (Merck, CAS: 128-37-0), Xilana de madeira de bétula (Merck, CAS: 9014-63-5), ferricianeto de potássio (Merck, CAS: 14459-95-1), ácido tricloroacético (Merck, CAS: 76-03-9) cloreto de ferro (Merck, CAS: 7705-08-0).

3.2 PLANTA: GALHOS E FOLHAS DE *PROTIUM PUNCTICULATUM*

Os galhos e as folhas utilizados neste trabalho foram coletados em junho de 2019 e gentilmente fornecidos pela empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda (PRECIOUS WOODS) <http://preciouswoods.com.br/> localizada no município de Itacoatiara no Estado do Amazonas, Brasil. Esta madeireira realiza operações de manejo florestal sustentável se destacando como referência no ramo de produtos madeireiros de florestas nativas no Brasil e no mundo. A espécie foi cadastrada no SisGen (Sistema Nacional do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado), nº A36E658.

Os galhos e as folhas foram secos a 60 °C por 48 horas em estufa (Tecnal, TE-393/1), em seguida foram moídos em moinho de facas (Fritsch – Pulverisette 14) e tamisadas numa granulação de 80 mesh. Por fim armazenadas a temperatura de 30 °C.

3.3 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GALHOS E DAS FOLHAS

A análise da composição das folhas e dos galhos (teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e cinzas) foi realizada utilizando a metodologia adaptada de Arruda *et al.* (2021) com poucas modificações. Inicialmente 15g do material vegetal moído (80 mesh) foi submetido a um aparelho Soxhlet, com solvente extrator ciclohexano/etanol na proporção de 1:1, por aproximadamente 24 horas, até tornar-se incolor. Em seguida o material foi seco a 105° C até peso constante. 2 g do material seco e livre de extrativos foi transferido para um béquer com 15 mL de ácido sulfúrico 72% (v/v). A mistura sofreu agitação contínua em banho termostático a 45 °C/7 min.

Interrompeu-se a reação com 275 mL de água destilada e o conteúdo transferido para um Erlenmeyer para ser autoclavado a 121 °C/30 min. Após resfriar, transferiu-se a suspensão para um balão de 500 mL. O volume foi completado com água destilada, homogeneizado e filtrado. O resíduo sólido (lignina insolúvel + cinzas), após várias lavagens, foi devidamente seco em estufa a 105 °C até peso constante.

Através da diferença entre a massa do resíduo e a massa das cinzas, determinou-se a percentagem de lignina insolúvel. Já para a determinação das cinzas, aqueceu-se 1 g do material em mufla a 800 °C por 4 horas. Após resfriamento, o material calcinado foi pesado. Analisou-se a fração líquida por cromatografia líquida de alta eficiência para determinação de glicose, xilose, arabinose, furfural e hidroximetilfurfural, para o cálculo da percentagem de celulose, hemicelulose e lignina solúvel.

3.4 PROCESSO DE EXTRAÇÃO E OBTENÇÃO DAS XILANAS

A obtenção das xilanas foi realizada conforme Sharma *et al.* (2020) e Khaire *et al.* (2021) com modificações. De forma isolada secaram-se as folhas e galhos a 80 °C por 24 horas para remover o teor de umidade. A deslignificação foi feita em frasco de 1 L pela adição de 500 mL de água destilada e 50 g do material moído.

Aproximadamente, 35 g de clorito de sódio (NaClO_2) foram adicionados e bem misturados, seguido pela adição de 2,5 mL de ácido acético glacial. O frasco foi então fechado e incubado a 60 °C em banho-maria por 3 horas. Após a incubação, removeu-se o hidrolisado por filtração, usando papel de filtro Whatman n° 1, sob água destilada até o material sólido sem lignificação ser neutralizado. O material deslignificado foi seco a 80 °C durante 24 horas.

Misturou-se junto ao material deslignificado (34,6 g) 346 mL de solução contendo 10% (p/v) de hidróxido de sódio (NaOH) e 1% (p/v) de ácido bórico (H_3BO_4) e agitou-se a 200 rpm num agitador magnético a 60 °C durante 3 horas. Filtrou-se a suspensão através de tecido de algodão e a xilana foi precipitada com 3 volumes de etanol gelado (95%, v / v) contendo 10% (v/v) de ácido acético e incubado a 4 °C por 12 horas. Removeu-se as impurezas por lavagem com etanol a 95% (v/v) e a suspensão foi centrifugada a 10.000 g durante 10 minutos para recuperar toda a xilana precipitada. A xilana obtida foi ressuspensa em 200 mL de água ultra pura e dialisada em 4 L de água ultrapura três vezes para remover vestígios dos reagentes.

Por fim, coletou-se a xilana extraída e liofilizada em temperatura inferior a -40°C e pressão inferior a 10^{-1} Torr (10 Pa), por tempo necessário até sua secagem, aproximadamente 48 h. O armazenamento se deu a 25 °C para experimentos posteriores. O rendimento total de xilana foi determinado considerando a quantidade de hemicelulose do material bruto. O rendimento de obtenção foi calculado de acordo com a equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = \left(\frac{\text{Massa de xilana obtida (g)}}{\text{Massa total de material seco (g)}} \right) * 100\% \quad (1)$$

3.5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

3.5.1 Análise por espectroscopia de reflexão total atenuada no infravermelho com transformada de Fourier (ATR-FTIR)

Os grupos funcionais presentes nas estruturas das xilanas foram determinados por ATR-FTIR, utilizando as metodologias de Khaire *et al.* (2021) e Hromadková *et al.* (2013) com modificações. Aproximadamente 100 mg de xilana foram prensados para formulação de um disco de 12 mm de diâmetro e 1 mm de espessura. Os espectros foram coletados em espectrofotômetro Perkin Elmer (FT-IR Spectrum Two – UATR Two) na região de 600 a 4000 cm^{-1} .

3.5.2 Comportamento de degradação térmica

As análises termogravimétrica (TGA) e termogravimétrica diferencial (DTG) foram realizadas segundo metodologia proposta por Sharma *et al.* (2020) e Khaire *et al.* (2021) com poucas modificações. O objetivo desse teste é avaliar as propriedades de degradação térmica, através da mudança de entalpia e perda de peso, usando um analisador térmico (Sharma *et al.*, 2020).

Os ensaios foram utilizando o equipamento da marca NETSZCH modelo STA 449, realizados em atmosfera de nitrogênio com uma vazão de 20 mL/min para evitar a degradação oxidativa térmica (taxa de aquecimento: 10°C/min). A faixa de temperatura foi de 30 a 600 °C. O peso das amostras (xilanas dos galhos, das folhas e comerciais) foram mantidos em 4,0 mg. Os experimentos foram realizados em triplicata.

3.5.3 Determinação de fenólicos totais presentes na estrutura das xilanas

O teor dos fenóis totais foi determinado pelo método descrito por Ebringerová *et al.* (2008) com poucas modificações, um método colorimétrico que utiliza o reagente de Folin-Ciocalteu. Esse reagente é uma mistura de ácido fosfomolibdico com fosfotungstístico, com coloração amarela. O molibdênio e tungstênio estão no estado de oxidação 6⁺ e quando em contato com certos agentes redutores, formam complexos de coloração azul. Através da variação na coloração é possível determinar a concentração de fenólicos na amostra pela comparação com uma curva padrão de ácido gálico, um composto fenólico antioxidante forte (LUGO, 2015).

Para o experimento, um total de 2,0 mL da solução de Folin (1:10 v/v) foi adicionada a 4,0 mL de xilana (1 mg/mL). Os ensaios foram incubados protegidos da luz por 3 min e adicionou-se 1,6 mL de Na_2CO_3 (7,5%). Então os sistemas foram novamente incubados e protegido da luz a 25 ° C por 120 min.

