



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ELIO FERREIRA DE MORAES JUNIOR

**APROVEITAMENTO DA TORTA DE DENDÊ (*Elaeis guineenses*)
PARA A PRODUÇÃO DO ACETATO DE CELULOSE**

BELÉM-PA
2022

ELIO FERREIRA DE MORAES JUNIOR

**APROVEITAMENTO DA TORTA DE DENDÊ (*Elaeis guineenses*)
PARA A PRODUÇÃO DO ACETATO DE CELULOSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – PPGEQ, do Instituto de Tecnologia – ITEC, da Universidade Federal do Pará – UFPA, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Maia de Jesus Chaves Neto

Co-orientador: Dr. Eng. Quím. Ossalin de Almeida.

BELÉM-PA
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da
Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M827a Moraes Junior, Elio Ferreira de.

Aproveitamento da torta de dendê (*Elaeis guineenses*) para a
produção do acetato de celulose / Elio Ferreira de Moraes Junior.
— 2022.

85 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Antonio Maia de Jesus Chaves Neto

Coorientador(a): Prof. Dr. Ossalin de Almeida
(Mestrado) - Universidade Federal do Pará,

Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química, Belém, 2022.

1. Acetilação. 2. Biopolímero. 3. Acetilacetato . 4.
Biotransformação. I. Título.

CDD 660.28

ELIO FERREIRA DE MORAES JUNIOR

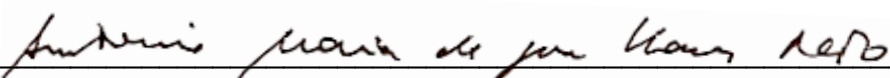
**APROVEITAMENTO DA TORTA DE DENDÊ (*Elaeis guineenses*) PARA A PRODUÇÃO DO
ACETATO DE CELULOSE**

Data da Apresentação: 17 de junho de 2022

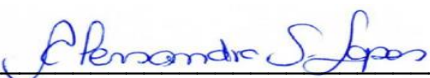
Conceito: Excelente

Defesa de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

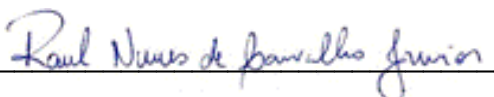
Banca Examinadora



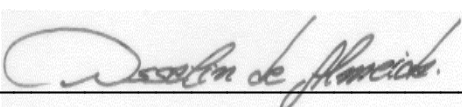
Prof. Dr. Antonio Maia de Jesus Chaves Neto
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química/ITEC/UFPA (Orientador)



Prof.ª Dr.ª Alessandra Santos Lopes
Faculdade de Engenharia de Alimentos/ITEC/UFPA (Membro)



Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química/ITEC/UFPA (Membro)



Dr. Eng. Quím. Ossalin de Almeida.
Faculdade de Química/ICEN/UFPA (Coorientador)



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA QUIMICA**

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 154/2022 - PPEQ (11.41.20)

Nº do Protocolo: 23073.039766/2022-40

Belém-PA, 19 de julho de 2022.

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA, NA ÁREA DE DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS - ENGENHARIA DE PROCESSOS ORGÂNICOS, REALIZADA EM 17 DE JUNHO DE 2022, TENDO INÍCIO ÀS 16:00 h, APRESENTADA PELO CANDIDATO ELIO FERREIRA DE MORAES JUNIOR DIANTE DA BANCA EXAMINADORA CONSTITUÍDA PELO PRESIDENTE: Prof. Dr. ANTÔNIO MAIA DE JESUS CHAVES NETO - ORIENTADOR; E PELOS MEMBROS: Dr. OSSALIN DE ALMEIDA - COORIENTADOR, Prof. Dr. RAUL NUNES DE CARVALHO JÚNIOR E Profa. Dra. ALESSANDRA SANTOS LOPES. A DISSERTAÇÃO INTITULADA "APROVEITAMENTO DA TORTA DE DENDÊ (Elaeis guineenses) PARA A PRODUÇÃO DO ACETATO DE CELULOSE" FOI EXPOSTA EM SESSÃO PÚBLICA NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA - PPGEQ/ITEC/UFPA, POR VIDEOCONFERÊNCIA VIA "GOOGLE MEET" PELO CANDIDATO DURANTE 45 MINUTOS. EM SEGUIDA O CANDIDATO FOI ARGUIDO ORALMENTE PELOS MEMBROS DA BANCA, DEMONSTRANDO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTO NO TEMA ABORDADO. A BANCA EXAMINADORA OPINOU DE FORMA FAVORÁVEL À APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO, SEM RESTRIÇÕES. NA FORMA REGULAMENTAR FOI LAVRADA A PRESENTE ATA, ASSINADA PELOS MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA E PELO CANDIDATO.

Belém, 17 de junho de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

PRESIDENTE: Prof. Dr. Antônio Maia de Jesus Chaves Neto (PPGEQ/ITEC/UFPA - Orientador)

MEMBROS:

Dr. Ossalin de Almeida (ICEN/UFPA - Coorientador)

Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior (PPGEQ/ITEC/UFPA)

Profa. Dra. Alessandra Santos Lopes (PPGCTA/ITEC/UFPA)

CANDIDATO: Elio Ferreira de Moraes Júnior

(Assinado digitalmente em 19/07/2022 13:49)

ALESSANDRA SANTOS LOPES
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
ITEC (11.41)
Matrícula: ###466#7

(Assinado digitalmente em 19/07/2022 13:34)

ANTONIO MAIA DE JESUS CHAVES NETO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
ICEN (11.34)
Matrícula: ###529#2

(Assinado digitalmente em 19/07/2022 13:36)

OSSALIN DE ALMEIDA
TECNICO EM QUIMICA
ICEN (11.34)
Matrícula: ###81#3

(Assinado digitalmente em 22/07/2022 20:57)

RAUL NUNES DE CARVALHO JUNIOR
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
ITEC (11.41)
Matrícula: ###496#7

(Assinado digitalmente em 19/07/2022 13:15)

ELIO FERREIRA DE MORAES JUNIOR
DISCENTE
Matrícula: 2019#####9

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpa.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **154**, ano: **2022**, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de emissão: **19/07/2022** e o código de verificação: **f48ad2ef6f**

DEDICATÓRIA

AOS MEUS PAIS, MINHA AVÓ, MEU IRMÃO E
MEU CO-ORIENTADOR QUE ACOMPANHARAM
O PERCURSO DESSA PÓS-GRADUAÇÃO E
DERAM FORÇAS PARA QUE EU CHEGASSE
ATÉ O FIM.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar a vida e forças para enfrentar e superar os desafios da vida.

À Universidade Federal do Pará, por me dar a oportunidade de realizar minha Pós-Graduação.

Aos meus pais, sobretudo meu pai Elio Ferreira, que me deram força para a conclusão desta etapa da minha vida.

Aos meus parentes, em especial, Eliane Lisboa, Nazaré Lisboa, Anderson Moraes e Fabio Vinicius pelo apoio emocional e financeiro durante a minha vida de aluno de pós.

Ao Professor Antonio Maia pela orientação, oportunidade e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho, meu eterno agradecimento

Ao Professor Ossalin de Almeida pela orientação e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Antonio Santos pela amizade e apoio durante essa jornada.

À minha melhor amiga Lorena Nascimento que sempre me ajudou emocionalmente e academicamente.

Aos meus amigos de laboratório, em especial, Renato Sena e Yasmin Silva pela inestimável ajuda e amizade que permitiram concluir está pós-graduação.

Aos bolsistas e funcionários do Laboratório de Química Ensino, em especial a Alan Sena, Raimundo, Salim e Tiago por fornecerem materiais e apoio para a realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Tecnologia Supercrítica pelo uso do equipamento para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Laboratório de Ressonância Magnética e o técnico Wandson Braamcamp pelas valiosas análises que foram essenciais na conclusão desse trabalho.

Ao LABNANOAMAZON pela contribuição nesse trabalho.

A CAPES pelo auxílio financeiro na concessão de bolsa.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para este trabalho.

EPÍGRAFE

“Os gênios são meteoros raros, nem sempre benéficos. E raramente serão frutos espontâneos da natureza: as mais das vezes os cria a paciência e a perseverança. É a assiduidade na educação metódica e sistemática de nós mesmos o que descobre as grandes vocações e amadurece os grandes escritores, os grandes artistas, os grandes observadores, os grandes inventores, os grandes homens de Estado. Não contesto a inspiração; advirto apenas em que é frequentemente uma revelação do trabalho.”

Rui Barbosa. Discurso no colégio Anchieta, Ed.

Cit., p 23 – 26

APROVEITAMENTO DA TORTA DE DENDÊ (*Elaeis guineenses*) PARA A PRODUÇÃO DO ACETATO DE CELULOSE

ELIO FERREIRA DE MORAES JUNIOR

Orientador: Prof. Dr. Antonio Maia de Jesus Chaves Neto

Co-orientador: Dr. Eng. Quím. Ossalin de Almeida

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos

Linha de Pesquisa: Engenharia de Processos Orgânicos

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo a produção de acetato de celulose (AC) a partir da torta de dendê *in natura* (TD) submetida a diferentes tratamentos químicos: branqueamento (TDB), alcalino (TDA) e alcalino seguido de branqueamento (TDAB). O AC foi obtido dos diferentes materiais por acetilação homogênea nas relações mássicas: 1:5, 1:10 e 1:15 (ácido acético), 1:15 (anidrido acético) e 1:0,1 (ácido sulfúrico). As reações foram realizadas a temperatura ambiente sob agitação constante (120 rpm, 24 h). A caracterização foi feita por meio das técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) ressonância magnética nuclear (^1H e ^{13}C -RMN). O grau de substituição (GS) foi determinado por titulação com solução de hidróxido de sódio $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$, sendo confirmados por FTIR e RMN de ^1H e ^{13}C com diferentes GS. Os AC sintetizados a partir da combinação dos pré-tratamentos apresentaram GS de 2,81 (TDAB5), 3,02 (TDAB10) e 3,07 (TDAB15), sendo, portanto, caracterizados como triacetato de celulose, correspondendo aos valores de rendimentos (m/m) de 50,45%, 65,5% e 97,21%. Mediante a análise dos resultados a TDAB15 foi a melhor condição para produção do acetato de celulose da torta de dendê.

Palavras-chave: Acetilação. Biopolímero. Acetilacetato. Biotransformação.

USE OF PALM KERNEL PIE (*Elaeis guineenses*) TO PRODUCTION CELLULOSE ACETATE

ELIO FERREIRA DE MORAES JUNIOR

Advisors: Prof. Dr. Antonio Maia de Jesus Chaves Neto

Dr. Eng. Quím. Ossalin de Almeida

Area of concentration: Process development

Research line: Organic Process Engineering

ABSTRACT

This work aimed to produce cellulose acetate (CA) from in natura palm kernel pie (TD) it was subjected to different chemical treatments: bleaching (TDB), alkaline (TDA) and alkaline followed by bleaching (TDAB). The CA was obtained from the different materials by homogeneous acetylation in the mass ratios: 1:5, 1:10 and 1:15 (acetic acid), 1:15 (acetic anhydride) and 1:0.1 (sulfuric acid). Reactions were carried out at room temperature under constant stirring (120 rpm, 24 h). The characterization was performed using scanning electron microscopy (SEM), infrared spectroscopy (FTIR) and nuclear magnetic resonance (^1H and ^{13}C -NMR) techniques. The degree of substitution (GS) was determined by titration with 0.25 mol.L^{-1} sodium hydroxide solution, being confirmed by FTIR and ^1H and ^{13}C NMR with different GS. The CA synthesized from the combination of pre-treatments presented DS of 2.81 (TDAB5), 3.02 (TDAB10) and 3.07 (TDAB15), being, therefore, it characterized as cellulose triacetate, corresponding to the yield values (m/m) of 50.45%, 65.5% and 97.21%. By analyzing the results, TDAB15 was the best condition for obtaining cellulose acetate from palm kernel cake.

Keywords: Acetylation. Biopolymer. Acetylacetate. Biotransformation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Material lignocelulósico presente nas fibras.....	23
Figura 2 - Estrutura química da celulose.....	23
Figura 3 - Estrutura química da hemicelulose.	24
Figura 4 - Álcoois precursores das ligninas.....	25
Figura 5 - Acetato de celulose.....	27
Figura 6 - Mecanismo da reação de acetilação da celulose.....	28
Figura 7 - Estrutura química dos materiais lignocelulosicos.....	33
Figura 8 - Fibra antes e depois do tratamento com explosão a vapor.....	34
Figura 9 - Reação de deslignificação proposta por Ramos <i>et al.</i> (2017).....	35
Figura 10 - Fluxograma simplificado para obtenção do acetato de celulose a partir da torta do dendê.	40
Figura 11 - Torta de dendê após o tratamento em diferentes condições: (1) <i>in natura</i> (TD),	51
Figura 12 - Micrografias da torta de dendê: (a) <i>in natura</i> (TD), (b) branqueada (TDB), (c) deslignificada (TDA) e (d) deslignificada e branqueada (TDAB). Ampliação de 500x (1 e 2).	52
Figura 13 - Espectro de FTIR da torta de dendê <i>in natura</i> (TD).....	56
Figura 14 - Espectros de FTIR do acetato de celulose obtido da TD <i>in natura</i>	58
Figura 15 - Espectros FTIR do acetato de celulose obtido da TDB.....	58
Figura 16 - Espectros de FTIR do acetato de celulose obtido da TDA.....	59
Figura 17 - Espectros de FTIR do acetato de celulose obtido TDAB.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Destinos do bagaço de dendê.....	21
Tabela 2 - Aplicações do acetato de celulose.	27
Tabela 3 - Resíduos agroindustriais utilizados na produção de acetato de celulose.	28
Tabela 4 - Relação solvente e grau de substituição (GS).	36
Tabela 5 – Condições experimentais para as reações de acetilação (T_{amb}).	45
Tabela 6- Análise imediata da torta de dendê <i>in natura</i>	48
Tabela 7 - Composição química da torta do dendê <i>in natura</i>	49
Tabela 8 - Rendimento e taxa de conversão do acetato de celulose a partir da torta do dendê.	53
Tabela 9 - Grau de substituição do acetato de celulose.....	55

NOMENCLATURA E SÍMBOLOS

AC	Acetato de Celulose
TD	Torta de Dendê
TDB	Torta de Dendê Branqueada
TDA	Torta de Dendê Deslignificada
TDAB	Torta de Dendê Branqueada e Deslignificada
GS	Grau de Substituição
FDA	Fibra em Detergente Ácido
FDN	Fibra em Detergente Neutro
GA	Grau de Acetilação
MEV	Micrografia Eletrônica de Varredura
FTIR	Fourier Transformation of Infrared Region (Infravermelho com transformada de Fourier)
RMN	Ressonância Magnética Nuclear

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	17
2.1. OBJETIVO GERAL	17
2.1.1. Objetivos específicos	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS	18
3.2. A INDÚSTRIA DO DENDÊ	19
3.2.1. A torta de Dendê	20
3.2.2. Produção Anual	21
3.3. BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA	22
3.3.1. Celulose, Hemicelulose e Holocelulose	23
3.3.2. Lignina	25
3.4. ACETATO DE CELULOSE	26
3.5. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	28
3.5.1. Análise Imediata	29
3.5.1.1. Umidade	29
3.5.1.2. Cinzas	29
3.5.1.3. Voláteis	30
3.5.1.4. Carbono Fixo	30
3.5.2. Matéria seca	31
3.5.3. Lipídios	31
3.5.4. Fibra em Detergente Ácido (FDA) e Fibra em Detergente Neutro (FDN)	31
3.5.5. Proteína	32
3.6. POLPAÇÃO ALCALINA	32
3.7. CARACTERIZAÇÃO DO ACETATO DE CELULOSE	36
3.7.1. Determinação do Grau de Substituição (GS)	36
3.7.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS)	36
3.7.3. Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	37
3.7.4. Ressonância magnética nuclear (RMN)	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1. MATERIAIS	40
4.1.1. Matéria-Prima	41

4.2. MÉTODOS	41
4.2.1. Tratamento da Torta do Dendê	41
4.2.2. Caracterização da Torta de Dendê	41
4.2.2.1. <i>Análise imediata</i>	41
4.2.2.2. <i>Lipídeos</i>	42
4.2.2.3. <i>Proteínas</i>	42
4.2.2.4. <i>Fibras em detergentes neutro (FDN) e ácido (FDA)</i>	42
4.2.2.5. <i>Lignina insolúvel e solúvel</i>	43
4.2.2.6. <i>Celulose e hemicelulose</i>	44
4.2.3. Extração da Celulose	45
4.2.4. Branqueamento	45
4.2.5. Síntese do Acetato de Celulose	45
4.2.6. Caracterização dos Materiais	46
4.2.6.1. <i>Determinação do grau de substituição</i>	46
4.2.6.2. <i>Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)</i>	47
4.2.6.3. <i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	47
4.2.6.4. <i>Ressonância magnética nuclear (RMN ¹H e ¹³C)</i>	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA TORTA DE DENDÊ	48
5.1.1. <i>Análise Imediata</i>	48
5.1.2. <i>Caracterização Química</i>	49
5.1.3. <i>Tratamento Alcalino e Branqueamento</i>	50
5.1.4. <i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	52
5.1.5. <i>Síntese do Acetato de Celulose</i>	53
5.1.6. <i>Grau de Substituição</i>	54
5.1.7. <i>Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)</i>	56
5.1.8. <i>RMN (¹H e ¹³C)</i>	60
6. CONCLUSÃO	62
APÊNDICE	74

1. INTRODUÇÃO

A agroindústria produz muitos resíduos, chegando a toneladas que são descartadas ou subutilizadas, desperdiçando com isso, um grande potencial econômico. Um dos mais promissores, e subutilizados, são os lignocelulósicos. Liu *et al.* (2018) caracteriza esse polímero como uma matéria-prima farta, biodegradável e ecologicamente correta. Ainda de acordo com Rangabhashiyam e Balasubramanian (2019) a utilização desse material tem relevância mundial, pelo fato de ter fartamente distribuído e também ser uma fonte renovável de energia, tendo as atividades agrícolas e rejeitos florestais como sua principal fonte.

O Estado do Pará é o maior produtor nacional de dendê, no ano de 2020, sua produção foi de 2.829.443 t de cachos de dendê, com área colhida de 188.542 ha que resultou em produtividade média de 15.010 kg.ha⁻¹, representando 98,66% da produção brasileira (IBGE, 2020). Anualmente, gera cerca de 2 milhões de toneladas de subprodutos, sendo que cerca de 25% representam a torta resultante da prensagem do mesocarpo do fruto. Cada tonelada de óleo produzida corresponde a, aproximadamente, uma tonelada de fibras do fruto, sendo esta usada para queima em fornos de caldeira para geração de energia ou compostagem (CONAB, 2020).

Liu *et al.* (2018) aponta várias aplicações a materiais lignocelulósicos como viscose rayon, nitrato de celulose, acetato de celulose, nano fibrilação de celulose e fermentação em etanol, dentre outras. Deles, o mais versátil é o acetato de celulose, que, de acordo com Wsoo *et al.* (2020), é quimicamente definido como um éster de celulose biocompatível, biodegradável, não tóxico, absorver pouca água e resistência térmica e que é aplicável na engenharia de tecidos, no combate a bactérias, distribuição de medicamentos, curativo de feridas e confecção de agulhas de seringas eletro afiadas que podem fornecer antioxidantes, drogas anti-inflamatórias não-esteroidais e vitaminas.

O AC é mais comumente preparado por tratamento de celulose com ácido acético e anidrido acético na presença de um catalisador (ácido sulfúrico). O produto é um composto totalmente acetilado conhecido como acetato de celulose primário, ou, mais apropriadamente, triacetato de celulose (GEORGE *et al.*, 2019). O acetato de celulose é um derivado de celulose esterificado amplamente conhecido por suas

propriedades e aplicações: é um polímero neutro, tem um baixo custo, é utilizado em processos de separação por membranas, suporte de matrizes para liberação controlada de fármacos e tem a capacidade de formação de filmes transparentes (*ibid.*, 2019).

Do ponto de vista ambiental, o aproveitamento da torta do dendê se apresenta como matéria-prima de baixo custo para a produção do acetato de celulose e/ou derivados, e por essa razão, é uma alternativa para reduzir os impactos deste resíduo no meio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a relação de ácido acético nas reações de acetilação para a produção do acetato de celulose a partir da torta de dendê.

2.1.1. Objetivos Específicos

- Realizar a análise imediata da torta de dendê *in natura*;
- Determinar a composição química da torta de dendê;
- Realizar a deslignificação e branqueamento da torta de dendê;
- Avaliar os rendimentos após os processos de deslignificação com hidróxido de sódio e branqueamento com clorito de sódio;
- Realizar reações de acetilação da torta de dendê obtidas no processo de deslignificação e branqueamento a partir das relações 1:5, 10 e 15 (m/m) de ácido acético e 1:15 (m/m) de anidrido acético e 1:0,1 (m/m) de ácido sulfúrico;
- Avaliar os rendimentos do acetato de celulose produzido nas diferentes condições;
- Caracterizar os materiais de partida e os produtos da síntese pelos químicos e físicos (MEV, FTIR e RMN de ^1H e ^{13}C);
- Determinar o grau de substituição dos produtos obtidos pelos métodos químicos e físicos (titrimetria ácido-base e RMN de ^1H e ^{13}C).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Resíduo agroindustrial é todo lixo produzido a partir de atividades agrícolas industriais e que não possui valor econômico agregado. Segundo Toller (2016), o destino adequado desses materiais é um dos maiores desafios do país ao mesmo tempo que abrem margem para um maior número de projetos de sustentabilidade, sendo na indústria de alimentos que se encontram os melhores resíduos para reaproveitamento.

O aproveitamento correto dos resíduos minimiza o impacto ambiental e acúmulo de lixo, além das moléculas presentes neles que podem ser reaproveitadas para desenvolver outros produtos (BRITO, 2020), guardando, assim, um potencial econômico tal como também afirmado por Magalhães *et al.* (2019). A intensa busca para a reutilização (ou reciclagem) de resíduos agroindustriais é para agregar-lhe valor econômico (ROCHA *et al.*, 2016).

Apesar desse grande potencial, há muitos fatores que impedem os produtores (e pequenas empresas) de realizar esse tipo de operação, tais fatores são tanto de ordem logística, quanto econômica, fazendo com que se opte por queimá-los em detrimento de destiná-lo a fins mais rentáveis (BHATNAGAR, TOLVANEN e KONTTINEN, 2020). De fato, várias rotas químicas para produção energética têm por base produtos químicos como celulose, hemicelulose e lignina, dentre outras (LOZANO e LOZANO, 2017). Isso estaria em desacordo com a legislação ambiental (Lei nº 13.205 de 02/ago/2010 – Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS) que prevê que a empresa controle a poluição advinda dos seus processos na biosfera local, além de incrementar na receita na empresa (AQUARONE, BORZANI e LIMA, 1990).

Segundo Yuan, Yu e Shen (2019) os resíduos de biomassa além da vantagem econômica e sua alta disponibilidade, ainda são biodegradáveis e ajudam a combater o efeito estufa.

Os materiais lignocelulósicos são um tipo de resíduo de biomassa composto por celulose, hemicelulose, pectina e lignina não hidratada e que representam o maior potencial mundial para a produção de biocombustíveis. Exemplos desse tipo de material são cascas de coco, resíduos de algodão, bagaço de cana-de-açúcar,

palha de trigo, arroz e milho, resíduos de madeira florestal e resíduos de papel e, claro, a torta de dendê (MACHINENI, 2019).

3.2. A INDÚSTRIA DO DENDÊ

O dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma palmeira de origem centro-africana monocotiledônea com grandes folhas pinadas e com um caule coluna solitário da família *Arecaceae*. Ele tem um sistema fasciculado que permite sua grande adaptação a diferentes tipos de solo. Seus frutos são em forma de cachos que comporta em média 1500 frutos, todo esse conjunto pesa aproximadamente de 15 kg de onde se extrai o óleo. (OLIVEIRA *et al.*, 2017; HOMMA, 2016).

Ele é muito utilizado no mundo para a extração de óleo vegetal e os produtos oriundos desse processo são reutilizados como matriz energética, além de outras aplicações, esses fatores fazem com que grandes áreas sejam destinadas ao seu cultivo (BRAZILIO *et al.*, 2012). A cultura desta planta no Brasil sofreu um expressivo aumento na última década por conta da produção de biodiesel a partir do óleo (COSTA *et al.*, 2018). Lameira, Vieira e Toledo (2016) relatam diversos programas e órgãos nacionais e internacionais para o cultivo da planta na Amazônia desde 1980.

Para Nahum e Santos (2018), o dendezeiro possui um enorme rendimento de óleo quando comparado a outras oleaginosas (coqueiro e oliveira), com exceção das algas, chegando a uma produção anual de 25 a 28 toneladas de ha. Dentre os países que mais se destacam na produção de óleo nas Américas, se encontra o Brasil, que no ano de 2016 teve um aumento de 1,5% de produção. Cabe frisar que desde 1970 houve uma duplicação de produção do óleo em nível mundial e uma década depois já representava metade do óleo vegetal comercializado no mundo (HOMMA, 2016).

O Brasil é referência mundial em produção do óleo de dendê, de fato, o país destina cerca de 75 milhões de hectares de terra a plantação de dendê, sobretudo nos estados do PA, BA e AP. Sendo que no ano de 2018, o Pará produziu aproximadamente 251.132.800 t de fibras do fruto de dendê como consequência da extração do seu óleo, lembrando que cada tonelada de óleo produzido equivale a igual produção de fibra do fruto (EMBRAPA, 2019; CONAB, 2019).

Segundo Costa *et al.* (2018), a indústria do dendê teve um grande crescimento nos últimos dez anos por ser material prima no processo de

esterificação do biodiesel. Além de ser uma planta que participa na recuperação de áreas degradadas e que ainda traz benefícios econômicos. Todos esses fatores tornam a cultura do dendê uma potência econômico-ambiental para empresas que desejam aliar economia e meio-ambiente. De acordo com Homma (2016), esta combinação só será possível com a inserção integral dele na economia regional. Lameira, Vieira e Toledo (2016) listam uma série de empresas que utilizam o óleo de dendê na indústria alimentícia e cosmética, além de produção de biodiesel, o que demonstra os inúmeros setores onde ele pode ser aplicado.

Na cadeia produtiva do óleo de dendê, é produzido ao final do processo grandes quantidades de resíduos ricos em lignocelulose que podem ser utilizados como matéria-prima de baixo custo para a produção de diversos materiais feitos a partir de acetato de celulose, de fato, segundo Oliveira *et al.* (2017) o aproveitamento destes produtos de fim de processo permitiria a redução do impacto ambiental e também incrementaria na receita da cadeia produtiva da indústria. Estes fatos estariam de acordo com o pensamento de Santos, Corrêa e França (2019) para os quais é na agroindústria que se encontram as maiores quantidades de biomassa para a produção de combustíveis de segunda geração.

3.2.1. A torta de Dendê

Segundo Oliveira *et al.* (2017), o fruto do dendezeiro é uma drupa séssil de tamanho próximo a 5 cm e de massa variável (entre 3 e 30 g), sendo que sua semente uma noz protegida por uma polpa rica em óleo, além do mesocarpo, comporta de uma a três amêndoas. Depois de extraído o óleo e seco o respectivo resíduo é obtido a torta de dendê. Ela é rica em fibras celulósicas que apresentam potencial econômico para reaproveitamento e, conseqüente, valor econômico a ela agregado (MORAES *et al.*, 2016).

Supian *et al.* (2019) defendem que uma produção sustentável dessa indústria requer o máximo de aproveitamento do cacho em todo o processo, incluindo os resíduos, pois 24% de resíduos sólidos produzidos na cadeia produtiva de dendê se devem a seus cachos vazios. Ramlee *et al.* (2019) relatam que na Malásia a rica cultura do dendê originou grandes quantidades de materiais biomássicos, especialmente na forma de troncos, cachos vazios e mesocarpos dentre outros. Muitos trabalhos são desenvolvidos a fim de reaproveitar todos esses resíduos, a Tabela 1 apresenta algumas dessas aplicações:

Tabela 1 - Destinos do bagaço de dendê.

Aplicação	Referências
Produção de ração para alimentação de ruminantes	SOUZA <i>et al.</i> (2010)
Combustível nas caldeiras	BAHMID <i>et al.</i> (2013)
Adubo	FERREIRA (2013)
Produção de etanol de 2ª geração	TEXEIRA <i>et al.</i> (2018)
Construção civil	FERNANDES <i>et al.</i> (2019)

Fonte: O autor (2020).

Em termos químicos, o bagaço de dendê é rico em fibra, proteína bruta (14% a 15%) com uma digestibilidade orgânica de até 60%, um teor de água de 11%, 48 % de carboidrato (quase todos oriundos da celulose) e 4% de cinzas, sendo esta composta por P, Ca, Mg, K, S, Zn, Fe, Mn, Mo e Se (OLIVEIRA *et al.*, 2017). De acordo com Nazareno *et al.* (2018) em termos de macromoléculas, a fibra do dendê é rica em lignocelulose, esse fato está de acordo com Catelan e Pironi (2019) que apontam os resíduos agroindustrial como as principais fontes lignocelulósicas. Porém apesar deste grande potencial, é necessárias certas observações, como o fato deste produto sofrer rápida degradação (SULAIMAN e ABDULLAH, 2011).

A torta de dendê é majoritariamente constituída de celulose (59,7%), hemicelulose (22,1%) e de lignina (18,1%) (SULAIMAN e ABDULLAH, 2011). Segundo Nazareno *et al.* (2018), o baixo custo e a alta quantidade de celulose encontrada na torta de dendê o tornam atraente seu reaproveitamento, tornando o processo de extração do óleo do mesocarpo mais eficiente, rentável e sustentável. Os cachos vazios do dendê apresentam um teor de 48% a 65% de celulose. Essas características o tornam uma excelente fonte para materiais poliméricos (RAMLEE *et al.*, 2019).

3.2.2. Produção Anual

O Estado do Pará é o maior produtor nacional de dendê, no ano de 2020, sua produção foi de, aproximadamente, 2.829.443 t de cachos de dendê, com área colhida de 188.542 ha que resultou em produtividade média de 15.010 kg.ha⁻¹, representando 98,66% da produção brasileira (IBGE, 2020). Anualmente, gera cerca de 2 milhões de toneladas de subprodutos, sendo que cerca de 25% representam a torta resultante da prensagem do mesocarpo do fruto.

3.3. BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

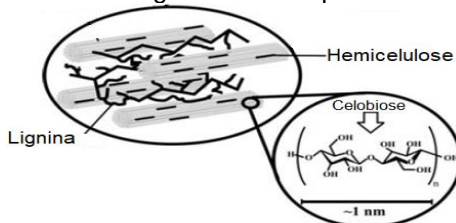
De acordo com Gaete, Teodoro e Martinazo (2020), a biomassa de resíduos agrícolas pode ser advinda da indústria como subproduto da cadeia produtiva de alguma cultura. A biomassa lignocelulósica pode substituir materiais advindos do petróleo, uma vez que são originados uma cadeia produtiva renovável e abundante ao contrário deste último, essa prática é chamada de biorrefinaria. Além disso, sua aplicação é imensa possuindo capacidade de ser utilizada como biocombustível, produtos químicos diversos e fonte para a síntese de novos materiais. Somado a isso, ainda se tem a questão desses resíduos não serem fontes alimentícias, o que faz com que não haja competição por terras cultiváveis para seu plantio.

Serpa *et al.* (2020) argumenta que a economia contemporânea é baseada em sustentabilidade, o que força a pesquisa em reaproveitamento de materiais não-renováveis e, também, em utilização de materiais que visem renováveis e que visem a substituição de derivados do petróleo; é nesse cenário que as biomassas lignocelulósicas se encaixam, pois são abundantes, renováveis e não comestíveis, além de guardarem altíssimo potencial transformacional e aplicável. As principais fontes estudadas para a obtenção desse material são madeira, algodão, juta, cânhamo, milho, arroz, palha de trigo, sisal e bagaço de cana-de-açúcar (MOURA *et al.*, 2018).

A parede celular de materiais construídos de biomassa lignocelulósica tem uma composição química feita de celulose, hemicelulose e muitos componentes inorgânicos e ainda outros componentes orgânicos tais como fenólicos, aminoácidos, grupos acetis, pigmentos etc. Além disso, a depender do material, todos esses componentes se organizam tridimensionalmente, pluriformemente e de forma complexa (HIRUNSUPACHOTE, CHAVALPARIT, 2019; GAETE, TEODORO e MARTINAZO, 2019).

Yang, Ching e Chuah (2019) relatam uma composição aproximada de materiais lignocelulósicos em termos dos seus principais componentes: 35-55% de celulose, 10-25 % de lignina e 20-40 % de hemicelulose. Segundo Colen *et al.* (2019), a celulose natural tem a biomassa lignocelulósica como sua principal fonte: um material fibroso de matriz hemicelulósica e lignina. Essas estruturas fazem da celulose um polímero cristalino de grande força intra e intermolecular (AUNG *et al.*, 2018). A Figura 1 mostra como esses componentes se distribuem na fibra:

Figura 1 - Material lignocelulósico presente nas fibras.