Após o tempo de incubação foram analisados em espectrofotômetro (Hewlett-Packard, modelo 8453) a 765 nm. Como branco, foi utilizado água destilada. Foi construída uma curva analítica de absorbância em função da concentração de ácido gálico (0 a 500 $\mu\text{g/mL}$) e apresentou a seguinte equação $Y = 0,0048x + 0,0016$, $R^2 = 0,9999$. Os fenóis foram indicados em equivalente de ácido gálico (ng GAE / g de xilana).

3.6 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO*

3.6.1 Redução de Radicais DPPH

Os ensaios de redução de radicais DPPH• (2,2- difenil-1-picril-hidrazil), foram realizados segundo Zhang *et al.* (2019) e Boonchuay *et al.* (2021) com modificações. Este método colorimétrico consiste de uma reação de oxirredução do radical DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) de coloração púrpura e absorbância a 515 nm, estando estável em solução alcoólica no que diz respeito à presença de antioxidantes doadores de hidrogênio. O DPPH, ao receber um elétron ou um radical hidrogênio, é reduzido e modifica sua coloração de violeta para violeta claro com indícios amarelados, ficando estável e consequentemente essa reação leva ao desaparecimento da absorção no comprimento de onda analisado, que pode ser avaliado pelo decréscimo da absorbância (Zhang *et al.*, 2019).

Para isso, foi preparada a solução de DPPH em uma concentração de a 60 $\mu\text{M.L}^{-1}$, onde o mesmo foi devidamente solubilizado em álcool etílico absoluto. Para realização do teste, as xilanas foram dissolvidas em água destilada, para obter concentrações variando entre 7,8 e 1000 $\mu\text{g/mL}$, em seguida, na ausência de luz, 100 μL de cada diluição das amostras foram colocadas em tubos de ensaio juntamente com 3,9 mL da solução de DPPH a 60 $\mu\text{M.L}^{-1}$. Após isso, os tubos foram

homogeneizados e incubados a 25°C por aproximadamente 30 minutos, na ausência de luz. O controle negativo utilizado foi 3,9 mL da solução de DPPH.

Ao final da reação, as absorvâncias foram determinadas em espectrofotômetro Hewlett-Packard® modelo 8453, em um comprimento de onda de 515 nm, onde o etanol foi utilizado como branco do equipamento. Todas as análises foram realizadas em triplicata e em ambiente escuro e os padrões utilizados neste experimento foram o ácido ascórbico e hidroxitolueno butilado (BHT), além da xilana da madeira de bétula (comercial).

A ação antioxidante foi expressa em % utilizando a equação 2 e a quantidade de antioxidante necessária para diminuir a concentração inicial de DPPH em 50%, chamada de IC₅₀, foi determinada a partir de uma curva linear, obtida graficamente, através da plotagem da concentração das amostras em relação a capacidade antioxidante. Onde, quanto maior o consumo de DPPH por uma amostra, menor será a sua IC₅₀ e maior a sua atividade antioxidante.

$$[DPPH](\%) = \left(\frac{ABS \text{ controle} - ABS \text{ amostra}}{ABS \text{ controle}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde: ABS controle = absorvância do controle; ABS amostra = absorvância da amostra.

3.6.2 Capacidade de Sequestro do Radical ABTS

O teste de capacidade de sequestro do radical ABTS•+ [2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)], foi realizado segundo Zhang *et al.* (2019) e Boonchuay *et al.* (2021). O método colorimétrico de sequestro de ABTS•+, fundamenta-se na capacidade dos compostos antioxidantes presentes na reação de capturar o radical livre ABTS, que possui coloração azul esverdeada, havendo assim a sua redução e descoloração do meio reacional, com consequente redução da absorvância.

Primeiramente, fez-se o preparo da solução de ABTS+, onde o ABTS foi dissolvido em água destilada para concentração de 7 mM e 88 µL de persulfato de potássio a 2,45 mM foi adicionada a ela, essa mistura foi encubada no escuro por 16

horas. Posteriormente foi diluída em água para obter uma absorbância de $0,70 \pm 0,5$ em 734 nm.

Para realização do teste, as xilanas foram solubilizadas em água destilada para concentrações de 7,8 a 1000 µg/mL. Em seguida, na ausência de luz, adicionou-se 30 µL de cada, a tubos de ensaio e 3 mL do radical ABTS, o sistema foi homogeneizado e incubado a 25°C, por 30 minutos em ambiente escuro. Como controle negativo, foi utilizado foi à solução de ABTS•+.

Ao final da reação, as absorbâncias foram determinadas em espectrofotômetro Hewlett-Packard® modelo 8453, em um comprimento de onda de 734 nm, onde a água destilada foi utilizada como branco do equipamento. Todas as análises foram realizadas em triplicata e em ambiente escuro e os padrões utilizados neste experimento foram o ácido ascórbico e hidroxitolueno butilado (BHT), além da xilana da madeira de bétula (comercial).

A porcentagem de sequestro de cada concentração foi expressa em %, utilizando a equação 3, determinando a sua ação antioxidante. E a quantidade de antioxidante necessária para diminuir a concentração inicial de ABTS em 50%, chamada de IC₅₀, foi determinada a partir de uma curva linear, obtida graficamente, por plotagem da concentração das amostras em relação a capacidade antioxidante. Onde, quanto maior o consumo de ABTS por uma amostra, menor será a sua IC₅₀ e maior a sua atividade antioxidante.

$$[ABTS](\%) = \left(\frac{ABS \text{ controle} - ABS \text{ amostra}}{ABS \text{ controle}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde: ABS controle = absorbância do controle; ABS amostra = absorbância da amostra.

3.6.3 Poder Redutor de íons ferro

Os ensaios de atividade antioxidante por meio de redução do ferro foram realizados segundo Melo-Silveira *et al.* (2012) com poucas modificações. Essa técnica é frequentemente usada como um indicador de atividade de doação de elétron, esse é um importante mecanismo de ação de antioxidantes fenólicos e pode

ser fortemente associada com outras propriedades antioxidantes (DORMAN *et al.*, 2003).

Esse método colorimétrico se baseia na capacidade da amostra reduzir Fe^{3+} a Fe^{2+} , monitorada pela mudança da coloração amarela da solução teste, para várias tonalidades de verde azulado, a depender do poder de redução dos compostos. A presença de redutores (antioxidantes) ocasiona a redução do complexo Fe^{3+} /ferrocianeto para a forma ferrosa (Fe^{2+}) de coloração azul.

Para isso, alíquotas de 2,5 mL de xilana, em diferentes concentrações (7,8-1000 $\mu\text{g/mL}$), foram adicionadas a tubos de ensaio, juntamente com 2,5 mL de tampão fosfato 0,2 M, pH 6,6 e 2,5 mL de ferricianeto de potássio a 1% (m/v). A mistura foi incubada em banho-maria a 45 °C por 20 min. Alíquotas de 2,5 mL de ácido tricloroacético a 10% (p/v) foram adicionadas ao tubo de ensaio, com agitação subsequente. Alíquotas de 2,5 mL da mistura foram transferidas para outro tubo de ensaio, no qual foram adicionados 2,5 mL de água destilada e 0,4 mL de FeCl_3 a 0,1% (p/v), com agitação subsequente.

Ao final da reação, as absorbâncias foram determinadas em espectrofotômetro Hewlett-Packard® modelo 8453, em um comprimento de onda de 700 nm. Onde o controle negativo foi uma amostra que passou por todas as etapas, porém com água destilada no lugar das amostras e o tampão fosfato foi utilizado como branco do equipamento. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os padrões utilizados neste experimento foram o ácido ascórbico e hidroxitolueno butilado (BHT), além da xilana da madeira de bétula (comercial).