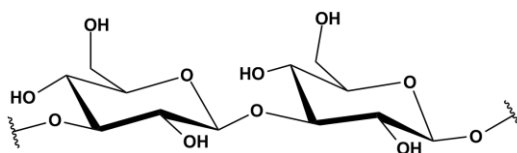
Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2009)

3.3.1. Celulose, Hemicelulose e Holocelulose

A celulose $[C_6H_7O_2(OH)_3]$ é um polímero que ocorre naturalmente, constituído por unidades repetidas de glicose. Em seu estado natural (conhecido como celulose nativa), ela tem sido colhida há muito tempo como fibra comercial - como o algodão, linho, cânhamo, sumaúma, sisal, juta e rami (GEORGE *et al.*, 2001). Matovan *et al.* (2021) considera a celulose $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$ o polímero mais abundante do planeta. De acordo com Feng *et al.* (2018) a produção anual de celulose pelas plantas chega a 75 bilhões de toneladas, isso a torna o biopolímero renovável mais abundante do planeta e, por ser o principal componente das plantas e, por extensão, o componente estrutural em maior porcentagem em resíduos agrícolas.

As glicoses estão ligadas de maneira linear através de ligações β -1,4 distribuídas em microfibras amorfas com regiões cristalinas e com um grau de polimerização de 20.000 unidades glicosídicas (CANDIDO, GOLDOY e GONÇALVES, 2017). A celulose é termoendurecível e a responsável pela resistência mecânica das plantas, graças a sua linearidade que propicia a sua permanência como unidade química total, fazendo com que separações por calor e/ou químicas a destrua (KUMAR, KUMAR e CHINTAGUNTA, 2020). A Figura 2 mostra uma pequena parte da estrutura de celulose:

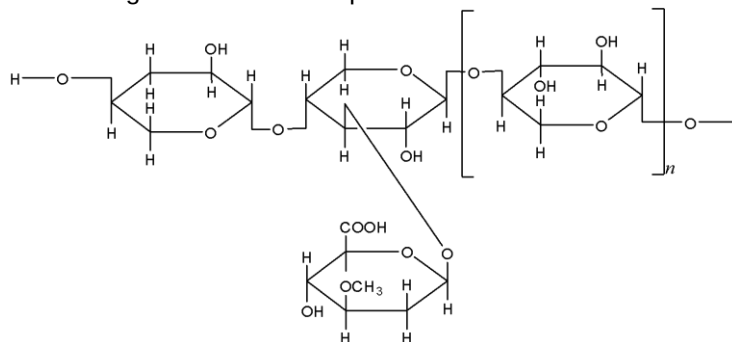
Figura 2 - Estrutura química da celulose.



Fonte: O autor (2021)

De acordo com Rossi *et al.* (2014), a hemicelulose (representada na Figura 3) é um polímero de base para a formação de heteropolímeros de pentoses (como a xilose e a arabinose) e hexoses (como glicose e manose), muito presente na matéria vegetal. O material lignocelulósico é formado de 15% a 45% de organizados em cadeias ramificadas de açúcares de vários tipos, esse fator atrelado à variedade de ligações que o composto apresenta parece contribuir para a grande complexidade da estrutura.

Figura 3 - Estrutura química da hemicelulose.



Fonte: O autor (2020)

A hemicelulose e a celulose estão ligadas por ligações covalentes (KUMAR, KUMAR e CHINTAGUNTA, 2020). Em termos de estrutura e composição química são diversas uma da outra, enquanto a celulose é formada por unidades monoméricas iguais entre si, a hemicelulose não o é, pois apresenta uma variedade de pentoses e hexoses; sua projeção espacial também é diferente, a celulose é linear e ricamente polimerizada e a hemicelulose é ricamente ramificada e pouco polimerizado.

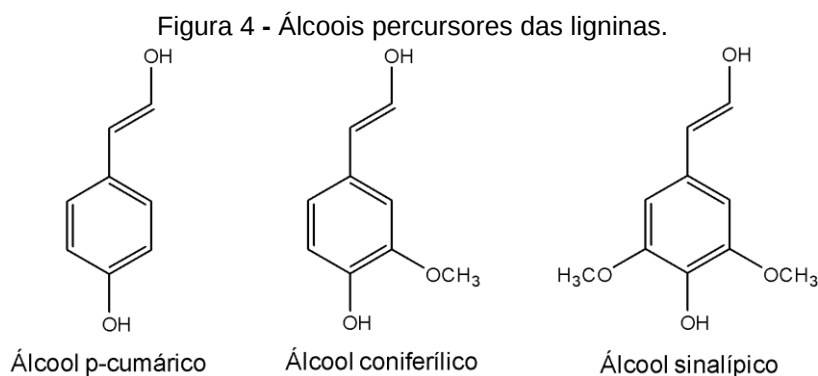
Yang, Berthold e Berglund (2018), em seu estudo, definiram a holocelulose como fibras com baixíssimos teores de lignina. A holocelulose, a celulose e as hemiceluloses (hexosanas e pentosanas) estão presentes em qualquer tipo de madeira (BRITO e BARRICHELO, 1977). Assim, para Agustin-Salazar *et al.* (2018) a holocelulose é a fração polissacarídica de celulose e hemicelulose. Yang e Berglund (2020, p. 1, tradução nossa) trazem a definição de holocelulose do dicionário online Merriam – Webster:

como a fração polissacarídica total da madeira ou palha e semelhantes que é composta de celulose e todas as hemiceluloses e que é obtida pela remoção dos extrativos e da lignina do material natural original.

Os termos hemicelulose A e B referem-se à solubilidade, sendo a hemicelulose A aquela que é insolúvel em água, porém solúvel em um ambiente alcalino e a B o resultado da precipitação do sobrenadante do A com etanol e o que restar será denominada de hemicelulose C (ROSA, 1981). Segundo Qiu, Yaday e Yin (2017) ainda não foram relatadas as funcionalidades da Hemicelulose B.

3.3.2. Lignina

Lignina é um dos mais abundantes polímeros terrestres. Ela totaliza 17%-32% do total de massa lignocelulósica. A lignina possui uma estrutura tridimensional bastante complexa, sendo seus monômeros três fenóis (Figura 4) (SERPA *et al.*, 2020).



Fonte: O autor (2020)

A lignina é biossintetizada pela via do ácido chiquímico através do acoplamento fenólico de álcoois hidroxicinâmicos graças à ação de peroxidases formando, assim, uma macromolécula heterogênea e polidispersa. Estruturalmente, são formadas por 4 ou mais álcoois cumarílicos de diferentes substituições (DEWICK, 2002; AGUSTIN-SALAZAR *et al.*, 2018). O conhecimento dos precursores ajuda no estudo das solubilidades, pois estes determinam se a lignina será solúvel em ambiente ácido, neutro ou básico.

A lignina é um polímero vegetal que representa um reservatório de compostos aromáticos para os seres vivos (sobretudo nas plantas superiores), ela atua na parede celular das plantas com uma função matricial para as microfibras de celulose (DEWICK, 2002). De acordo com Serpa *et al.* (2020), ela não é hidrossolúvel e é bastante estável, sendo que sua função principal é a unir a celulose à hemicelulose.

A lignina é resistente à processos de hidrólise, o que tem justificativa biológica, pois segundo Saliba *et al.* (2001) isso permite a planta proteger seus tecidos contra-ataques de micro-organismos, além de dar grande resistência mecânica aos vegetais. A resistência gerada pela lignina na madeira a ataques químicos é eliminada através de um pré-tratamento que a separa as matrizes celulolíticas e ligníticas, isso permitirá a hidrólise da hemicelulose e, conseqüentemente, a escolha de um processo adequado para a obtenção de glicose (OGEDA; PETRI, 2010).

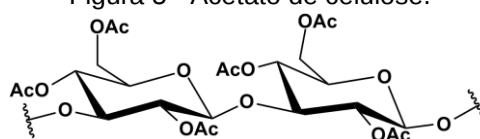
3.4. ACETATO DE CELULOSE

O acetato de celulose é um dos mais importantes produtos derivados da celulose. Foi produzido pela primeira vez em 1865 por Schutzenberger (FREITAS, SENNA e BOTAR, 2017). De fato, ele representa um dos principais polímeros termoplásticos derivados de biomassa (BATTISTI *et al.*, 2019). Santos *et al.* (2020) preveem que ele tenha uma participação de quase 8 bilhões de dólares na economia até 2026.

O acetato de celulose representa um grande avanço na área da química verde, pois é um material que pode ser produzido a partir de um resíduo rico em celulose e de enorme potencial econômico aplicável. O que se destaca nesse composto químico são suas propriedades mecânicas, resistência térmica, biodegradabilidade, transparência, baixa absorção aquosa, atoxicidade, baixo custo, biocompatibilidade, estabilidade hidrolítica, resistência química (PANIZ *et al.*, 2018; BATTISTI *et al.*, 2019 KHOSHNEVISAN *et al.*, 2018).

De acordo com Candido, Goldoy e Gonçalves (2017) sua síntese exige celulose pura com baixíssimos teores de hemicelulose e lignina, por isso, para se sintetizá-lo a partir de resíduos industriais é necessário diminuir drasticamente as quantidades de hemicelulose e lignina a ele associados *in natura*. Ele tem a estrutura básica da celulose (Figura 2), cujos hidrogênios das hidroxilas foram substituídos por um grupo acetil. Existem vários tipos de acetato de celulose a depender do Grau de Substituição sofrido pelas hidroxilas. A Figura 5 abaixo representa o triacetato de celulose.

Figura 5 - Acetato de celulose.



Fonte: O autor (2020)

O acetato de celulose é um material extremamente versátil e que tem uma infinidade de aplicações. Na Tabela 2, são mostrados alguns produtos feitos a partir deste material.

Tabela 2 - Aplicações do acetato de celulose.

Aplicação	Referências
Membrana de dialise	ABREU e FIGUEREDO (2017)
Parte de um sistema de liberação de anti-inflamatórios não esteroidais	NEVES, CELLET e ROMERO (2017)
Filmes biodegradáveis	PEIXOTO e SILVA (2018)
Aplicação antimicrobiana	PANIZ <i>et al.</i> (2018)
Recipientes de mudas	VIEIRA (2018)
Fase estacionária de cromatografia de alta eficiência	AMBRÓSIO (2019)

Fonte: O autor (2020)

Para a produção do acetato de celulose existem vários processos de acetilação, todos eles têm em comum uma fonte rica em celulose e anidrido acético como fonte de grupos acetato, essas substâncias são dissolvidas em ácido acético glacial, utilizando o ácido sulfúrico como catalizador (SILVA NETO, 2018).

Candido, Goldoy e Gonçalves (2017) apontam a madeira e o algodão como principais fontes de celulose para a síntese em escala industrial, porém, já existem diversos estudos que utilizam resíduos agroindustriais para este fim, mas que encontram várias barreiras tais como (p. 281, tradução nossa):

“a heterogeneidade da matéria-prima, a reprodutibilidade das condições experimentais, a heterogeneidade da fase da reação de síntese, a dificuldade de purificação, a disposição de efluentes e o controle da qualidade do produto”.

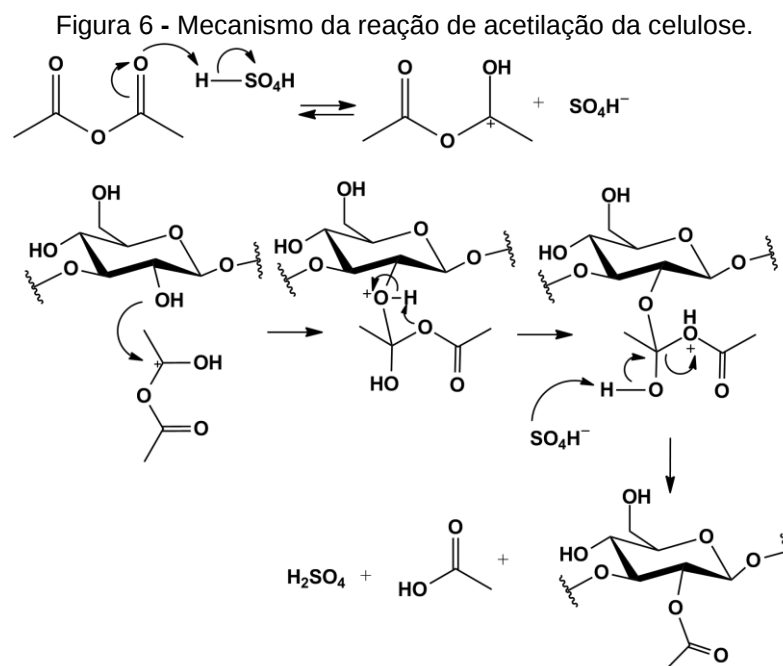
Battisti *et al.* (2019) apontam outros como (p. 891, tradução nossa): “como degradação grave da celulose, danos ao meio ambiente e alto consumo de energia”. A produção de acetato de celulose pode dar-se a partir de resíduos agrícolas ricos em celulose como algodão, papel reciclado e madeira e outras fontes inexploradas (PANIZ *et al.*, 2018; PINHEIRO *et al.*, 2019). Na Tabela 3, são mostradas algumas das matérias-primas utilizadas na síntese desse composto:

Tabela 3 - Resíduos agroindustriais utilizados na produção de acetato de celulose.

Resíduo agroindustrial	Referências
Algodão	CHENG <i>et al.</i> (2010)
Cachos vazios de óleo de palma	BAHMID <i>et al.</i> (2013)
Polpa de <i>Acacia mangium</i>	GILBERT e PALLE (2013)
Casca de arroz	DAS <i>et al.</i> (2014)
Bagaço de cana-de-açúcar	CANDIDO <i>et al.</i> (2017)
Dendê	SOUZA (2018)

Fonte: O autor (2020)

O mecanismo da reação presente na Figura 6 foi proposto abaixo com base em Pinheiro *et al.* (2019) e Santos *et al.* (2018):



Fonte: O autor (2020)

3.5. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

De acordo com Onoja *et al.* (2019), a absurda quantidade de dendê produzida gera preocupações, nesse sentido, é importante conhecer a composição química para determinar seu potencial e, por conseguinte, sua funcionalização. A descrição química de uma amostra biomássica consiste em determinar as substâncias inorgânicas e orgânicas, sendo que as primeiras têm 'baixo peso

molecular e a segunda varia de peso, sendo, portanto, representadas por macromoléculas (FRODESONA, HENRIKSSONB, BERGHELA, 2019).

A composição química e o processo de conversão a qual ela será submetida estão interligados, uma vez que suas características físico-química as tornam mais adequadas a certas rotas, visando, portanto, um alto rendimento mássico (GUIMARÃES *et al.*, 2021).

3.5.1. Análise Imediata

A análise imediata serve para determinar os componentes orgânicos e inorgânicos de uma amostra através dos teores de cinzas, voláteis, carbono fixo e umidade (MARCELINO, MELO e TORRES, 2017; NAKASHIMA *et al.* 2017). De acordo com Lana *et al.* (2016), a análise imediata constitui uma das etapas de determinação da composição química dos produtos.

3.5.1.1. Umidade

Pitarelo *et al.* (2012) afirmam que os rendimentos de um processo estão diretamente ligados ao teor de umidade da matéria prima da amostra. O teor de umidade varia conforme a planta analisada, além de ser alterado também reduzir esses valores, fazendo com que seus valores variem entre 5% e 12 % (MARCHESE; FIGUEIRA, 2005).

O teor de umidade da madeira possui uma relação inversamente proporcional com o valor da densidade dela, isso aponta que quanto mais úmida for a madeira, menos celulose, hemicelulose e lignina estará presente (SILVEIRA, REZENDE e VALE, 2013). A presença de hemicelulose contribui para o aumento do teor de umidade graças as hidroxilas em sua estrutura que formam ligações de hidrogênio com a água (SILVA *et al.*, 2017).

3.5.1.2. Cinzas

A cinza é o resíduo advindo da queima em alta temperatura em forno de mufla. Ela é constituída principalmente por K, Na, Ca e Mg e Al, Fe, Cu, Mn e Zn em concentrações pequenas. Todos esses elementos encontram-se como óxidos, silicatos, sulfatos, fosfatos e cloretos (CECCHI, 2003). Segundo André, Silva e Vasconcelos (2013), o teor de cinzas indica a presença de impurezas inorgânicas

que podem estar na forma de contaminantes ou pode ser atribuída aos nutrientes do vegetal oriundos da atividade fisiológica (DELUCIS *et al.*, 2017). Segundo Costa *et al.* (2017) a quantidade de compostos inorgânico da madeira está ligado a diversidade de plantas, assim como, a presença de terra na amostra também influi nesta análise.

3.5.1.3. Voláteis

Brito e Barrichello (1977) definem os materiais voláteis como aqueles advindos da queima da madeira e, por extensão de materiais lignocelulósicos, que estão no estado gasoso. De acordo com Augou *et al.* (2020), a expressão do material volátil representa a perda mássica após um processo de pirólise padronizado, sendo esse valor expresso em porcentagem.

A matéria volátil é aquela fração da biomassa que corresponde à perda do material após a exposição à uma alta temperatura, sendo que esse parâmetro está ligado à tendência de decomposição do material em um processo termoquímico (ABDULLAH *et al.*, 2020). Além disso, a sua presença no material faz com que a queima seja mais rápida do material (SANTOS *et al.*, 2019).

3.5.1.4. Carbono Fixo

De acordo com Costa *et al.* (2017) o teor de carbono fixo e o teor de materiais voláteis apresentam uma relação inversamente proporcional do primeiro em relação ao segundo. Um grande valor dele indica uma alta resistência à combustão do material. Além disso, Cavalcante *et al.* (2020) apontam que esse parâmetro também está ligado ao resultado das cinzas, quando quer-se avaliar o potencial calorífico do material.

Augou *et al.* (2019) define o teor de carbono fixo pela diferença de 100 com outros parâmetros – como cinzas, voláteis e umidade – e, posterior, conversão desse valor em porcentagem. Segundo Argawal (2020), não existe um valor padrão de carbono fixo em biomassas, sendo, portanto, variável e dependente dos outros parâmetros. Ele é advindo do processo fotossintético do vegetal.

3.5.2. *Matéria seca*

Silva e Queiroz (2002) dão a matéria seca a posição de partida em estudos analíticos de alimentos, pois a quantidade de umidade interfere diretamente na conservação, além disso, ela é uma medida do valor nutritivo em estudos comparatistas. De fato, Bueno *et al.* (2017) apontam a importância da secagem do material vegetal como fator que evita alteração química de amostras que serão guardadas para poderem ser analisadas a posteriori. Além disso, o conhecimento na quantidade de matéria seca dá uma ideia do acúmulo de nutrientes no vegetal ao longo de seu cultivo (DOMINICO, LUSTOSA e ÁVILA, 2020). Esse parâmetro está mais ligado à nutrição do farelo de animais ruminantes ou como fertilizante orgânico (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

3.5.3. *Lipídios*

Solomons (2012) define lipídios como substâncias naturais que são solúveis em solventes apolares; isso faz com que eles apresentem estrutura diversificada, uma vez que, são definidos não por sua estrutura, como outros polímeros naturais, mas por seu processo de separação. Eles encerram diversas substâncias biológicas como fosfatídeos, esteróis, voláteis, pigmentos, resina, isso influencia diretamente o armazenamento de produtos ricos em gordura, uma vez que, essa classe de substâncias é bastante instável e produzem radicais livres facilmente (SILVA e QUEIROZ, 2002).

3.5.4. *Fibra em Detergente Ácido (FDA) e Fibra em Detergente Neutro (FDN)*

A fibra bruta inclui frações de celulose, de lignina insolúvel e pentosanas, estruturas que participam da estrutura celular das plantas e que também estão presentes no cimento intercelular, secreção de defesa da planta e na cobertura de semente afim de evitar a desidratação (CECCHI, 2003). De acordo com Silva Jr. *et al.* (2021) há muitas maneiras de se determinar a composição da fibra bruta, sendo o método de Van Soest (1967) o mais utilizado por determinar frações insolúveis de hemicelulose, celulose e hemicelulose do material analisado.

Silva e Queiroz (2002) apontam que os carboidratos que compõe a fibra bruta são resistentes a ataques ácidos e álcalis diluídos. Apesar disso, os chamados detergentes são reagentes específicos que interagem com o material lignocelulósico,

ou mais especificamente, o chamado detergente ácido é capaz de solubilizar tudo aquilo que não for celulose e lignina da fibra vegetal, originando, a Fibra em Detergente Ácido (FDA), enquanto que o detergente neutro determina celulose, lignina e hemicelulose pelo menos princípio, isto é, origina a Fibra em Detergente Neutro (FDN).

3.5.5. *Proteína*

O termo proteína representa uma classe de macromoléculas de no mínimo 40 mil unidades. Elas se constituem de aminoácidos unidos por ligações peptídicas que apresentam conformações diversas. Elas estão em todas as células vivas e encerram diversas funções biológicas (CECCHI, 2003). Em análises químicas, é comum medir o conteúdo total de nitrogênio da amostra que inclui proteína, amina, amida, aminoácido etc. e dar a ele o nome de proteína bruta (SILVA e QUEIROZ, 2002).

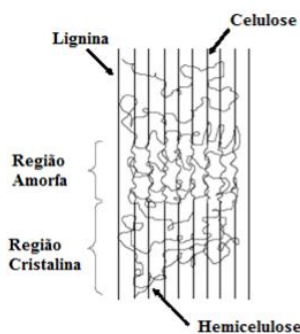
O método mais utilizado para determinar o conteúdo proteico é chamado de Kjeldahl e foi criado na Dinamarca em 1883 que consiste em determinar por titulação a quantidade de nitrogênio total da amostra, o proteico e o não-proteico. Depois, o resultado é multiplicado por um fator geral de 6,25 e este produto dá o conteúdo de proteína bruta da amostra (CECCHI, 2003; SILVA e QUEIROZ, 2002).

Alguns estudos apontam que o conteúdo proteico de materiais lignocelulósicos interfere negativamente no pré-tratamento da amostra com enzimas, uma vez que, dependendo da enzima, ela pode alterar a estrutura química da lignina tornando-a não suscetível às interações com proteínas e, por extensão, a processos de extração de sua extração, como aqueles que envolvem destilação (SANTIAGO e RODRIGUES, 2017; FLORENCIO, BADINO e FARINAS, 2017).

3.6. POLPAÇÃO ALCALINA

O material lignocelulósico é um complexo constituído de celulose, hemicelulose e lignina. Esses polímeros estão intrinsecamente ligados, tanto por forças intra - quanto intermoleculares, como visto na Figura 7.

Figura 7 - Estrutura química dos materiais lignocelulósicos.



Fonte: Adaptado de Moiser *et al.* (2005)

De acordo com Jesus, Ferreira e Dechandt (2018), todo esse complexo morfológico advindo das características químicas de cada um dos polímeros e suas interações trazem sérias dificuldade nos processos de conversam química dos materiais lignocelulósicos.

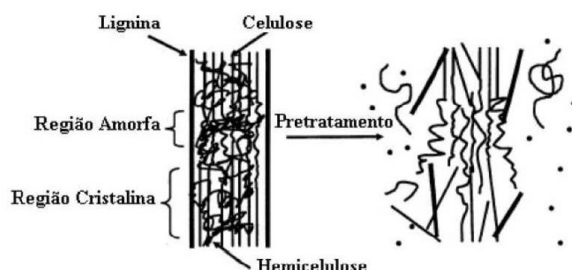
Todos esses fatores fazem com que sejam necessários processos físico e/ou químicos que visem destruir essas interações (AUNG *et al.*, 2018) e, por conseguinte, liberar a celulose para as transformações químicas. Esses processos são conhecidos como ‘pré-tratamento’ e podem ser químicos, físicos ou até uma mistura de ambos (BAPTISTA NETO *et al.*, 2020). Dentro dos tratamentos químicos há os ácidos, alcalinos e oxidativos e, dentre os físicos, há os térmicos e a explosão a vapor.

Os pré-tratamentos físicos de forma geral geram um aumento da área superficial do material, redução das partículas, e aumento da porosidade (RABELO; PRADELLA e IENCZAK, 2019; BAPTISTA NETO *et al.*, 2020). A explosão a vapor apresenta um ataque físico a amostra ao submetê-la diretamente em contato com vapor saturado em alta pressão em uma faixa de tempo e descomprimi-la de forma abrupta.

A água na forma de vapor saturado que em alta pressão penetra na fibra, posteriormente, é submetida a uma rápida descompressão no interior da fibra, ocorrendo, assim, uma “explosão” em seu interior (PITARELO *et al.*, 2012). Todo esse processo quebra parcialmente as ligações químicas dos componentes macromoleculares, enquanto submetido à forte pressão, já durante a descompressão ocorre a desfibração e, também ocorre a solubilização da hemicelulose (RABELO; PRADELLA e IENCZAK, 2019; PITARELO *et al.*, 2012).

A explosão a vapor é sempre utilizada combinando com um agente ácido, básico, oxirredutor etc. O uso de reagentes nesse pré-tratamento é justificável para aumentar a eficiência do processo, isto é, ocorrer uma máxima solubilização de hemicelulose e lignina. De acordo com Rabelo, Pradella e Ienczak (2019), o processo de remoção da lignina é conhecido como deslignificação, cuja maior desvantagem é que ele o longo período com várias etapas que envolvem propriedades químicas, físicas e/ou biológicas (MANTOVAN *et al.*, 2021). Na Figura 8 é mostrado o que ocorre com a fibra antes e depois do processo de explosão a vapor:

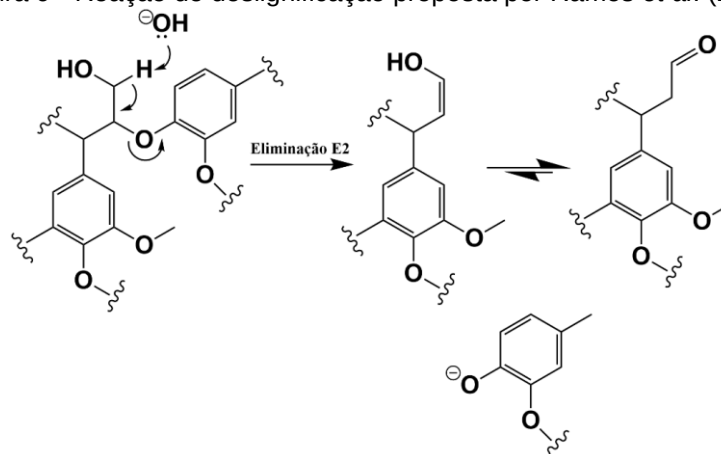
Figura 8 - Fibra antes e depois do tratamento com explosão a vapor.



Fonte: Adaptado de Chaula *et al.* (2014)

O processo alcalino é o mais vantajoso por não promover uma grande degradação do material quanto comparado ao ácido. Quimicamente, esse processo altera significativamente a estrutura da lignina, seja pela ruptura das ligações éteres entre ela e a hemicelulose, bem como a introdução de grupos hidrófobos à sua estrutura restante. Especificamente, há a clivagem das ligações aril-éter do tipo β -O-4 com posterior formação de grupos hidroxi-fenólicos (Figura 9) (RABELO; PRADELLA e IENCZAK, 2019; RAMOS *et al.*, 2017):

Figura 9 - Reação de deslignificação proposta por Ramos *et al.* (2017).



Fonte: O autor (2021)

Todo esse processo visa dissolver os polímeros ligados à celulose, isto é, a lignina e a celulose; o ataque alcalino a biomassa dissolve aproximadamente 80% da lignina, 50 % de hemicelulose e somente 10% da celulose com um rendimento entre 45 e 50% em massa. Além da utilização bases, é comum o uso de substâncias oxidativas que visam aumentar a remoção de lignina da biomassa (RAMOS *et al.*, 2017). A deslignificação oxidativa é usada no processo de branqueamento de polpas celulósicas (RABELO, PRADELLA e IENCZAK, 2019).

Um dos reagentes mais utilizados para a deslignificação oxidativa é o hipoclorito de sódio. De um modo geral, em reações oxidativas há uma grande liberação de radicais livres, a exemplo de $[\text{O}]$ e $[\text{Cl}]$. A explicação do mecanismo da reação desse processo é complexa, mas sabe-se que em uma primeira etapa há a participação do oxigênio, seguido pelo cloro que gera grupos fenólicos na lignina, deixando-a mais suscetível ao ataque do oxigênio em uma etapa posterior num modelo de reação chamado OXO. O efeito de todo esse processo é a solubilização de uma grande parte da lignina, algo em torno de 90 ~ 95% (SUCHY e ARGYROPOULOS, 2001; RABELO, PRADELLA e IENCZAK, 2019).

Esse processo garante uma fibra com celulose praticamente intacta do ponto de vista químico-estrutural e altamente deslignificada, porém, reagentes clorados apresentam o enorme inconveniente de serem grandes poluentes ambientais, pois geram oxigênio ativo $[\text{O}]$ que é um radical agressivo aos seres vivos (MATOVAN *et al.*, 2021; SUCHY e ARGYROPOULOS, 2001).

3.7. CARCTERIZAÇÃO DO ACETATO DE CELULOSE

3.7.1. Determinação do Grau de Substituição (GS)

O acetato celulose é o produto de uma reação de acetilação de criação atribuída a Schutzenberger em 1865. Essa reação consiste na substituição dos hidrogênios das hidroxilas da celulose por grupos acetis, geralmente, utilizando ácido acético, anidrido acético e ácido sulfúrico (FREITAS, SENNA e BOTAR, 2017).

A celulose possui três hidroxilas em sua estrutura química, então, é possível haver até três substituições em sua estrutura, originando, assim, três produtos distintos: monoacetato de celulose, diacetato de celulose e triacetato de celulose. Nesse contexto, Ros *et al.* (2021) define o grau (médio) de substituição como o número de acetis por unidade de glicose. Assadi *et al.* (2018) relata que o diacetato de celulose de grau 2 ~ 2,7 é forma mais utilizada do acetato de celulose.

O grau de substituição (GS) é uma propriedade muito importante a ser medida em trabalhos que envolvem o acetato de celulose, pois ele afeta propriedades físicas, químicas, mecânicas e morfológicas do material, tais como solubilidade, a transparência ótica e a refração índice (FREITAS, SENNA e BOTAR, 2017; HATAMOTO *et al.*, 2018). Dentre as propriedades que o GS interfere no material, dentre as quais a mais estudada e relatada é a solubilidade. A Tabela 4 mostra a relação entre o grau de substituição e a solubilidade:

Tabela 4 - Relação solvente e grau de substituição (GS).

Grau de Substituição	Solventes
0	insolúvel
1	água
2	acetona ou tetrahidrofurano
3	diclorometano e outros solventes clorados

Fonte: Freitas, Senna e Botaro (2017) com alterações.

3.7.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS)

O Microscópio de Varredura eletrônica (MEV) é baseado no microscópio de transmissão eletrônica de transmissão, cujo primeiro protótipo foi desenvolvido em 1931 por Max Knoll e Ernst Ruska. Paralelo a esse fato, Otto Scherzer desenvolvia a base da Teoria Ótica do Elétron (HARRYIS, 2018). Esses dois fatos gerariam em poucos anos o MEV.

O MEV é essencial em pesquisas em campos que envolvem a Física e seu princípio é bastante simples, pois, ele funciona através da aplicação de um feixe de elétrons focalizados oriundos de um tubo catódico a outro que guarda a amostra (LEAMY, 1982). É justamente esse feixe de elétrons, ao invés de luz, é que fornece imagens nítidas, pois o menor comprimento de onda permite visualizar detalhes muito delgados dos materiais em tamanho microscópico, isso origina o nome do material: Microscopia Eletrônica de Varredura (UI-HAMID, 2018).

De acordo com Abreu *et al.* (2017), as imagens do MEV podem vir de elétrons secundários e de retro espalhados: O primeiro grupo utiliza-se da camada de valência dos átomos, especialmente os elétrons, da amostra analisada que são excitados pelo feixe e sua baixa energia contribui para a formação de uma imagem fiel ao relevo do material. Enquanto que o segundo grupo de elétrons, os retro espalhados, obtidos pela sua colisão elástica com os átomos da amostra são bastante energéticos e por isso (*Ibid.*, p. 11):

fornece diferentes informações em relação ao contraste que apresentam: além de uma imagem topográfica (contraste em função do relevo) também se obtém imagem de composição (contraste em função do número atômico dos elementos presentes na amostra). Nas imagens formadas por elétrons retroespalhados, as regiões mais claras correspondem às regiões contendo elementos químicos mais pesados.

Todos esses fatores tornam o MEV uma poderosa máquina de caracterização de materiais em termos de estrutura microscópica, tendo aplicação em vários ramos científicos e industriais, pois, pode fornecer informações de composição, defeito mássicos, estrutura da superfície em escala submicrômica e nano (UI-HAMID, 2018).

3.7.3. Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourie (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier ou em inglês Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) é uma das mais importantes técnicas em análise orgânica qualitativa, sendo empregada em várias áreas como a Química de Produtos Naturais, assim como, na Síntese Orgânica como indicador de pureza e quantificador de substância, não sendo, portanto, surpreendente que seja utilizada em linhas de produção de processos industriais (LOPES e FACIO, 2004).

As ligações químicas das moléculas podem absorver radiações na região do infravermelho e com isso é possível obter informações sobre a natureza dessas ligações, os tipos de átomos, concentração etc. Haja vista que átomos diferentes em diferentes conexões absorvem/emitem diferentes comprimentos de onda na mesma faixa: Ligações de O – H e C – H possuem maiores frequências que C – O e C – C e carbonos com ligação dupla (C=C) e tripla (C≡C) apresentam frequências duas e três vezes maiores do que os de ligação simples respectivamente (LEITE e PRADO, 2012).