A porcentagem de inibição do ferro de cada concentração foi expressa em %, utilizando a equação 4 e a concentração efetiva da amostra necessária na redução do Fe^{3+} a Fe^{2+} em 50%, chamada de IC_{50} foi calculada a partir de uma curva linear, obtida graficamente, por plotagem da concentração das amostras em relação ao correspondente efeito de inibição da atividade antioxidante.

$$RIF (\%) = \left(\frac{\text{ABS controle} - \text{ABS amostra}}{\text{ABS controle}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde: ABS controle = absorbância do controle; ABS amostra = absorbância da amostra.

3.6.4 Atividade Antioxidante Total: Método do Fosfomolibdênio

A avaliação da atividade antioxidante total pelo método do complexo fosfomolibdênio foi realizada segundo Melo-Silveira *et al.* (2012) com poucas modificações. Esse método colorimétrico se baseia redução de molibdênio (VI) a molibdênio (V) que possui coloração azul, e na presença de substâncias com capacidade antioxidante, há formação de um complexo verde entre o fosfato e o molibdênio V em pH ácido.

Primeiramente, fez-se o preparo da solução de fosfomolibdênio (28 mL de fosfato de sódio 0,1 mol/L, 12 mL de molibdato de amônio 0,03 mol/L, 20 mL de ácido sulfúrico 3 mol/L e volume final ajustado para 100 mL com água destilada). Para realização do teste, as xilanas foram solubilizadas em água para concentrações de 7,8 a 1000 µg/mL. Em seguida, na ausência de luz, adicionou-se 0,1 mL de cada solução em um tubo de ensaio e 1,0 mL da solução de fosfomolibdênio. Os tubos foram parcialmente tampados e incubados a 95°C por 90 minutos.

Ao final, as amostras foram resfriadas e as absorbâncias foram determinadas em espectrofotômetro Hewlett-Packard® modelo 8453, em um comprimento de onda de 695 nm. Onde o controle negativo foi uma amostra que passou por todas as etapas, porém com água destilada no lugar das amostras. E o branco do equipamento foi à solução de fosfomolibdênio. Todas as análises foram realizadas em triplicata e em ambiente escuro e os padrões utilizados neste experimento foram o ácido ascórbico e hidroxitolueno butilado (BHT), além da xilana da madeira de bétula (comercial).

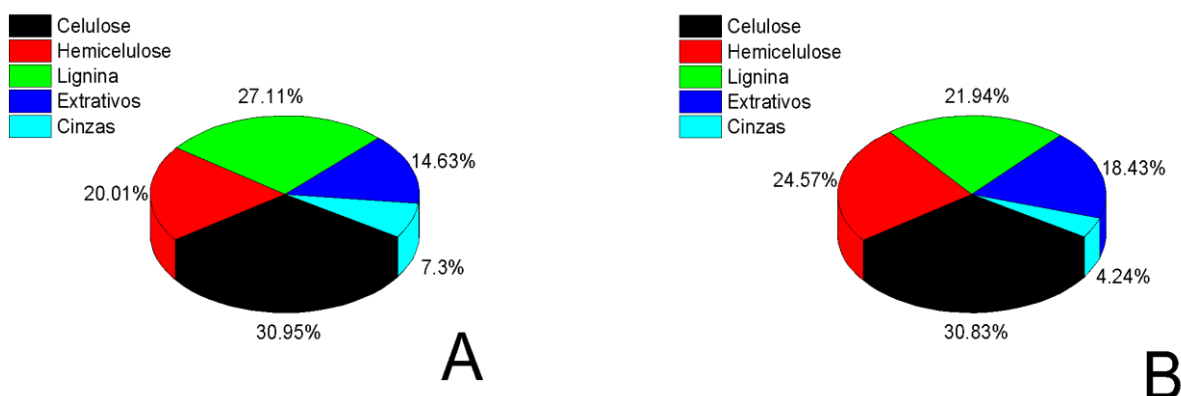
Foi construída uma curva analítica de absorbância em função da concentração de ácido ascórbico (7,8 a 1000 µg/mL) e apresentou a seguinte equação $Y = 0,0758x - 4,502$, $R^2 = 0,9959$. A atividade foi indicada como equivalente de ácido ascórbico (ng EAC / g de xilana). E a concentração efetiva da amostra necessária para reduzir Mo^{+6} a Mo^{+5} em 50% (IC_{50}), foi determinada a partir de uma curva linear, obtida graficamente, por plotagem da concentração das amostras em relação à capacidade antioxidante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS GALHOS E DAS FOLHAS DA *PROTIUM PUNCTICULATUM*

A análise da composição relaciona-se com a determinação dos teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e cinzas. A Figura 6 apresenta os resultados de composição em termos de porcentagem para os galhos e as folhas de *Protium puncticulatum*.

Figura 6 – Resultados da análise da composição para os galhos (A) e as folhas (B) de *Protium puncticulatum* respectivamente.



Fonte: Autora, 2022.

Os resultados apresentados na Figura 6 mostram que as composições químicas entre os galhos e as folhas são diferentes. Os galhos apresentaram maiores teores de celulose, lignina e cinzas quando comparado às folhas que apresentaram maiores teores de hemicelulose e extrativos. Segundo Sluiter *et al.*

(2010) e Ayeni *et al.* (2015), a composição química pode variar de acordo com a sazonalidade, condições climáticas, região de estudo, além de outros fatores que também podem influenciar. Isto justifica as pequenas variações que podem ser observadas nos gráficos, onde a região (galho e folha) influi nessa variação. Mesmo havendo uma escassez de trabalhos sobre a composição da espécie, Araújo (2019) reporta os valores da composição da madeira de *Protium puncticulatum*, onde obteve os teores de celulose 39%, lignina 27,88%, extrativos 7,28% e cinzas 0,27%.

Como já citado, a xilana é o principal componente das hemiceluloses, e se faz importante à determinação dos teores de cada substituinte, tendo em vista futuras aplicações industriais da xilana, devido à diferença de constituição entre as partes ser pequena, considera-se ambas as partes possíveis para realizar extração da xilana.

4.2 RENDIMENTO DE OBTENÇÃO DAS XILANAS

Os resultados de rendimento de obtenção das xilanas após liofilização foram de $24,32 \pm 0,1$ % para as xilanas dos galhos e $19,57 \pm 0,3$ % para as xilanas das folhas. Esses valores estão próximos aos obtidos por Sharma *et al.* (2020) que obtiveram rendimento de recuperação de 22,5% para a xilana de serragem de *Azadirachta indica* (neem). Sharma *et al.* (2020) que obtiveram rendimentos de 23,5% para a xilana da serragem de acácia. Marques *et al.* (2019) que otimizando o processo de extração alcalina de xilanas da polpa Kraft branqueada de *Eucalyptus globulus* obtiveram rendimentos que variaram de 43 a 97%. Khaire *et al.* (2021) que obtiveram rendimento de 25% para a xilana de copas de cana-de-açúcar. Figueiredo *et al.* (2017) que obtiveram rendimento de extração de 19,6% utilizando o método alcalino para a xilana do bagaço de cana-de-açúcar.

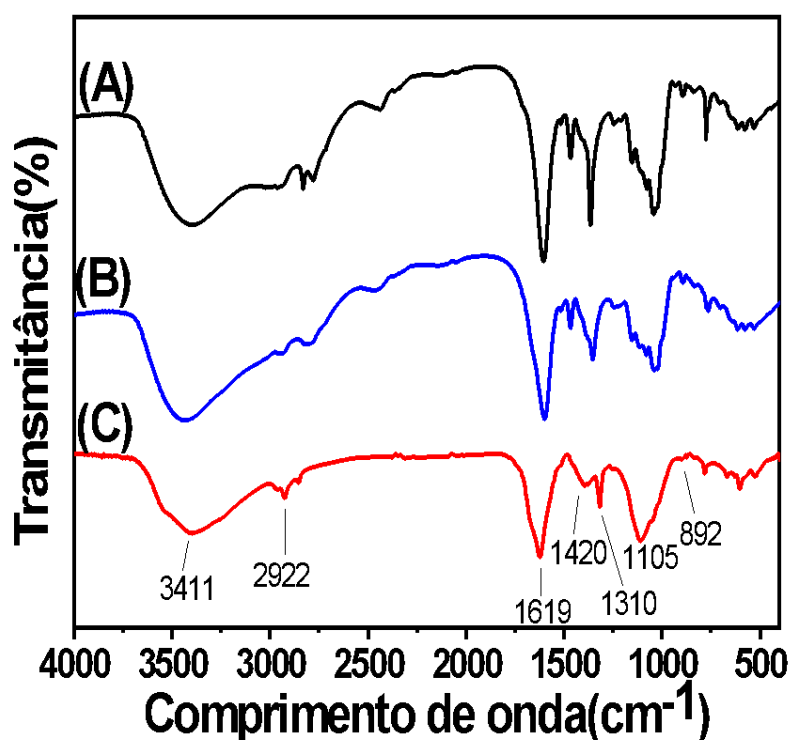
Da mesma forma, como a diferença entre os rendimentos foi pequena, pode-se considerar ambas as partes para realizar futuras extrações de xilana da *Protium puncticulatum*.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

4.3.1 Análise por espectroscopia de reflexão total atenuada no infravermelho com transformada de Fourier (ATR-FTIR)

A análise de ATR-FTIR é uma ferramenta importante na determinação dos grupos funcionais presentes na estrutura das xilanas (SHARMA *et al.*, 2020; SHARMA *et al.*, 2020; KHAIRE *et al.*, 2021). A Figura 7 apresenta os espectros de ATR-FTIR para as xilanas obtidas dos galhos e das folhas de *Protium puncticulatum* comparados a xilana da madeira de bétula (comercial). As bandas foram previamente identificadas por Marques *et al.* (2019), Sharma *et al.* (2020), Sharma *et al.* (2020) e Khaire *et al.* (2021) caracterizando diferentes xilanas.

Figura 7 – Espectros de ATR-FTIR para as xilanas dos galhos (A) e das folhas (B) de *Protium puncticulatum* e da xilana comercial (C) respectivamente



Fonte: Autora, 2022.

As bandas em $3700 - 3000 \text{ cm}^{-1}$, correspondem às vibrações dos grupos OH envolvidos nas ligações de hidrogênio (MARQUES *et al.*, 2019; SHARMA *et al.*, 2020; SHARMA *et al.*, 2020; KHAIRE *et al.*, 2021). O estiramento simétrico do CH na xilana foi observado pela banda na região de 2936 cm^{-1} a 2920 cm^{-1} (SHARMA *et*

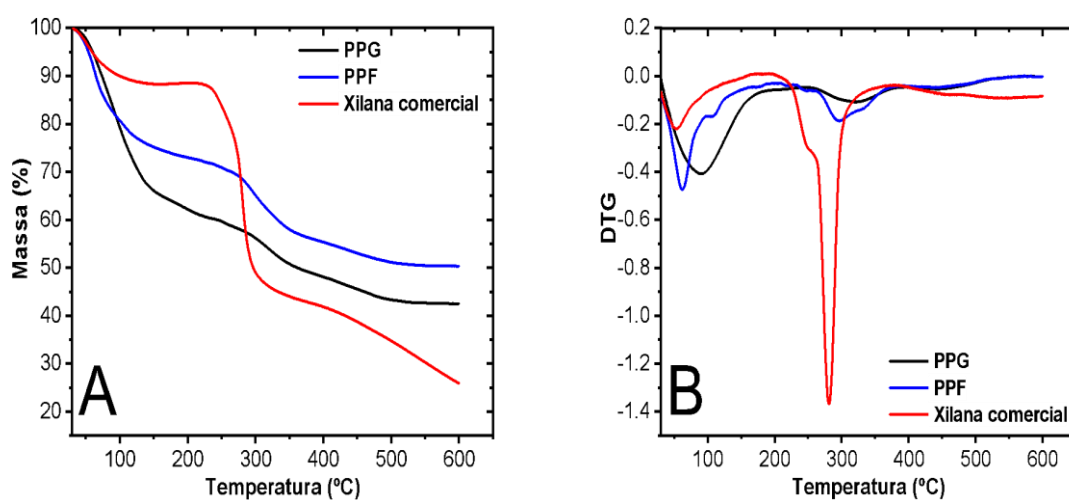
al., 2020; KHAIRE *et al.*, 2021). As bandas em 1420 e 1310 cm^{-1} foram associadas com vibrações de flexão C–H, OH ou CH₂ (SHARMA *et al.*, 2020; SHARAMA *et al.*, 2020; KHAIRE *et al.*, 2021). A banda em 1620 cm^{-1} relacionada à flexão da ligação O–H referente à absorção da molécula em água, tratando-se de xilanas solúveis em água (SHARMA *et al.*, 2020; SHARMA *et al.*, 2020). As bandas entre 1175 e 1000 cm^{-1} referem-se ao estiramento das ligações C–O, C–C, C–OH e CO–C. As bandas com absorção a 897 – 890 cm^{-1} , referentes ao estiramento e deformação das ligações C–O–C, C–C–O e C–CH no caso das hemiceluloses, as ligações β -glicosídicas entre as xilanopiranosos da cadeia principal (MARQUES *et al.*, 2019; SHARMA *et al.*, 2020; SHARMA *et al.*, 2020; KHAIRE *et al.*, 2021).

4.3.2 Análises termogravimétrica (TGA) e termogravimétrica diferencial (DTG)

A análise termogravimétrica (TGA) fornece informações sobre a perda de massa da matéria em porcentagem (%) proporcional ao aumento de temperatura, ou seja, variação de massa em relação à variação de temperatura (SHARMA *et al.*, 2020; KHAIRE *et al.*, 2021). Esse ensaio é muito utilizado para caracterização de materiais, permitindo conhecer os efeitos do aquecimento sobre o material analisado (SANTOS, D. *et al.*, 2021; QUARESMA, 2014).

As amostras de xilana foram sujeitas a um aumento gradual de temperatura (30°C-600°C), e suas massas de degradação foram determinadas. A figura 8 apresenta as curvas de perda de massa (TGA) e a taxa de perda de massa representada pela primeira derivada (DTG), obtidas para as xilanas deste estudo.

Figura 8 – Curvas de análise termogravimétrica (A) e derivada termogravimétrica (B) para as xilanas dos galhos e das folhas de *Protium puncticulatum* e da xilana comercial respectivamente.



Fonte: Autora, 2022.