Métodos espectroscópicos são dos mais úteis devido a pouca quantidade requerida de analito e pouco tempo de análise. Com ela, é possível identificar estruturas complexas graças à informações advindas da rotação e vibração das moléculas, pois cada uma possui frequências que lhe são únicas, chamadas de frequência de grupo e são de difícil detecção, são quase sempre encobertas por outros sinais, sobretudo em estruturas poliméricas como de materiais lignocelulósicos, devido aos sinais vindos de ligação O – H e C – H que são os mais numerosos (LOPES e FACIO, 2004; LEITE e PRADO, 2012 e MARCHESSAULT, 1962).

3.7.4. Ressonância magnética nuclear (RMN)

A Ressonância Magnética Nuclear (RMN) ou da sigla em inglês NRM (Nuclear Magnetic Resonance) é uma poderosa ferramenta em análise química, pois ela fornece a composição, estrutura e função das moléculas (KEHAYIAS *et al.*, 2017). De todas as espectroscopias, a magnética nuclear é a mais importante para a identificação de moléculas orgânicas, pois fornece a estrutura principal da cadeia carbônica em termo dos carbonos e dos hidrogênios nela presente (MCMURRY, 2011). De fato, essa técnica é tão importante que de acordo com Simpson, Simpson e Soong (2012) já foram concedidos sete prêmios nobéis a estudiosos da técnica. A principal vantagem dela é o fácil preparo da amostra, a baixa quantidade requerida para análise e sua posterior reutilização para outras técnicas (ROS *et al.*, 2021).

De acordo com Jacobsen (2007), o RMN é uma técnica que se utiliza das propriedades magnéticas dos núcleos atômicos, pois é sabido que ao serem submetidos a um forte campo magnéticos absorvem e reemitem a radiação eletromagnética (HAMEED, AL-RUBAYE, KADHIM, 2017), uma vez que cada átomo e de cada ambiente químico em que se encontram apresentam frequências

específicas (SIMPSON, SIMPSON e SOONG, 2012). Através dessa espectroscopia é possível determinar a quantidade de átomos de natureza magnética distinta dos isótopos estudados (PAVIA *et al.*, 2010). Os átomos mais estudados por essa técnica são o ^1H , ^{13}C , ^{31}P , ^{15}N , ^{19}F pois apresentam núcleos mais sensíveis ao campo magnético (MABROUK e CHAÂBANE, 2018).

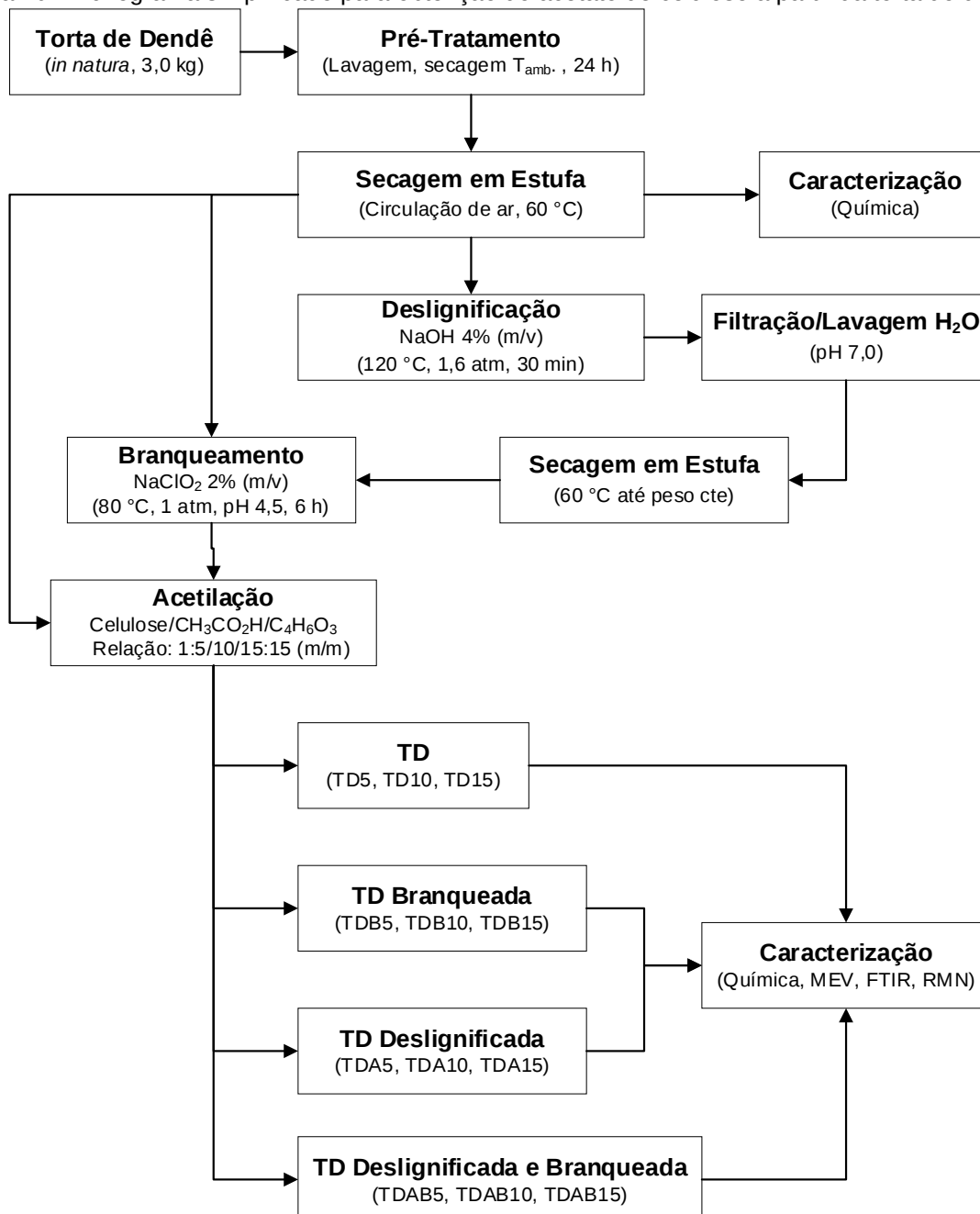
O gráfico gerado pelo RMN multidimensional mostra as relações espaciais entre os núcleos, isto é, como estão conectados, constituindo, assim, um verdadeiro quebra-cabeça, uma vez que caberá ao analista verificar como todas essas partes da molécula se encaixam (SIMPSON, SIMPSON e SOONG, 2012). Núcleos em ambientes químicos distintos produzem picos diferentes, pois fenômenos como a proteção eletrônica geram frequências diferentes, tudo isso é descrito em termos de deslocamento químico e serve para detectar diferentes moléculas na amostra (RUIZ-RODADO *et al.*, 2021) e por fim (*Ibid.*, 2021, p.24 – Tradução nossa):

“As intensidades, ou áreas, dos sinais são diretamente proporcionais ao número de núcleos que os dão origem, embora sejam independentes em algumas circunstâncias em outros fatores também, incluindo a sequência de pulso que é usada para aquisição espectral.”

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo para a obtenção do acetato de celulose a partir da torta do dendê é apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma simplificado para obtenção do acetato de celulose a partir da torta do dendê.



4.1. MATERIAIS

Os produtos químicos usados neste trabalho eram de grau analítico e foram usados sem qualquer purificação adicional.

4.1.1. Matéria-Prima

A torta de dendê (*Elaeis guineenses*), foi fornecida pela empresa Biopalma S. A. localizada no município de Mojú-PA.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Tratamento da Torta do Dendê

O tratamento do material vegetal consistiu em lavagem com água corrente para a retirada dos resíduos da coleta e outras impurezas. Secagem ambiente em meio absorvente para a remoção do excesso de umidade por 24 h. Secagem em estufa com circulação de ar (MARCONI, Modelo MA-035) a 60 ± 5 °C até peso constante.

A moagem do material seco (3,0 kg) foi realizada em moinho de facas (WILLEY, Modelo WLS-3004). Para o peneiramento foi usada uma peneira de 40 mesh (0,42 mm). O material foi armazenado em sacos plásticos para posterior utilização, sendo denominado de TD.

4.2.2. Caracterização da Torta de Dendê

4.2.2.1. Análise imediata

Os parâmetros da análise imediata: umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo, foram determinados conforme as normas 935.29 da AOAC (2002), ASTM D 3175-07 (2004), ASTM D 3174-04 (2007) e ASTM D6316-09 (1993). Cada parâmetro foi calculado conforme as Equações 1, 2, 3 e 4.

$$Umidade (\%) = \frac{m_{H_2O \text{ evap.}}}{m_{Amostra}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$Voláteis (\%) = \frac{m_{H_2O \text{ evap.}}}{m_{Teor \text{ de umidade}}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$Cinzas (\%) = \frac{m_{Cinzas}}{m_{Amostra}} \quad (3)$$

$$Carbono Fixo (\%) = 100 - (\%Umidade + \%Cinzas + \%Mat. Voláteis) \quad (4)$$

4.2.2.2. Lipídeos

A determinação de lipídeos foi realizada por extração com n-hexano em extrator Soxhlet de acordo com método 963.15 da AOAC (2002).

4.2.2.3. Proteínas

O teor de proteína foi determinado de acordo com o método 991.20 da AOAC (2000). As amostras foram submetidas à digestão com adição de H₂SO₄ concentrado até o ponto de ebulição em bloco digestor (TECNAL, TE-1001I). Em uma segunda etapa, o material digerido foi destilado em destilador de nitrogênio (MARCONI, MA-036). O nitrogênio total (N_T) foi calculado de acordo com a Equação 5.

$$N_T = \frac{(V_a - V_b)F \times 0,1 \times 0,014 \times 10}{M_1} \quad (5)$$

Onde, N_T é o teor de nitrogênio total na amostra (%); V_a e V_b são os volumes (mL) da solução de ácido clorídrico gastos na titulação da amostra e do branco respectivamente; F é o fator de correção para o ácido clorídrico 0,01 mol.L⁻¹ e M_1 é a massa da amostra (g). O cálculo da proteína bruta (P_B) foi realizado de acordo com a Equação 6.

$$P_B = N_T \cdot F_N \quad (6)$$

Onde, P_B é o teor de proteína bruta na amostra (%); N_T é o teor de nitrogênio total na amostra (%) e $F_N = 6,25$ (fator usado para converter o nitrogênio em proteína).

4.2.2.4. Fibras em detergentes neutro (FDN) e ácido (FDA)

O teor de fibra em detergente neutro (FDN) e da fibra em detergente ácido (FDA) da torta de dendê foi obtido pelo método convencional descrito por Van Soest (1963 e 1967).

Os reagentes necessários para preparar um litro do detergente neutro pelo método de Van Soest (1963) foram: 1,0 L de água destilada; 30 g de sulfato de sódio; 18,61 g de EDTA sal dissódico; 6,81 g de borato de sódio hidratado; 4,56 g de fosfato ácido de sódio anidro e 10 mL de trietileno glicol. Para o preparo do

detergente ácido (um litro) pelo método de Van Soest (1967) foram utilizados: 20 g de brometo-cetil-trimetilamônio e 27,7 mL de ácido sulfúrico (96 -98% de pureza).

Para a determinação da FDN e da FDA pelo método convencional, foi utilizado 1,0 g de amostra condicionada em copos de vidro com capacidade 600 mL proveniente do digestor de fibra (TE-149, TECNAL) adicionando-se 100 mL da solução detergente neutro ou detergente ácido, respectivamente. A solução contendo as amostras permaneceu em fervura durante 60 minutos a 100 °C, em seguida o conteúdo foi filtrado em cadinho filtrante com porosidade de 50 a 150 µm (nº 2). Após a filtragem do detergente neutro ou ácido foi adicionado 20 mL de acetona dentro de cada cadinho e filtrado com auxílio de bomba a vácuo.

Os cadinhos de vidro foram submetidos a aquecimento em estufa a 105 °C por 8 horas para obtenção do resíduo com peso constante. Ao final destes procedimentos, os cadinhos de vidro filtrantes com resíduo (FDN ou FDA) foram calcinados em forno mufla por 4 horas a 470 °C. Em seguida, os cadinhos foram mergulhados em solução sulfocrômica para limpeza do resíduo inorgânico por 2 horas. Posteriormente, os cadinhos foram lavados com água corrente e testados quanto à sua capacidade de filtração na bomba a vácuo.

Os teores de FDN e FDA foram calculados conforme as Equações 7 e 8.

$$FDN(\%) = \frac{m_3(m_1 - m_0)}{m_2} \cdot 100 \quad (7)$$

$$FDA(\%) = \frac{m_3(m_1 - m_0)}{m_2} \cdot 100 \quad (8)$$

Onde m_1 , m_2 e m_3 são as massas do saco vazio, da amostra e do saco, após a extração e, m_0 é a correção do saco (massa do saco branco final/massa do saco branco inicial).

4.2.2.5. Lignina insolúvel e solúvel

Foram transferidos para um Erlenmeyer (250 mL), contendo 5 mL ácido sulfúrico a 72% (m/v), 0,5 g da TD seca e moída. A mistura foi agitada manualmente, em seguida, aquecida em banho maria a 50 ± 2 °C por 2 horas. Após o término da reação, foram adicionados 85 mL de água ultrapura. Após completa digestão, a mistura foi autoclavada por 1 hora a 120 °C (1,6 atm, 60 min), posteriormente, o

resíduo foi separado por filtração a vácuo em cadinho de vidro tipo Gooch (100 mL, nº 4).

A fração solúvel foi medida a 280 e 215 nm. O teor de lignina foi calculada pela Equação 9.

$$C_{LS} = \frac{4,53(Abs_{215} - Abs_{280})}{300} \quad (9)$$

Onde, C_{LS} é a concentração de lignina na amostra (mg.L^{-1}), Abs_{215} e Abs_{280} , são as absorvâncias a 215 e 280 nm.

4.2.2.6. Celulose e hemicelulose

Na determinação dos teores de celulose e hemiceluloses, foi necessário extrair a holocelulose (celulose + polioses) da amostra. A extração da holocelulose foi feita com 5,0 g da TD (seca e moída) livre de extrativos em um balão de destilação (250 mL), contendo 60 mL de água destilada, 10 mL de hipoclorito de sódio (6%) e 7 mL de ácido acético glacial. A mistura ficou sob refluxo a 80 ± 2 °C por 60 minutos com agitação constante. A separação do resíduo foi realizada por filtração a vácuo em funil de placa sinterizada nº4 (previamente tarado).

O resíduo foi lavado com água ultrapura, até o aparecimento da cor branca, posteriormente, foi seco em estufa (FABBE, Modelo 119, São Paulo/SP) a 105 ± 5 °C, até peso constante. O teor de homocelulose foi calculado pela razão entre a massa de resíduo seco em relação à massa da amostra seca.

Na determinação de celulose, o resíduo (holocelulose) foi transferido para um balão de destilação (500 mL) contendo 200 mL de hidróxido de potássio a 15% (m/v). A mistura foi aquecida sob refluxo até a ebulição por 60 ± 2 °C minutos. O resíduo foi separado por filtração a vácuo em funil de placa sinterizada nº4 (previamente tarado) e lavado com água ultrapura ($T \approx 100$ °C), posteriormente, seco em estufa (FABBE, Modelo 119, São Paulo/SP) a 80 ± 2 °C até peso constante.

O teor de celulose foi calculado pela razão entre a massa de resíduo seco em relação à massa de homocelulose. A diferença entre o teor de holocelulose e o teor de celulose representa o teor de hemicelulose na TD.

4.2.3. Extração da Celulose

O isolamento da celulose do material de partida (TD, 200 g) foi realizado com solução de NaOH a 4% (m/v) na relação sólido-líquido de 1:5 (m/v), posteriormente, a digestão da mistura foi realizada em autoclave (Prismatec, CS-75) a 120 °C ($P \cong 1,6$ bar) por 30 minutos. Após resfriamento, a fração sólida foi separada por filtração a vácuo, lavada com água destilada, neutralizada com ácido sulfúrico a 1% (v/v) e lavada com água destilada até pH 7. O material foi seco em estufa a 50 ± 5 °C até peso constante, sendo denominado por TDA.

4.2.4. Branqueamento

O branqueamento dos materiais TD (20 g) e TDA (20 g) foi realizado com uma mistura (1:1) de solução tampão de acetato de sódio (pH > 6) e clorito de sódio (NaClO_2) a 2% (m/m) sob refluxo e agitação constante (200 rpm) a 80 ± 2 °C por 6 horas. Os materiais foram separados por filtração à vácuo em cadinho de placa sinterizada n° 5 e lavados com água ultrapura até pH 7, posteriormente, foram secos em estufa a 50 ± 5 °C até peso constante, sendo denominados de TDB e TDAB.