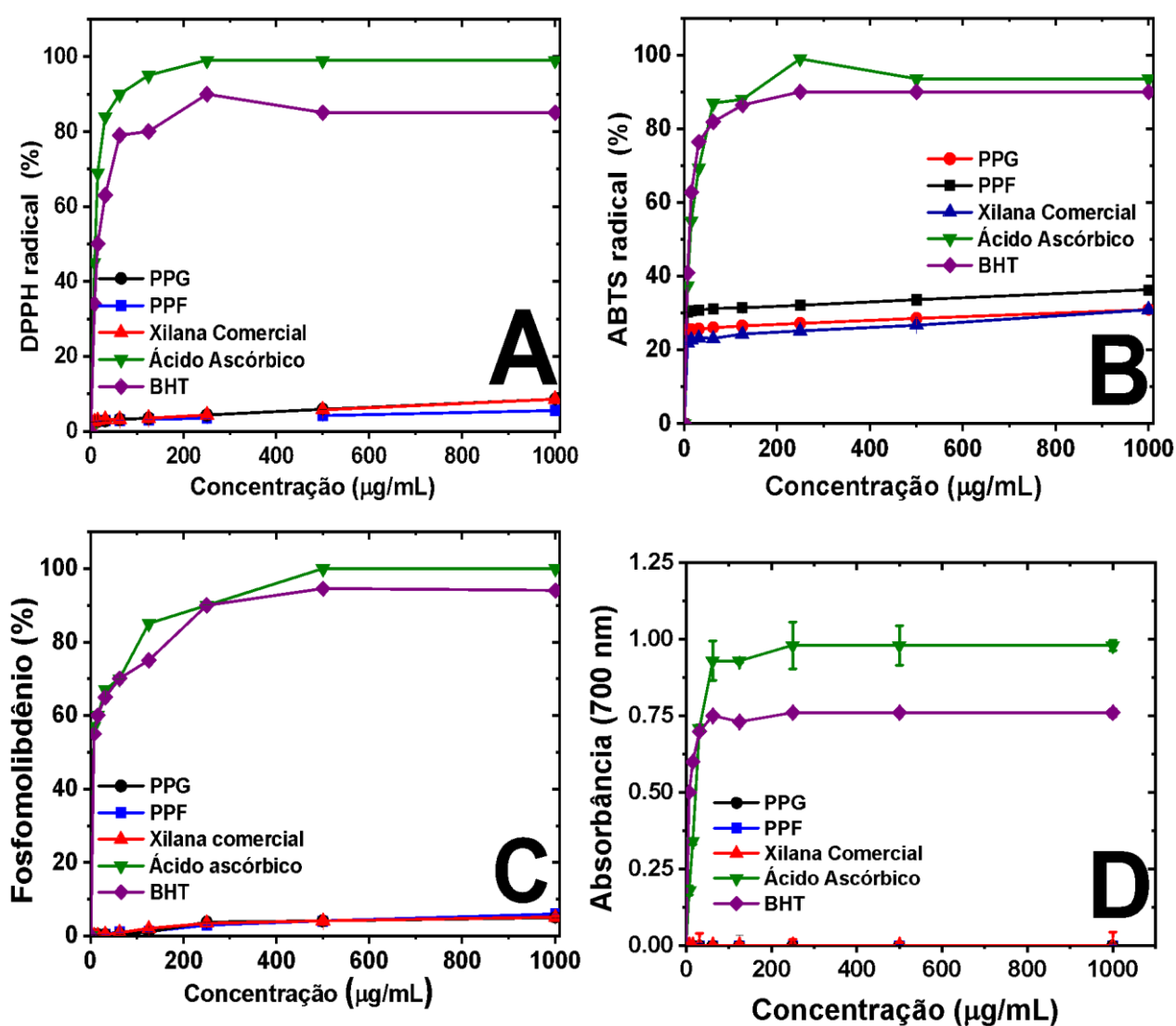
As curvas apresentadas na Figura 8 mostram que as xilanas obtidas e a da madeira de bétula (comercial) apresentaram três estágios de degradação térmica. A primeira etapa de decomposição ocorreu na faixa de 35 a 160 °C, e corresponde à perda de teor de umidade ou teor de água. O segundo estágio em 170 °C a 350°C ocorre a decomposição térmica da própria xilana em moléculas menores como CH₃COOH, CH₄, CO, CO₂ e HCOOH. Por fim, o terceiro estágio, em temperaturas maiores que 350 °C tem-se a degradação da xilana residual remanescente em cinzas. Resultados similares foram obtidos por Khaire *et al.* (2021), Jin *et al.* (2019) e Bahcegul *et al.* (2013) avaliando o comportamento térmico de diferentes xilanas. Além disso, o perfil DTG da xilana mostra picos que podem estar relacionados as cadeias laterais presentes (KHAIRE *et al.*, 2021).

4.4 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO*

As xilanas são polissacarídeos capazes de promover atividade antioxidante *in vitro* (MELO-SILVEIRA *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2019; BOONCHUAY *et al.*, 2021). Embora o mecanismo dessa ação ainda não esteja completamente estabelecido, sabe-se que os grupos hidroxila, presentes na estrutura podem apresentar-se como doadores de hidrogênio (ZHANG *et al.*, 2021). Além desses grupos, outras características como peso molecular e teores de compostos fenólicos (obtidos durante o processo de extração) podem contribuir para atividade (RENAULT *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2021).

A Figura 9 apresenta as curvas de atividade antioxidante *in vitro* em diferentes ensaios, promovida pelas xilanas obtidas dos galhos (PPG) e das folhas (PPF) de *Protium puncticulatum* comparada a xilana da madeira de bétula (comercial) e aos padrões ácido ascórbico e BHT em diferentes concentrações.

Figura 9 – Atividade antioxidante promovida pelas xilanas dos galhos e das folhas de *Protium puncticulatum* comparadas a xilana comercial e aos padrões ácido ascórbico e BHT por diferentes métodos *in vitro* DPPH (A), ABTS (B), redução do complexo fosfomolibdênio (C) e redução de íons ferro (D) respectivamente.



Fonte: Autora, 2022

As curvas obtidas na Figura 9 mostram que as xilanas dos galhos e das folhas de *Protium puncticulatum* e a xilana da madeira de bétula (comercial) promoveram

baixos resultados de atividade antioxidante *in vitro*. Para o ensaio de captura de radicais DPPH (Figura 9A) foram capazes de promover resultados de atividade que variaram entorno de 10%. Já no ensaio de captura de radicais ABTS (Figura 9B) apresentou os maiores resultados de atividade quando comparados aos demais, tendo percentual de captura variando de 30 a 35,9%. As xilanas foram capazes de reduzir o complexo de fosfomolibdênio (Figura 9C) apresentando valores menores que 6%. Por fim, não foram capazes de reduzir íons ferro (Figura 9D). Assim, devido às baixas porcentagens de atividade encontradas, não atingindo 50%, não foi possível obter valores de IC₅₀.

Além desses baixos valores de atividade antioxidante, as xilanas apresentaram baixos teores de constituintes fenólicos na sua estrutura. Isto é, resultados menores que 0.1 ng EAG/g xilana para as xilanas dos galhos e das folhas de *Protium puncticulatum* e para a xilana da madeira de bétula (comercial). Esses resultados indicam que atividade antioxidante foi promovida apenas pelas xilanas, além disso, indicaram alta pureza das estruturas.

A literatura apresenta diferentes resultados de atividade antioxidante *in vitro* promovida pelas xilanas. Resultados similares as xilanas deste estudo foram obtidos por Silva V. (2019) que obtendo xilanas do bagaço da cana de açúcar, verificou que estas não foram capazes de promover atividade antioxidante, isso pode estar relacionado à menor concentração de compostos fenólicos presentes na amostra. Já Bhanja *et al.* (2022) avaliando xilanas extraídas das folhas secas de *Piper betler*, verificaram uma capacidade moderada de eliminação de radical DPPH e ABTS, que aumentaram de forma dose dependente (50-800 µg/mL), foram obtidos valores de IC₅₀ de 148 µg/mL e 188 µg/mL, respectivamente.

Hromadkova (2013), avaliando frações de xilanas de farelo de trigo, evidenciou maiores valores de IC₅₀ para aquelas frações que apresentaram maiores teores de compostos fenólicos, evidenciando a importância desses na capacidade de eliminação de radicais de xilana.