4.2.5. Síntese do Acetato de Celulose

O acetato de celulose (AC) foi obtido por meio da reação de acetilação dos materiais TD, TDB, TDA e TDAB, juntamente com ácido acético ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$), anidrido acético [$(\text{CH}_3\text{CO})_2$] e ácido sulfúrico como catalisador (H_2SO_4). Na Tabela 5 são apresentadas as condições experimentais para a reação de acetilação dos diferentes materiais.

Tabela 5 – Condições experimentais para as reações de acetilação (T_{amb}).			
Amostras	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ (g)	$(\text{CH}_3\text{CO})_2$ (g)	H_2SO_4 (g)
TD, TDB, TDA, TDAB (1,0 g)	5		
	10	15	0,1
	15		

Fonte: O autor (2021)

Nas reações de acetilação, primeiramente, foi feita a ativação da celulose com a adição do ácido acético sob agitação (120 rpm) em temperatura ambiente por 1 hora. Após esse período, uma mistura de anidrido acético e ácido sulfúrico foi lentamente adicionada ao sistema. As reações foram conduzidas sob agitação

constante (120 rpm) em temperatura ambiente por 24 horas, posteriormente, o resíduo foi separado por filtração a vácuo, o AC foi obtido pela adição de 200 mL de água ultrapura ($\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) ao filtrado, sendo em seguida, deixado em banho de gelo até que não houvesse mais formação de precipitado.

O produto obtido foi separado por filtração e lavado com água até pH 7. A secagem do material foi feita em estufa a $50 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ até peso constante, sendo denominado por TD5, TD10 (TD) e TD15; TDB5, TDB10 (TDB) e TDB15, TDA5, TDA10 e TDA15 (TDA) e TDAB5, TDAB10 e TDAB15 (TDAB). Os rendimentos foram calculados pela razão entre a massa do produto em relação à massa do material de partida.

4.2.6. Caracterização dos Materiais

4.2.6.1. Determinação do grau de substituição

O grau de substituição (GS) foi determinado para todos os materiais obtidos no Item 4.2.5 conforme a norma ASTM D871-72 (*American Society for Testing and Materials*). O acetato de celulose (0,1000 g) foi transferido para um Erlenmeyer contendo 10 mL de NaOH $0,25\text{ mol.L}^{-1}$ e 10 mL de etanol a 75% (v/v). O recipiente foi vedado e mantido por 24 horas a temperatura ambiente, com agitações ocasionais. Após esse período, foram adicionados 10 mL de HCl $0,25\text{ mol.L}^{-1}$ na mistura, sendo deixada em repouso por mais 30 minutos. A titulação da mistura foi feita com NaOH $0,25\text{ mol.L}^{-1}$, previamente padronizado, utilizando a fenolftaleína como indicador. O percentual de grupos acetil substituídos na cadeia celulósica e o grau de substituição foram calculados de acordo com Equações 10 e 11.

$$\%AG = \frac{(V_{B1} + V_{B2})M_B - (V_A M_A)M_{Acetil}}{m_a} \quad (10)$$

$$GS = \frac{162 \times \%AG}{4300 - (43 \times \%AG)} \quad (11)$$

Onde, %AG é a porcentagem de grupos de acetila; V_{B1} e V_{B2} são os volumes de NaOH adicionados e gastos na titulação (mL) respectivamente; M_B e M_A são as concentrações do NaOH e do HCl (mol.L^{-1}); V_A é o volume de HCl adicionado (mL); M_{Acetil} é a massa molar do grupo acetil (43 gmol.L^{-1}) e m_a é a massa da amostra de acetato de celulose (g).

4.2.6.2. Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)

As amostras de AC foram misturadas com KBr na proporção de 1:99 mg e submetidas à compressão de 80 kPa em uma prensa Shimadzu (NT-FTIR-011). Os espectros de FTIR foram obtidos com o espectrofotômetro SHIMADZU, IRPrestige21, 400 a 4000 cm⁻¹, resolução de 4 cm⁻¹ e 32 varreduras.

4.2.6.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As amostras foram preparadas em porta amostra de alumínio (*stab*) de diâmetro 12 mm, através de fita adesiva de carbono, em seguida, foram metalizadas em Au na presença de gás argônio em um metalizador Emitech, K550X, cátodo luminescência Gatan MonoCL3 por 1,5 minutos. As condições de operação do microscópio eletrônico de varredura (VEJA 3 TESCAN) foram: corrente do feixe de elétrons de 41,5 µA, voltagem de aceleração constante de 5 kV, distância de trabalho de 6 mm.

4.2.6.4. Ressonância magnética nuclear (RMN ¹H e ¹³C)

Os espectros de ressonância magnética nuclear de ¹H e ¹³C foram adquiridos em um espectrômetro Brucker, modelo Ascend™ (Rheinstetten, Germany). As amostras de acetato de celulose (50 mg) foram dissolvidas 700 µL de CDCl₃ (99,8%), em seguida, as soluções foram transferidas para tubos NMR de 5 mm. As amostras foram analisadas em 26 °C, com 25 s de relaxamento e 26 exames. O grau de substituição das amostras foi calculado conforme a Equação 12 (NMAZI *et al.*, 2011).

$$GS = \frac{(A \times 4)}{(3 \times C)} \quad (12)$$

Onde A e C são as integrais dos sinais de metila e dos sinais de prótons da unidade de anidro glucose.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA TORTA DE DENDÊ

5.1.1. Análise Imediata

Os teores de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo foram de 5,32%, 78,13%, 3,75% e 12,8%, respectivamente. O balanço de massa totalizou 100%, valores entre 98 e 102% para o balanço de massa são considerados aceitáveis, uma vez que esta margem de erro leva em consideração o número de etapas de análises, ou mesmo o número de análises, que, combinados com o erro individual, acarretam lapsos ou sobreposições de resultados de acordo com (MARABEZI, 2009). A Tabela 6 traz esses resultados em comparação com a literatura:

Tabela 6- Análise imediata da torta de dendê *in natura*.

Parâmetros	Composição (%)		Referências
	Experimental	Literatura	
Umidade	5,32	2,40-14,28%	NG <i>et al.</i> , 2021, ONIFADE <i>et al.</i> , 2017, ABREU <i>et al.</i> , 2019
Voláteis	78,13	70,03-83,86%	NG <i>et al.</i> , 2021, ABREU <i>et al.</i> , 2019, HIDAYAT <i>et al.</i> , 2021
Cinzas	3,75	1,30-13,65%	NG <i>et al.</i> , 2021, ABREU <i>et al.</i> , 2019, NAZATRENO, SERRA e SOUSA (2018), HIDAYAT <i>et al.</i> , 2021
Carbono fixo	12,8	8,97-18,30%	NG <i>et al.</i> , 2021, ABREU <i>et al.</i> , 2019, HIDAYAT <i>et al.</i> , 2021

Fonte: O autor (2021).

O teor de umidade está dentro da faixa proposta por NG *et al.* (2021) e dos valores encontrados por Onifade *et al.* (2017) e Abreu *et al.* (2019) que foram de 5,93% e 7,97% respectivamente. Todavia, está acima do valor encontrado por Nazareno, Serra e Sousa (2018) que foi de 4,2%. Todos os valores de umidade se encontram dentro da faixa encontrada em biomassa vegetal de 5%-12% (MARCHESE e FIGUEIRA, 2005).

O teor de material volátil está dentro da faixa proposta por NG *et al.* (2021) e dos valores encontrados por Abreu *et al.* (2019) e Hidayat *et al.* (2021), que foram de 79,71% e 86,67%, respectivamente.

O teor de cinzas está dentro da faixa proposta por NG *et al.* (2021) e dos valores encontrados por Abreu *et al.* (2019), Nazareno, Serra e Sousa (2018) e Hidayat *et al.* (2021) que foram de 2,47%, e 4,3% e 5,89%, respectivamente.

O teor de carbono fixo também se localiza na faixa determinada por NG *et al.* (2021) e dos valores encontrados por Abreu *et al.* (2019) e Hidayat *et al.* (2021) que foram de 9,85% e 7,44% respectivamente. A diferença entre os resultados não é incomum, pois não existe um valor padrão para o carbono fixo, uma vez que esse parâmetro depende de outros, tais como, os teores de cinzas e de voláteis. Ele é um dos indicadores de queima do material, o que está de acordo uma das aplicações da torta de dendê usado como combustível para fornos termoelétricos (ARGAWAL, 2020).

5.1.2. Caracterização Química

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise bromatológica da torta de dendê (TD). Os teores de matéria seca (MS), lipídios, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), proteínas, lignina, hemicelulose e celulose. De acordo com os dados da literatura, o teor de matéria seca (MS) está entre 88,11% e 97,7%, lipídios entre 5,7% e 13,55%, fibra em detergente neutro (FDN) entre 64,09% e 81,85%, fibra em detergente ácido (FDA) entre 41,29% e 56,02%, proteína entre 13,01% e 18,21%, lignina 42% e 65%, hemicelulose 17,1% e 33,5% e celulose 42% e 65% (CASTRO *et al.*, 2017; BRINGEL *et al.*, 2011; NUNES *et al.*, 2011; SHINOJ, *et al.*, 2011).

Tabela 7 - Composição química da torta do dendê *in natura*.

Parâmetros	Composição (%)		Referências
	Experimental	Literatura	
MS	94,68	90,44	CASTRO <i>et al.</i> , 2017
Lipídios	8,66	3-5%	FURLAN JUNIOR (2006)
FDN	82,55	66,30	CASTRO <i>et al.</i> , 2017
FDA	61,88	41,49	CASTRO <i>et al.</i> , 2017
Proteínas	14,32	14,27	CASTRO <i>et al.</i> , 2017
Lignina	24,5	15,36	MARYANA <i>et al.</i> , 2019
Hemicelulose	20,67	20,27	MARYANA <i>et al.</i> , 2019
Celulose	37,38	42,56	MARYANA <i>et al.</i> , 2019

Fonte: O autor (2021)

O parâmetro MS é o ponto inicial em análises químicas, ele é importante por indicar a quantidade de nutrientes no vegetal (DOMINICO, LUSTOSA e ÁVILA, 2020). O alto valor encontrado sugere que há bastante nutrientes na TD, além disso, de acordo com Bueno *et al.* (2017), um material seco garante a qualidade e a estabilidade química da biomassa vegetal.

A faixa do teor de lipídios encontrada por Furlan Jr. (2006) na torta de celulose é menor em relação ao valor encontrado neste trabalho (8,66%), porém está dentro da faixa encontrada na literatura (5,7%-13,55%). A elevada variação nos teores de lipídios da torta de dendê, indica alterações nos processos da extração do óleo e entre as unidades de beneficiamento.

Os teores de fibra detergente neutro (FDN) e de fibra detergente ácida (FNA) da torta de dendê *in natura* foram de 82,55% e 61,88% que estão próximos dos valores de 80,42% e 46,43% encontrados por Silva *et al.* (2007). Os teores de celulose, hemicelulose e de lignina determinados a partir do teor de fibras em detergente ácido indica a quantidade de celulose e lignina presente no material, neste trabalho, o teor de FDA é superior ao valor encontrado por Castro *et al.* (2017).

Os teores de lignina, hemicelulose e celulose, obtidos neste trabalho para a TD estão dentro da faixa dos valores encontrados por Shinoj *et al.*, (2011). A hemicelulose, celulose e lignina são os três componentes principais da biomassa residual vegetal. Estão presentes entre 20%- 40%, 40%- 60% e 10%-25 % em massa da biomassa lignocelulósica (MCKENDRY, 2002).

A composição química da torta de dendê varia de acordo com o processo de extração do óleo, que pode ser mecânico ou por solventes. Estas diferenças podem estar relacionadas às características morfológicas e químicas ou podem ser atribuídas a diferentes fatores, dentre eles, composição do solo, clima, período de colheita, maturação dos frutos, sazonalidade e climáticos.

5.1.3. Tratamento Alcalino e Branqueamento

Os resultados de rendimentos em base seca da torta de dendê *in natura* (TD) e da obtidas por diferentes tratamentos, branqueada (TDB), deslignificada (TDA) e deslignificada e branqueada (TDAB) foram de 28,28%, 43,78%, 68,56% deslignificada e 78,03% respectivamente. A diferença da tonalidade dos materiais (Figura 11) é atribuído aos compostos cromóforos responsáveis pela cor escura da

celulose não branqueada (Figuras 11.1 e 11.3) que são gerados, principalmente, a partir da estrutura lignina.



Fonte: O autor (2021)

No processo de branqueamento da torta de dendê (TD, Figura 11.1) houve mudança na cor de marrom-escuro para amarelo-claro (TDB, Figura 11.2) provocada pela decomposição dos íons HOO^- pela ação do agente oxidante (NaClO_2). Neste processo, são eliminados até 90% da lignina presente no material (SUCHY e ARGYROPOULOS, 2001; RABELO, PRADELLA e IENCZAK, 2019).

O rendimento de 43,78% (TDB) está abaixo do valor de 85% obtido por Brasileiro, Colodette e Pilò-Veloso (2001) que utilizaram o oxigênio e peróxido de hidrogênio como agentes oxidantes em polpas livres de cloro (sem uso de compostos clorados no processo). Fatores como pH, metais, tempo de reação, dentre outros, fazem com que o rendimento do processo seja reduzido abaixo da metade de sua eficiência (*ibid*, 2001).

O processo alcalino de tratamento é considerado essencial no processo de branqueamento: seu objetivo é remover os componentes coloridos que são parcialmente solúveis em soluções alcalinas quentes (deslignificação). No final do tratamento com solução de NaOH a 4% (m/v) da TD, a solução apresentou coloração marrom-escuro devido à reação de oxidação de compostos fenólicos e da decomposição da lignina pelo ar.

O rendimento de 68,78% está dentro da faixa (50%-80%) encontrada para diversos materiais lignocelulósicos (ORIEZ, PEYDE ASTAING e PONTALIER, 2020). Visualmente é possível notar que o material TDA (Figura 11.3) sofreu alteração física (fibras abertas) e química, apresentando mudança na cor de marrom-escuro para amarelo-escuro quando comparada a TD *in natura* (Figura 11.1). A torta de

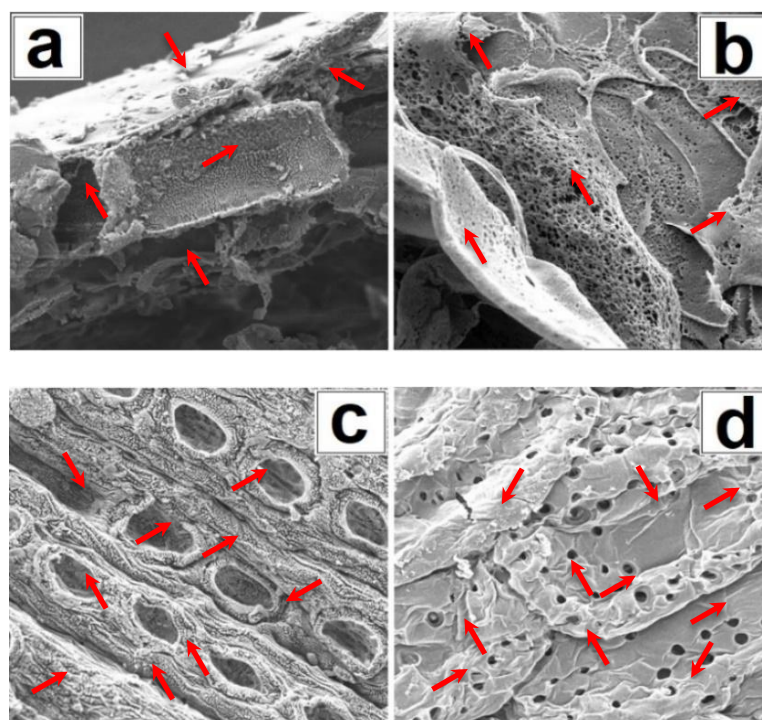
dendê submetida a tratamento alcalino chega a eliminar até 80% da lignina contida na biomassa (RAMOS *et al.*, 2017).

No processo de branqueamento, a TDA (Figura 11.3) apresentou mudança na cor de marrom-escuro para branco levemente amarelado (Figura 11.4). O rendimento de 78,03% obtido para a TDAB, é resultado da combinação dos processos alcalinos, oxidativos e de explosão a vapor. A combinação deles propiciaram um maior acesso à estrutura morfológica do complexo celulósico (lignina e celulose), contribuindo para sua dissolução pelos agentes químicos (BEHERRA *et al.*, 2014; ORIEZ, PEYDE ASTAING e PONTALIER, 2020).

5.1.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 12 apresenta as micrografias do acetato de celulose obtido dos materiais: torta de dendê *in natura* (TD) e da celulose obtida por diferentes tratamentos: branqueada (TDB), deslignificada (TDA) e deslignificada e branqueada (TDAB).