Melo-Silveira *et al.* (2012) avaliando xilanas de sabugo de milho obtiveram valores de atividade de redução do complexo de fosfomolibdênio em concentrações de 48,5 mg de equivalente de ácido ascórbico/g de xilana (4,85%) valor próximo ao obtido pelas xilanas deste estudo. Para o ensaio de redução de ferro obtiveram concentração de 2,0 mg/mL (70%), em uma concentração muito maior do que

aquela avaliada neste estudo (1mg/mL). Qian *et al.* (2022) avaliando xilana obtida da palha de milho, realizou uma modificação estrutural, através da fosforilação e obtiveram aumento da capacidade redutora de 0,257 para 0,558. Além disso, obtiveram resultados de IC₅₀ (1,23 mg/mL) para os ensaios de captura de radicais DPPH em uma concentração maior do que a avaliada neste estudo (1mg/mL).

A atividade antioxidante das xilanas está relacionada diretamente com sua estrutura química, sendo assim, Liu *et al.* (2010), Costa *et al.* (2010) e Cao e Ikeda (2009), relataram que a presença de sulfato na estrutura do polissacarídeo está relacionada a maior capacidade redutora, tendo em vista que a presença do grupo sulfato diminui a energia da ligação glicosídica C-H e faz com que haja aumento da capacidade de doação de átomos hidrogênicos. Ou seja, introduzir grupo sulfato, faz aumentar a densidade da nuvem eletrônica de grupos hidroxilas e aumentam a atividade molecular de retirada de elétrons, sendo dependente do grau e da posição da sulfatação.

Wei *et al.* (2012), estudando polissacarídeo extraído de *Radiz hedysari*, demonstraram que polissacarídeos fosforilados apresentaram atividades antioxidantes *in vitro* superiores aqueles não fosforilados, indicando que essa modificação poderia aumentar a atividade antioxidante, devido a alterações na conformidade da cadeia do polissacarídeo analisado. Já Song *et al.* (2013), realizando estudos com polissacarídeos isolados de Cucurbita pepo, relataram que polissacarídeos acetilados exibiram maior atividade antioxidante do que aquele não modificado, parecendo funcionar como bons doadores de átomos de hidrogênio e bons conversores de radicais livres, Qi *et al.* (2006), avaliando polissacarídeos extraídos de *Ulva pertusa*, indicaram que a modificação química, nesse caso, a acetilação, também aumentou a atividade antioxidante do polissacarídeo em estudo.

Esses achados mostram que as xilanas avaliadas neste estudo se apresentam aptas para realização de tais modificações, tendo em vista a pureza apresentada, e essa alteração pode promover as xilanas, atividade antioxidante *in vitro* superiores as encontras até o momento.

5 CONCLUSÃO

A análise de composição de galhos e folhas permitiu a verificação de composições diferentes entre as partes, onde as folhas foram as que obtiveram um maior teor de hemicelulose comparadas aos galhos (24,57% e 20,01% respectivamente), porém o cálculo de rendimento demonstrou que a extração das xilanas de galhos apresentaram maiores rendimentos que as das folhas (24,32% e 19,57% respectivamente). Assim, é possível utilizar ambas as partes para futuras extrações de xilanas da *Protium puncticulatum*, tendo em vista que tais diferenças foram mínimas.

A extração das xilanas foi bem realizada, através de técnica simples, obtendo xilanas caracterizadas e puras, sendo a pureza comprovada pela técnica de ATR-FTIR e análise termogravimétrica, bem como pela ausência de grupos fenólicos nas suas estruturas.

Apesar das xilanas extraídas se mostrarem com baixa atividade antioxidante *in vitro*, deve-se levar em consideração o alto grau de pureza e baixo teor de constituintes fenólicos. Pois, como se sabe, fenólicos são grandes responsáveis por proporcionar essa atividade. Sendo assim, considera-se que as xilanas obtidas neste estudo, estão aptas a passarem por processos de modificação estrutural, como acetilação, metilação ou fosforilação. Processos esses, que segundo estudos, podem proporcionar a polissacarídeos, resultados de atividade antioxidante *in vitro* superiores. Tais modificações estruturais podem promover as xilanas extraídas das folhas e dos galhos da *Protium puncticulatum*, melhores atividades.

Sendo assim, tendo em vista a obtenção de xilanas puras e bem caracterizadas e que os processos de modificações podem ocasionar o aumento da potencia das xilanas como antioxidantes, é possível seguir com ensaios mais específicos, visando futuras aplicações.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. M. *et al.* Therapeutic potential of medicinal plants indicated by the Brazilian public health system in treating the collateral effects induced by chemotherapy, radiotherapy, and chemoradiotherapy: A systematic review. **Complementary therapies in medicine**, v. 49, p. 102293, mar. 2020. DOI: 10.1016/j.ctim.2019.102293. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32147034/>. Acesso em: 25 outubro 2021.
- ALVES, Vitoria Maria Oliveira. **Microparticulas de xilana para liberação controlada de mesalazina: produção e caracterização físico-química**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2021. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/23799/1/PDF%20-%20Vit%C3%B3ria%20Maria%20Oliveira%20Alves>. Acesso em: 30 março 2022.
- ARAÚJO, R. D. **Avaliação do potencial de espécies manejadas na Amazônia para produção de painéis “EGP” (Edge Glued Panels) não estrutural**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Florestais Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2019. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/4994#:~:text=Na%20avalia%C3%A7%C3%A3o%20geral%20das%20propriedades,em%20programas%20de%20manejo%20sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 07 março 2022.
- ARRUDA, M. D. M. *et al.* Characterization of a lignin from Crataeva tapia leaves and potential applications in medicinal and cosmetic formulations. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 180, p. 286-298, jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.077>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813021005948>. Acesso em: 01 novembro 2021.
- ASSUNÇÃO, F. C. R. *et al.* **Química Verde no Brasil: 2010-2030**. CGEE: Brasília-DF, 2010. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Livro_Quimica_Verde_9560.pdf. Acesso em: 27 outubro 2021.
- AYENI, A. O. *et al.* Compositional analysis of lignocellulosic materials: Evaluation of an economically viable method suitable for woody and non-woody biomass. **American Journal of Engineering Research**, v. 4, n. 4, p. 14-19, abr. 2015. Disponível em: http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/5715/1/AJER_Paper_2015%5B1%5D.pdf. Acesso em: 07 março 2022.

BAHCEGUL E. *et al.* Extrusion of xylans extracted from corn cobs into biodegradable polymeric materials. **Bioresource Technology**, v. 149. P. 582-585, dec. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.097>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413015290>. Acesso em: 21 agosto 2022.

BHANJA, S. K. *et al.* A xylan from the fresh leaves of *Piper betle*: Structural characterization and studies of bioactive properties. **Carbohydrate Polymers**, v.291, p. 119570, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119570>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861722004751>. Acesso em: 30 setembro 2022.

BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. RADICAIS LIVRES E OS PRINCIPAIS ANTIOXIDANTES DA DIETA. **Rev. Nutr.**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 123-130, ago. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-52731999000200001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/bzHBTqBfJr8jmJn3ZXx9nMs/>. Acesso em: 12 janeiro 2022.

BOONCHUAY, P. *et al.* Prebiotic properties, antioxidant activity, and acute oral toxicity of xylooligosaccharides derived enzymatically from corncob. **Food Bioscience**, v. 40, p. 100895, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100895>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429221000201>. Acesso em: 23 outubro 2021.

BREWER, M. S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 10, n. 4, p. 221-247, jun. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>. Acesso em: 27 outubro 2021.