Figura 12 - Micrografias da torta de dendê: (a) *in natura* (TD), (b) branqueada (TDB), (c) deslignificada (TDA) e (d) deslignificada e branqueada (TDAB). Ampliação de 500x (1 e 2).



Fonte: O autor (2021)

A micrografia da torta de dendê *in natura* (Figura 12a), apresenta uma estrutura de fibras sólidas de aspecto rígido, fibroso e na forma de bastonetes, compostas por hemicelulose, lignina e por materiais celulares que estão indicados por setas (COLEN *et al.*, 2019; GALIWANGO *et al.*, 2019). A morfologia superficial da torta de dendê tratada com NaClO₂ (Figura 12b), apresenta uma abertura na estrutura do material lignocelulósico de aspecto fibroso e poroso causado pela remoção parcial da hemicelulose e lignina (GALIWANGO *et al.*, 2019).

Na micrografia da torta de dendê tratada com NaOH (explosão a vapor) (Figura 12c) são observadas cavidades ao longo da fibra e a presença de canais ou fendas e uma parede celular estratificada. Esses elementos influenciam diretamente a superfície de contato e, por conseguinte, uma maior reatividade da amostra, o que permite uma maior acessibilidade à amostra por enzimas (ASSUNÇÃO *et al.*, 2016).

A micrografia da torta de dendê deslignificada e branqueada (Figura 12d) apresenta morfologia superficial rugosa automontadas devido à forte atração interfibrilar entre os grupos hidroxil da superfície, bem como, pequenas cavidades distribuídas na ao longo das fibras, o que aumenta a superfície de contato da amostra, além de expor a fibra à maiores interações químicas.

5.1.5. Síntese do Acetato de Celulose

A Tabela 8 apresenta os resultados de rendimentos do acetato de celulose obtidos a partir da torta de dendê por reação de acetilação dos materiais TD, TDB, TDA e TDAB. As taxas de conversão da amostra TD em acetato de celulose variou entre 12,49% (TD5) a 19,75% (TD15), esses valores estão acima dos valores da faixa de 4 a 8% obtidos por Cao *et al.* (2018) com resíduos verdes de paisagismo sem nenhum tipo de tratamento.

Tabela 8 - Rendimento e taxa de conversão do acetato de celulose a partir da torta do dendê.

Amostra	Rendimento (%)	Amostra	Rendimento (%)
TD5	12,4	TDA5	37,51
TD10	15,31	TDA10	50
TD15	19,75	TDA15	72,82
TDB5	26,34	TDAB5	50,45
TDB10	32,12	TDAB10	65,5
TDB15	36,04	TDAB15	97,21

Fonte: O autor (2021)

O rendimento do acetato de celulose obtidos da amostra TDB foi de 26,34% (TDB5) e 36,04% (TDB15) e quando comparados aos rendimentos das amostras TD15 e TDB15, houve um aumento de 58,40% (TDB15), isso se deve à capacidade de dissolução da lignina pelo clorito que está na faixa de 90% (RABELO, PRADELLA e IENCZAK, 2019) que permitiu a interação entre o anidrido e a celulose.

Sem auxílio de um processo físico, como a explosão a vapor, não há a quebra da estrutura lignocelulósica, então, a lignina fica menos exposta ao ataque químico fazendo com que o rendimento seja menor que aqueles processos submetidos a um processo físico. Esse fato justifica os rendimentos inferiores a 68,73% obtidos por Harini, Ramya e Sukumar (2018) com a casca da banana.

Seguindo a tendência geral observada neste trabalho, os rendimentos do acetato de celulose obtidos para as amostras TDA foram maiores do que os obtidos com a TDB. O rendimento de 72,82% (TDA15) está próximo de 76% obtido a partir da casca do babaçu (AMARAL *et al.*, 2019).

O processo alcalino chega remover até 90% da hemicelulose e lignina. Além disso, a explosão a vapor destrói a estrutura química do material lignocelulósico fazendo com que haja uma maior eficiência da interação do álcali com o resíduo (PEREIRA, ANJO e MAGNAGO, 2019).

Os maiores rendimentos foram encontrados nas amostras TDAB, as quais foram submetidas a dois processos químicos e um físico. Esse procedimento foi adotado por que o tratamento alcalino de resíduos lignocelulósicos tende a escurecer a celulose, sendo então, necessário um tratamento oxidativo a fim de clarificá-la, o que acaba contribuindo para eliminar a lignina residual, o que contribui para o aumento da pureza (PEREIRA, ANJO e MAGNAGO, 2019).

A amostra TDAB15 apresentou a melhor taxa de conversão em acetato de celulose (97,21%), sendo este, superior a 81,75% encontrado por Tristantini e Sandra (2018) que utilizaram cachos de dendê como fonte de celulose.

5.1.6. Grau de Substituição

O grau de substituição é o valor médio de grupos acetila (GA) que substituem os hidrogênios dos grupos hidroxilas nas unidades glicosídicas. Na Tabela 9 são apresentados os resultados do grau de substituição (GS) do acetato de celulose (AC) obtidos a partir do método químico e por RNM dos diferentes materiais

TD, TDB, TDA e TDAB. Pelo método químico, a porcentagem de grupos acetila variou entre 36,85% e 40,61% (TD), 41,47% e 41,83% (TDB), 41,93% e 42,69% (TDA) e 42,69% e 43,60% (TDAB), respectivamente. O GS do acetato de celulose variou entre 2,20 e 2,58 (TD), 2,67 e 2,71 (TDB), 2,72 e 2,81 (TDA) e 2,8 e 2,91 (TDAB).

O GS do acetato de celulose foi calculado individualmente para cada material por ^1H -RMN e ^{13}C -RMN a partir das intensidades espectrais. Os prótons da unidade de anidroglicose (AGU) estão localizados entre $\delta = 3,6$ e $\delta = 5,2$ ppm e correspondem aos quatro prótons de AGU. A área entre $\delta = 1,9$ e $\delta = 2,2$ ppm corresponde aos três prótons do acetil. O GS do acetato de celulose variou entre 1,81 e 2,63 (TD), 2,06 e 2,92 (TDB), 1,86 e 2,69 (TDA) e 2,81 e 3,07 (TDAB). O valor de GS corresponde a um valor médio de grupos acetila encontrados por unidade monomérica do AC. Os resultados se mostram próximos àqueles apresentados no catálogo da Aldrich de grupos acetila (39,8%) e grau de substituição igual a 2,54.

O GS igual a 2,5 corresponde a unidades monoméricas contendo quantidade equivalente a 2 e 3 grupos acetila, isto sugere que as reações de acetilação foram bem-sucedidas em relação à substituição dos grupos hidroxila pelos acetila em quase todos os materiais ficando abaixo do valor os materiais TD5 e TD10 (2,20 e 2,25), determinados pelo método químico e TD5, TD10, TDB5, TD10, TDA5, TDA10, determinados por RMN. De acordo com os resultados do GS, valores acima de 2,5 são característicos do triacetato de celulose (PULEO *et al.*, 1989), enquanto que valores abaixo de 2 do diacetato de celulose (HAYKAWA *et al.*, 2019).

Tabela 9 - Grau de substituição do acetato de celulose.

Amostra	Método Químico		^1H RMN			GS Total
	GA (%)	GS	H-2	H-3	H-6	
TD5	36,85	2,20	0,59	0,63	0,59	1,81
TD10	37,43	2,25	0,83	0,85	0,61	2,28
TD15	40,61	2,58	0,95	0,98	0,70	2,63
TDB5	41,47	2,67	0,54	0,69	0,83	2,06
TDB10	41,55	2,68	0,72	0,82	0,84	2,38
TDB15	41,83	2,71	0,86	1,17	0,89	2,92
TDA5	41,93	2,72	0,64	0,64	0,58	1,86
TDA10	42,22	2,75	0,92	0,62	0,93	2,47
TDA15	42,69	2,81	0,95	0,76	0,98	2,69
TDAB5	42,69	2,81	0,91	0,92	0,98	2,81
TDAB10	42,71	2,81	0,94	0,85	1,23	3,02

TDAB15	43,60	2,91	0,93	1,22	0,92	3,07
--------	-------	------	------	------	------	------

Fonte: O autor (2021)

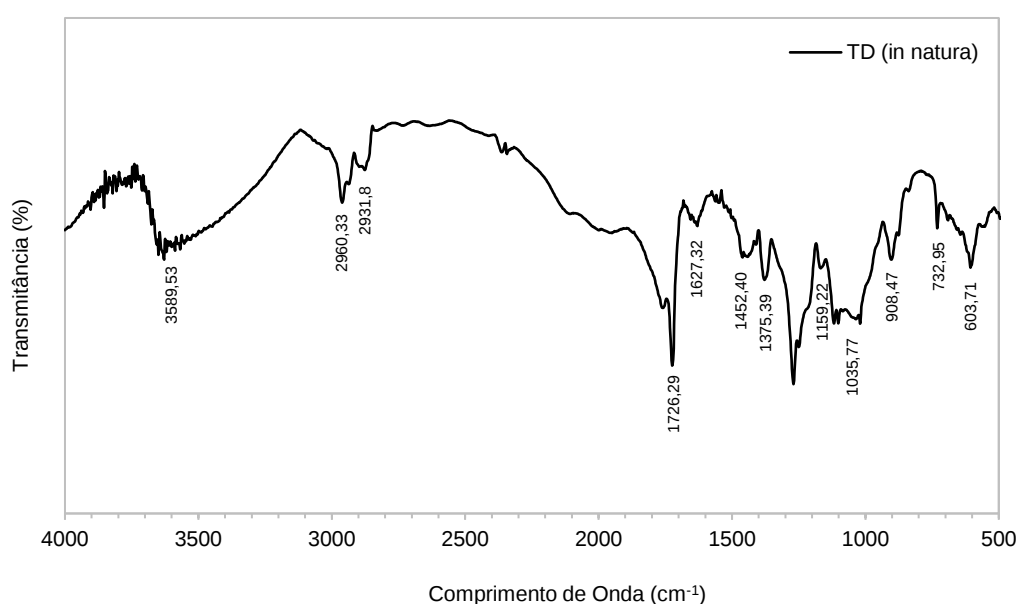
5.1.7. Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)

A Figura 13 apresenta o espectro de FTIR da torta de dendê *in natura* (TD). A faixa de absorção na região entre 3800 cm^{-1} e 3000 cm^{-1} abrange a soma da vibração das bandas de valência da ligação de hidrogênio do grupo O-H e as bandas das ligações de hidrogênio intra e intermoleculares na celulose (POPESCU *et al.*, 2011).

As bandas nas regiões 2931 cm^{-1} e 1726 cm^{-1} indicam a presença da ligação C-H dos grupos CH_2 e CH_3 e do estiramento C=O da hemicelulose não conjugada. As bandas 1627 cm^{-1} e 1452 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento do anel aromático da lignina C=C e C=O e a deformação da lignina CH_2 e CH_3 .

A banda 1375 cm^{-1} é atribuída às vibrações de estiramento e de deformação do grupo C-H na unidade de glicose. As bandas nas regiões entre 1200 cm^{-1} e 1100 cm^{-1} são atribuídas à hemicelulose e à celulose, devido ao estiramento C-O (OH *et al.*, 2005). A banda em 908 cm^{-1} é atribuída à ligação glicosídica β -(1 $\rightarrow$ 4) entre unidades de glicana é característica à região amorfa da celulose (POLETO, ORNAGHI e ZATTERA, 2014).

Figura 13 - Espectro de FTIR da torta de dendê *in natura* (TD).



Fonte: O autor (2021)

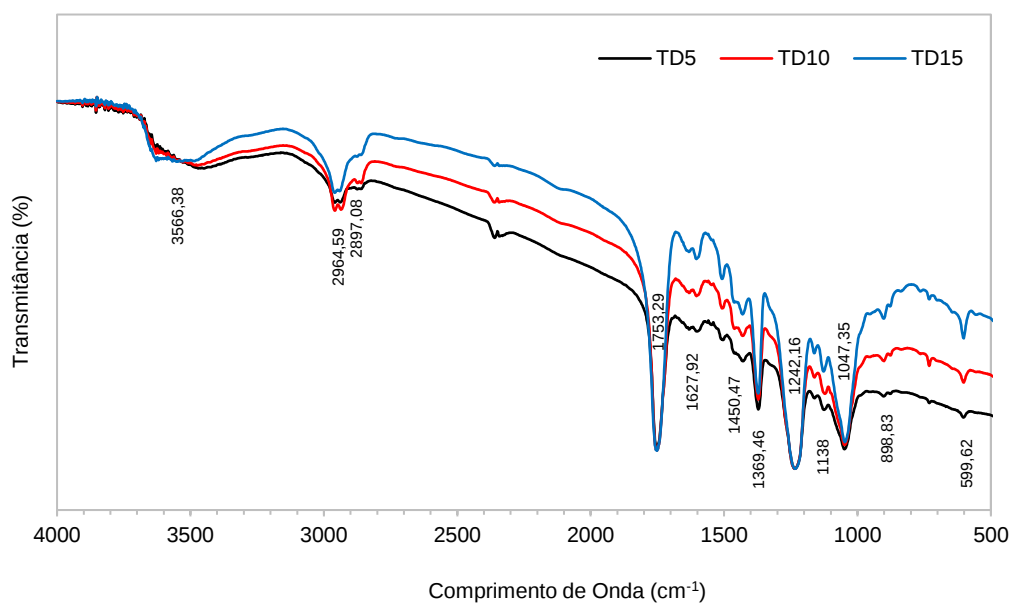
As Figuras 14, 15 e 16 apresentam os espectros de FTIR do acetato de celulose obtidos por acetilação dos materiais TD, TDB e TDA. Os espectros apresentam faixas de absorção na região entre 3562 cm^{-1} e 3450 cm^{-1} atribuídas à hidroxila (O-H). As bandas nas regiões entre 2937 cm^{-1} e 2897 cm^{-1} indicam a presença da ligação C-H e dos grupos CH_2 e CH_3 . As bandas entre 1749 cm^{-1} e 1732 cm^{-1} são atribuídas às vibrações do estiramento C=O da hemicelulose não conjugada.

As bandas nas regiões entre 1633 cm^{-1} e 1627 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento do anel aromático da lignina C=C e C=O. Nas regiões entre 1489 cm^{-1} e 1427 cm^{-1} são atribuídas à deformação simétrica angular no plano do grupo CH_2 da celulose, polioses e lignina. As bandas entre 1384 cm^{-1} e 1361 cm^{-1} são atribuídas as vibrações de estiramento e deformação simétrica no plano do grupo C-H na unidade de glicose e a deformação angular no plano do grupo OH da celulose, polioses e lignina.

As bandas 1179 cm^{-1} , 1126 cm^{-1} e 1034 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento assimétrico do grupo C-O-C da vibração do anel de piranose das polioses. As bandas 898 cm^{-1} e 600 cm^{-1} são atribuídas às ligações β -glicosídicas entre unidades de glicana e ao estiramento C-O dos grupos acetila da celulose (PINHEIRO *et al.*, 2019; PINTO *et al.*, 2017).

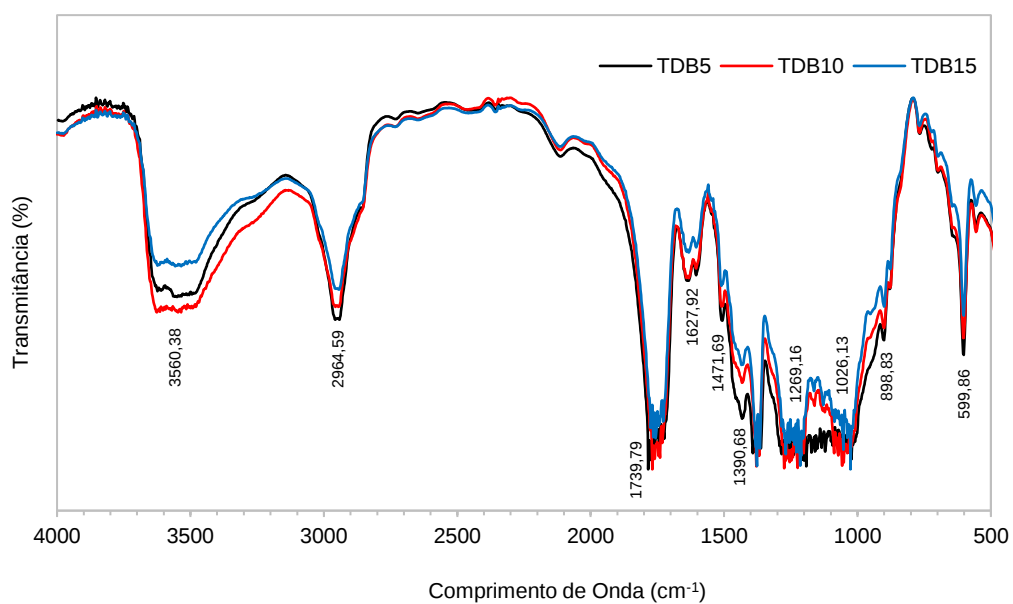
Os resultados dos grupos funcionais do acetato de celulose obtidos por FTIR da TD, TDB e TDA nas diferentes condições de acetilação apresentam bandas de baixa intensidade de O-H na região de 3500 cm^{-1} em todos os materiais, isto é, um indicativo de grupos -OH não substituídos, bem como, a presença de outros picos na região de 1500 cm^{-1} atribuídos a lignina e hemicelulose (MARCHESSAULT, 1962).