CAMPOS, J. L. A.; ALBUQUERQUE, U. P. Indicators of conservation priorities for medicinal plants from seasonal dry forests of northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 106993, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106993>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20309328>. Acesso em: 01 novembro 2021.

CAO, Y.; IKEDA, I. Antioxidant activity and antitumor activity (in vitro) of xyloglucan selenious ester and surfated xyloglucan. *Int. J. Biol. Macromol*, v. 45, n. 3, p. 231–235, out 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.05.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813009001214>. Acesso em: 24 junho 2022.

COSTA, L.S. *et al.* Biological activities of sulfated polysaccharides from tropical seaweeds. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 64, n. 1, p. 21-28, jan. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2009.03.005>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19766438/>. Acesso em: 17 agosto 2022.

DORMAN, H. J. D. *et al.* Characterization of the antioxidant properties of de-odourised aqueous extracts from selected Lamiaceae herbs. **Food Chemistry**, v. 83, n. 2, p. 255-262, nov. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00088-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00088-8). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814603000888>. Acesso em: 30 novembro 2021.

EBRINGEROVÁ, A. *et al.* Chemical valorization of agricultural by-products: isolation and characterization of xylan-based antioxidants from almond shell biomass. **BioResources**, v. 3, n. 1, p. 60-70, 2008. Disponível em: https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_03_1_0060_Ebringerova_HKS_ValORIZATION. Acesso em: 27 outubro 2021.

FIGUEIREDO, F. C. *et al.* Chemical input reduction in the arabinoxylan and lignocellulose alkaline extraction and xylooligosaccharides production. **Bioresource Technology**, v. 228, p. 164-179, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.097>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416317758>. Acesso em: 20 agosto 2022.

GUIMARÃES, M. C. Avaliação da atividade antioxidante *in vitro* de Cagaita Madura. **Revista de Biotecnologia & Ciência**. V. 4, n. 1, jun. 2015. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/biociencia/article/view/3613>. Acesso em: 27 janeiro 2022.

HROMADKOVÁ, Z. *et al.* Structural features of two heteroxylan polysaccharide fractions from wheat bran with anti-complementary and antioxidant activities. **Carbohydrate polymers**, v. 93, n. 1, p. 22-30, mar. 2013. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.05.021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23465897/>. Acesso em: 25 outubro 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pelo menos uma doença crônica afetou 52% dos adultos em 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IWAKIRI, S. *et al.* Potential use of the wood of *Dinizia excelsa* Ducke and *Protium puncticulatum* JF Macbr for manufacture of EGP panels. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 709-717, set. 2016. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.17](https://doi.org/10.18671/scifor.v44n111.17). Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr111/cap17.pdf>. Acesso em: 27 outubro 2022.

JIN, X. *et al.* Promoting the material properties of xylan-type hemicelluloses from the extraction step. **Carbohydrate Polymers**, v. 215, p. 235-245, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.092>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861719303649>. Acesso em: 20 agosto 2022.

KHAIRE, K. C. *et al.* Extraction and characterization of xylan from sugarcane tops as a potential commercial substrate. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.

131, n. 6, p. 647-654, jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.01.009>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389172321000268>. Acesso em: 15 março 2022.

KOBAYASHI, H.; FUKUOKA, A. Synthesis and utilization of sugar compounds derived from lignocellulosic biomass. **Green Chemistry**, v. 15, n. 7, p. 1740-1763, abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1039/C3GC00060E>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/gc/c3gc00060e>. Acesso em: 27 outubro 2021.

KUNWAR, A.; PRIYADARSINI, K. I.. Free radicals, oxidative stress and importance of antioxidants in human health. **Journal of Medical & Allied Sciences**, v. 1, n. 2, p. 53-60, jul. 2011. Disponível em: <https://www.ejmanager.com/mnstemps/154/154-1449484220.pdf>. Acesso em: 27 outubro 2021.

LIAN, Z. *et al.* An integrated process to produce prebiotic xylooligosaccharides by autohydrolysis, nanofiltration and endo-xylanase from alkali-extracted xylan. **Bioresource Technology**, v. 314, p. 123685, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123685>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852420309573>. Acesso em: 30 outubro 2021.

LIU W. *et al.* Effects of sulfation on the physicochemical and functional properties of a water-insoluble polysaccharide preparation from ganoderma lucidum. **J. Agric. Food Chem.** v. 58, n. 6, p. 3336–3341, mar. 2010. Doi:

<https://doi.org/10.1021/jf903395g>. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20163182/>. Acesso em: 19 julho 2022.

LUGO, Yury Oliveira. **Estudo da atividade antioxidante, teor de fenóis totais e proantocianidinas do extrato etanólico e composição química do óleo essencial de *Diospyros hispida* A. DC.** 2015. Dissertação (Mestrado em Química) – Univerisadade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17453/1/EstudoAtividadeAntioxidante.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2022.

MALHERBE, S.; CLOETE, T. E. Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 1, n. 2, p. 105-114, jun. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020858910646>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020858910646>. Acesso em: 25 outubro 2021.

MARCELINO, Henrique Rodrigues. **Caracterização física e química de micropartículas à base de xilana.** Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/28496>. Acesso em: 07 novembro 2021.

MARQUES, Ana Isabel *et al.* Isolation of xylans from bleached Eucalyptus kraft pulp by antisolvents precipitation. **Cellulose**, v. 26, n. 3, p. 1977-1992, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-018->. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-018-1941-x>. Acesso em: 20 agosto 2022.

MATTOS, Nathalia Ribeiro. **Extração e carboxilação de xilanas da fibra de grão de milho**. 2017. Dissertação (Pós-graduação em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2017. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/18577/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 08 novembro 2021.

MELO-SILVEIRA, R. F. *et al.* *In vitro* antioxidant, anticoagulant and antimicrobial activity and in inhibition of cancer cell proliferation by xylan extracted from corn cobs. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 13, n. 1, p. 409-426, dez. 2012. DOI: 10.3390/ijms13010409. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3269695/>. Acesso em: 25 outubro 2021.

MELO-SILVEIRA, R. F. *et al.* Antiproliferative xylan from corn cobs induces apoptosis in tumor cells. **Carbohydrate polymers**, v. 210, p. 245-253, abr. 2019. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.01.073. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30732760/>. Acesso em: 25 outubro 2021.

MOURE, A. *et al.* Natural antioxidants from residual sources. **Food chemistry**, v. 72, n. 2, p. 145-171, fev. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00223-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00223-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814600002235>. Acesso em: 30 março 2022.

OLIVEIRA, Alane C. *et al.* Fontes vegetais naturais de antioxidantes. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, p. 689-702, mar. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/D7W5ZmntbhMyt5G9FNwvpLr/#:~:text=Ch%C3%A1%20verde%20e%20ch%C3%A1%20preto,uma%20variedade%20de%20esp%C3%A9cies%20reativas>. Acesso em: 12 janeiro 2022.

OLIVEIRA, Dyoni M. *et al.* Designing xylan for improved sustainable biofuel production. **Plant biotechnology journal**, v. 17, n. 12, p. 2225, maio 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.13150>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pbi.13150>. Acesso em: 01 novembro 2021.

OZANSKI, G. D. **Uso de resíduos agrícolas para obtenção de xilanas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2018. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_12/2019-06-17-02-36-11Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Giovani%20Deminski.pdf. Acesso em: 30 janeiro 2022.

PELLOUX, J.; RUSTÉRUCCI, C.; MELLEROWICZ, E. J. New insights into pectin methylesterase structure and function. **Trends in Plant Science**.v.12, n.6, p. 267-

277, jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.04.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138507000969>. Acesso em: 29 outubro 2021.

POKORNÝ, J. Are natural antioxidants better—and safer—than synthetic antioxidants?. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 109, n. 6, p. 629-642, jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.200700064>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ejlt.200700064>. Acesso em: 17 janeiro 2022.

QI H. *et al.* *In vitro* antioxidant activity of acetylated and benzoyleated derivatives of polysaccharide extracted from *Ulva pertusa* (Chlorophyta). **Bioorg Med Chem Lett**, v. 16, n. 8, p. 2441-2445 maio 2006. DOI: 10.1016/j.bmcl.2006.01.076. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960894X06001387?via%3Dihub>. Acesso em: 30 junho 2022.

QIAN, S. *et al.* Evaluation of a novel phosphorylated corn straw xylan for enhancement of thermal stability, crystallinity and functional activity. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 57, n. 1, p. 481-488, out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15428>. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ijfs.15428>. Acesso em: 20 junho 2022.

QUARESMA, Ana Cristina de Azevedo. **Isolamento e modificação de xilanas da pasta branca**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de Aveiro, Portugal, 2014. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/13274/1/Isolamento%20e%20modifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20xilanas%20da%20pasta%20branca.pdf>. Acesso em: 23 julho 2022.

QUEIRÓS, Lúcia da Conceição Cardoso. **Utilização de xilanas no fabrico de filmes/revestimentos para o setor alimentar**. 2015. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade da Beira Interior, Covilha, Portugal, 2015. Disponível em: https://ubiblorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/6102/1/4462_8592.pdf. Acesso em: 25 março 2022.

RENAULT, E. *et al.* Partial structural characterization and antioxidant activity of a phenolic–xylan from *Castanea sativa* hardwood. **International journal of biological macromolecules**, v. 70, p. 373-380, set. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.07.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014181301400470X>. Acesso em: 30 julho 2022.

REYES-FERMÍN, L. M. *et al.* Natural antioxidants' effects on endoplasmic reticulum stress-related diseases. **Food and Chemical Toxicology**, v. 138, p. 111229, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111229>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691520301174?via%3Dihub>. Acesso em: 23 março 2022.

SALMERÓN-MANZANO, E. *et al.* Worldwide research trends on medicinal plants. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 10, p. 3376, maio 2020. DOI: 10.3390/ijerph17103376. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/10/3376>. Acesso em: 20 outubro 2021.

SANTOS, D. *et al.* Pectin-like polysaccharide extracted from the leaves of *Conocarpus erectus* Linnaeus promotes antioxidante, immunomodulatory and prebiotic effects. **Bioactive Carbohydrates and Dierary Fibre**, v. 26, p. 100263, nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100263>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212619821000036?via%3Dihub>. Acesso em: 03 agosto 2022.

SANTOS, H. **Investigação química e busca de atividade antifúngica em resíduos madeireiros de *Protium puncticulatum* Macbr.** 2018. Dissertação (mestrado em Química) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/6651>. Acesso em: 07 agosto 2022.

SHARMA, K. *et al.* Acacia Xylan as a Substitute for Commercially Available Xylan and Its Application in the Production of Xylooligosaccharides. **ACS Omega**, v. 5, n. 23, p. 13729-13738, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00896>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.0c00896>. Acesso em: 15 março 2022.

SHARMA, K. *et al.* Extraction, characterization of xylan from *Azadirachta indica* (neem) sawdust and production of antiproliferative xylooligosaccharides. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 163, p. 1897-1907, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.086>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813020344482>. Acesso em: 20 outubro 2021.

SHI, L. *et al.* Structure elucidation and immunomodulatory activity *in vitro* of a xylan from roots of *Cudrania tricuspidata*. **Food chemistry**, v. 152, p. 291-296, jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.091>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814613017287?via%3Dihub>. Acesso em: 20 outubro 2021.

SHINDE, A.; GANU, J.; NAIK, P. Effect of free radicals & antioxidants on oxidative stress: a review. **Journal of Dental and Allied Sciences**, v. 1, n. 2, p. 63, jan. 2012. DOI: 10.2174/1871526518666180628124323. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/291409617_Effect_of_Free_Radicals_Antioxidants_on_Oxidative_Stress_A_Review. Acesso em: 25 outubro 2021.

SILVA, Verônica. T. F. **Utilização do bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado com sulfite alcalino para obtenção de xilo-oligossacarídeos por via enzimática.** 2019. Dissertação (Mestrado em ciências) – Universidade de São Paulo, Lorena, 2019. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97131/tde-05082021-162758/publico/BID19008_O.pdf. Acesso em: 30 junho 2022.

SILVA, Luiz F. M. C. *et al.* Mecanismos de ação dos principais antioxidantes utilizados na criopreservação espermática de garanhões, **Vet. e Zootec**, v. 24, n. 3, p. 418-434, set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.35172/rvz.2017.v24.277>. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/277/146>. Acesso em: 09 novembro 2021.

SLUITER, J. B. *et al.* Compositional analysis of lignocellulosic feedstocks. 1. Review and description of methods. **J. Agric. Food Chem**, v. 58, n. 16, p. 9043-9053, jul. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf1008023>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf1008023>. Acesso em: 07 março 2022.

SONG Y. *et al.* Effect of acetylation on antioxidant and cytoprotective activity of polysaccharides isolated from pumpkin (*Cucurbita pepo*, lady godiva). **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 1, p. 686-691, out. 2013. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.06.049. Epub 2013 Jun 29. PMID: 23987399. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861713006450?via%3Dihub>. Acesso em: 30 julho 2022.

STONE, A. L. *et al.* Structure-function relations of heparin-mimetic sulfated xylan oligosaccharides: inhibition of Human Immunodeficiency Virus-1 infectivity *in vitro*. **Glycoconjugate journal**, v. 15, n. 7, p. 697-712, jul. 1998. DOI: 10.1023/a:1006940632184. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006940632184>. Acesso em: 25 outubro 2021.

VELLOSA, J. C. R. *et al.* Estresse oxidativo: uma introdução ao estado da arte. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 10152-10168, jan. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-688. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/23823/19133>. Acesso em: 30 janeiro 2022.

VINARDELL, M.P.; MITJANS, M. Lignins and their derivatives with beneficial effects on human health. **International journal of molecular sciences**, v. 18, n. 6, p. 1219, jun. 2017. DOI: 10.3390/ijms18061219. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/18/6/1219>. Acesso em: 30 outubro 2021.

WEI, D. *et al.* Phosphorylated modification and *in vitro* antioxidant activity of Radix Hedysari polysaccharide. **Glycoconj J**, v. 29, p. 167–172, Abril 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10719-012-9377-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10719-012-9377-2>. Acesso em: 01 agosto 2022.

YAZHEN, S. *et al.* Anthocyanins: Novel antioxidants in diseases prevention and human health. In: **Flavonoids-A coloring model for cheering up life**. China: IntechOpen, p. 1-16, mar. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.89746. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339897610_Anthocyanins_Novel_Antioxidants_in_Diseases_Prevention_and_Human_Health. Acesso em: 06 novembro 2021.

ZHANG, L. *et al.* Spray-dried xylooligosaccharides carried by gum Arabic. **Industrial Crops and Products**, v. 135, p. 330-343, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.045>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666901930295X>. Acesso em: 25 outubro 2021.

ZHANG, Mingjun *et al.* Molecular modification, structural characterization, and biological activity of xylans. **Carbohydrate Polymers**, v. 269, p. 118248, out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118248>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861721006354>. Acesso em: 25 julho 2022.

ZHAO, Y. *et al.* Advances in imaging plant cell walls. **Trends in plant science**, v. 24, n. 9, p. 867-878, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.05.009>. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385\(19\)30135-9](https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385(19)30135-9). Acesso em: 07 novembro 2021.