Figura 14 - Espectros de FTIR do acetato de celulose obtido da TD *in natura*.



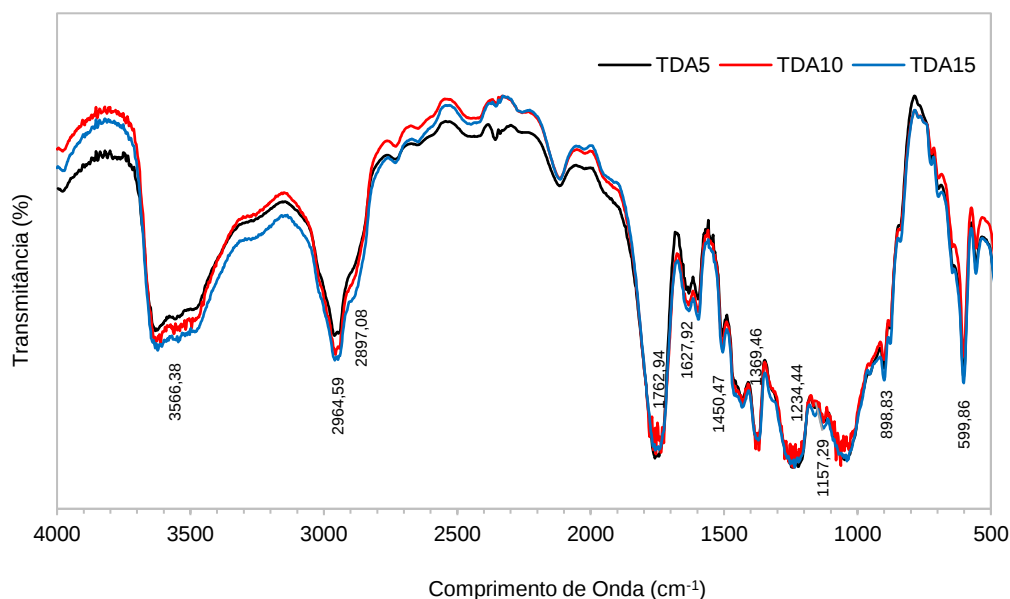
Fonte: O autor (2021)

Figura 15 - Espectros FTIR do acetato de celulose obtido da TDB.



Fonte: O autor (2021)

Figura 16 - Espectros de FTIR do acetato de celulose obtido da TDA.

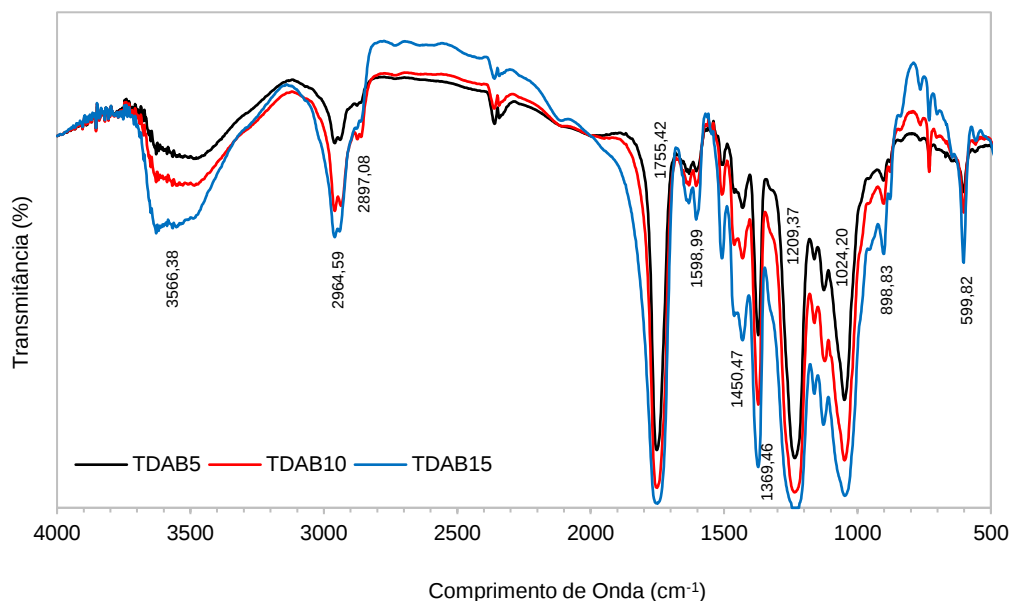


Fonte: O autor (2021)

Na Figura 17 são apresentados os espectros de FTIR do acetato de celulose obtidos da torta de dendê deslignificada e branqueada (TDBA) nas diferentes condições de acetilação. Os espectros apresentam faixas de absorção na região entre 3554 cm⁻¹ e 3539 cm⁻¹ atribuídas ao estiramento do grupo hidroxila (O-H). As bandas nas regiões entre 2943 cm⁻¹ e 2897 cm⁻¹ indicam a presença da ligação C-H e dos grupos CH₂ e CH₃. O espectro da TDAB acetilada mostra a presença de três importantes vibrações do grupo acetil em 1755 cm⁻¹ (C=O), 1369 cm⁻¹ (CH₃) e 1209 cm⁻¹ (C-O). A banda em 1024 cm⁻¹ é atribuída ao estiramento C-O da celulose, polioses e acetato de celulose, ela torna-se mais intensa em função do aumento no número de ligações do éster.

Com base nos resultados de FTIR dos materiais TD, TDB, TDA e TDAB nas diferentes condições das reações de acetilação (5, 10 e 15 (m/m) de CH₃CO₂H), os espectros apresentam um padrão de absorção do grupo OH na região entre 3800 cm⁻¹ e 3000 cm⁻¹ em todos os produtos obtidos. Isso se deve à presença do grupo hidroxílico da celulose que não é substituído pelo grupo acetil, provavelmente, pela presença de água no material de partida. Dentre os materiais testados, o TDAB foi o que apresentou o melhor resultado nas condições TDAB10 e TDAB15.

Figura 17 - Espectros de FTIR do acetato de celulose obtido TDAB.



Fonte: O autor (2021)

5.1.8. RMN (^1H e ^{13}C)

O Apêndice I traz os espectros de ^1H -RMN e de ^{13}C -RMN do acetato de celulose obtido da torta de dendê *in natura* (TD), deslignificada (TDA), branqueada (TDB) e branqueada e deslignificada (TDAB) e nas relações de ácido acético 1:5;10 e 15 (m/m). Originando 15 diferentes acetados de celulose: TD5; TD10; TD15; TDA5; TDA10; TDA15; TDB5; TDB10; TDB15; TDAB5; TDAB10 e TDAB15.

Espectros de ^1H -RMN de $\delta = 3,5$; $3,6$ e $5,3$ ppm são associados aos quatro hidrogênios de carbono glicosídico. Entre $\delta = 1,75$; $1,9$ e $2,20$ ppm, os picos relacionados com os três de hidrogênio metílicos nos grupos acetato (NMAZI *et al.*, 2011; CERQUEIRA *et al.*, 2010). A análise do ^1H -RMN revelou que no AC obtido de TD10; TD15; TDB10; TDB15; TDA10; TDA15; TDAB5; TDAB10; TDAB15 houve pelo menos 3 substituições de hidrogênios de hidroxila apontada pelo tripleto na faixa $\delta = 1,75$ a $\delta = 2,2$ ppm. Assim, é possível concluir que para esses materiais foi obtido o triacetato de celulose. Já as amostras TD5; TDA5 e TDB5 apontam diacetato de celulose nessa região evidenciado pela ausência de um tripleto nessa região.

O espectro de ^{13}C -RMN dos picos de $\delta = 56$, 110 e 150 ppm são associados à lignina; a hemicelulose é identificada pelos picos $\delta = 21,5$ e 174 ppm; a carbonila é reconhecida pelo sinal $\delta = 170,6$ ppm e, por fim, o sinal de metila é reconhecido como sendo de $\delta = 21,0$ ppm (SANTOS *et al.*, 2003). Em nenhum dos acetatos

sintetizados foi observado sinais relativos à lignina e a hemicelulose, tal fato demonstrou a eficiência dos pré-tratamentos aplicados à torta de dendê, indiciando, com isso, a pureza do material sintetizado. Além disso, foi possível visualizar sinais associados à carbonila e à metila, isso confirma a identidade de acetato de celulose da substância sintetizada a partir da torta de dendê em diferentes condições de pré-tratamento.

6. CONCLUSÃO

Os parâmetros da análise imediata da torta de dendê *in natura* (TD): umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo, foram 5,32%, 78,13%, 3,75% e 12,8% respectivamente. A composição química da torta de dendê *in natura* (TD) utilizada como material de partida foi de 37,38% de celulose, 20,67% de lignina, 24,5% de hemicelulose.

Os rendimentos em base seca da torta de dendê *in natura* (TD) e dos materiais obtidos por diferentes tratamentos: branqueada (TDB); deslignificada (TDA) e deslignificada e branqueada (TDAB) foram de 28,28%, 43,78%, 68,56% deslignificada e 78,03% respectivamente.

Os acetatos de celulose da torta de dendê produzidos por meio da reação de acetilação a partir dos materiais TD, TDB, TDA e TDAB apresentaram rendimentos de 12,40% (TD5) a 97,21% (TDAB15), sendo a melhor condição a TDAB15.

O Grau de substituição (GS) do acetato de celulose determinado pelo método químico variou de 2,2 (TD5) a 2,91 (TDAB15) com percentuais de grupos acetil de 36,85% (TD5) a 43,60% (TDAB15), por RNM variaram de 1,81 (TD5) a 3,07 (TDAB15) sendo caracterizados como diacetato de celulose (TD5 a TDA10) e triacetato de celulose (TDA15 a TDAB15).

Este trabalho contribuiu para a obtenção, modificação e aplicação da celulose proveniente da torta do dendê, de forma a conduzir a um melhor aproveitamento deste resíduo. Os valores de GS foram condizentes com o tempo de acetilação (24 h), esta funcionalidade é muito interessante, visto que a produção de celulose biodegradável é desejável considerando aspectos ambientais e econômicos.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, Aisha; AHMED, Ashfaq; AKHTER, Parveen; RAZZAQ, Abdul; ZAFAR, Muhammad; HUSSAIN, Murid; SHAHZAD, Nasir; MAJEED, Khaliq; KHURRUM, Shahzad; BAKAR, Muhammad S. A.; PARK, Young-Kwon. Bioenergy potential and thermochemical characterization of lignocellulosic biomass residues available in Pakistan. **Korean J. Chem. Eng.**, 37, n. 11, p. 1899 -1906, 2020.
- ABREU, Jesomi J. da C.; MARTINS, Cleibiane da S.; PEREIRA, Paulo C. G.; BIANCHI, Maria L.; NOBRE, João R. C. Elementary, Chemical and Energy Characterization of “Dendê” (*Elaeis guineensis* Jacq.) Waste in the State of Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, 2019.
- AGARWAL, Tara. Proximate Analysis of Lignocellulosic Forestry and Agro-Industrial Wastes. **Invertis Journal of Renewable Energy**, v. 10, n. 3, p. 131-141, 2020.
- AGUSTIN-SALAZAR, Sarai; CERRUTI, Pierfrancesco; MEDINA-JUÁREZ, Luis Ángel; SCARINZI, Gennaro; MALINCONICO, Mario; SOTO-VALDEZ, Herlinda; GAMEZ-MEZA, Nohemi. Lignin and holocellulose from pecan nutshell as reinforcing fillers in poly (lactic acid). **Biocomposites. International Journal of Biological Macromolecules**, v. 115, p. 727–736, 2018.
- ALLESÍ, Leticia S.; SILVA, Joelen O. da; PÁDUA, Franciane A. de; BOTARO, Vagner R. Cellulose acetate obtained from *Schizolobium parahyba* (vell.) Blake wood. Research, **Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021.
- AMARAL, Heliane R.; CIPRIANO, Daniel F.; SANTOS, Mayara S.; SCHETTINO JR., Miguel A.; FERRETI, João V.T.; MEIRELLES, Carla S.; PEREIRA, Vanessa S.; CUNHA, Alfredo G.; EMMERICH, Francisco G.; FREITAS, Jair C.C. Production of high-purity cellulose, cellulose acetate and cellulose-silica composite from babassu coconut shells. **Carbohydrate Polymers**, v. 210, p. 127 – 134, 2019.
- ANDRE, Ana C. G. M.; SILVA, Ana P. F.; VASCONCELOS, E. M. de. Caracterização físico-química do material vegetal e dos extratos de *Cestrum laevigatum* (solanaceae). **Cadernos de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde Fics**, v. 1, n.2, p. 11-19, 2013.
- AQUARONE, E, BORZANI, W., LIMA, U.A. **Biotecnologia: tópicos de microbiologia industrial**. v. 2. São Paulo: E. Blücher. 1990.
- ASAADI, Shirin; KAKKO, Tia; KING, Alistair W.T.; KILPELÄINEN, Ilkka; HUMMEL, Michael; SIXTA, Herbert. High-performance acetylated ioncell-f fibers with low degree of substitution. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, n. 6, p. 9418 – 9426, 2018.
- AUGOU, Ovo S. F.; OUATTARA, Souleymane; SERIFOU, Mamery A.; KOUAKOU, Conand H.; DJOHORE, Ange C.; EMERUWA, Edjikémé. Influence de la teneur en amidon de manioc sur la qualité d'un biocharbon à base de sciure de bois et d'amidon de manioc. **Revue RAMReS – Sciences Appliquées et de l'Ingénieur**, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2020.
- AUNG, Ei M.; ENDOA, Takatsugu; FUJIIA, Shunsuke; KURODA, Kosuke; NINOMIYA, Kazuaki; TAKAHASHI, Kenji. Efficient pretreatment of bagasse at high loading in an ionic liquid. *Industrial Crops & Products*, n. 119, p. 243–248, 2018.

BAPTISTA NETO, Álvaro de; MASARIN, Fernando; PAULA, Ariela Veloso de; MIOTTI JUNIOR, Rodney Helder; PEIXOTO, Guilherme. Aspectos de produção de biocombustível. In: SILVA, Allan Leon Casemiro da; GÓES, Bruno C.; PUTTI, Fernando F. (orgs). **Sustentabilidade no Agronegócio**. 1. ed. Tupã: ANAP, 2020.

BATTISTI, Rodrigo; HAFEMANN, Eduardo; CLAUMANN, Carlos A.; MACHADO, Ricardo A. F.; MARANGONI, Cintia. Synthesis and characterization of cellulose acetate from royal palm tree agroindustrial waste. **Polymer Engineering & Science**, v. 59, n. 5, p. 891-898, p. 2019.

BEHERA, Shuvashish; ARORA, Richa; NANDHAGOPAL, N.; KUMAR, Sachin. Importance of chemical pretreatment for bioconversion of lignocellulosic biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.36, p.91 – 106, 2014.

BHATNAGAR, A.; TOLVANEN, H.; KONTTINEN, J. Potential of stepwise pyrolysis for on-site treatment of agro-residues and enrichment of value-added chemicals. **Waste Management**. v. 118, p. 667–676, 2020.

BRASILEIRO, Lilian B.; COLODETTE, Jorge L.; PILÓ-VELOSO, Dorila. A utilização de perácidos na designificação e no branqueamento de polpas celulósicas. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 819 - 829, 2001.

BRAZILIO, M. (In memoriam); BISTACHIO, N. J.; SILVA, V. de C.; NASCIMENTO, D. D. do. Revisão: O Dendzeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Bioenergia em revista: diálogos**, v. 2, n. 1, p.27-45, 2012.

BRINGEL, L.M.L.; NEIVA, J.N.M.; ARAÚJO, V.L.; BOMFIM, M.A.D.; RESTLE, J.; FERREIRA, A.C.H.; LÔBO, R.N.B. Consumo, digestibilidade e balanço de nitrogênio em borregos alimentados com torta de dendê em substituição à silagem de capim elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, n.9, p.1975-1983, Set. 2011. Disponível em: Acesso em: 25 nov. 2021.

BRITO, Douglas. **Preparo de material nanoencapsulado a partir de vitamina C extraída de resíduo de agroindustrial de acerola**. Embrapa: Petrolina, 2020. (circular técnica).

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. - Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. IPEF, **Piracicaba**, n. 14, p. 9 - 20, 1977.

BUENO, Antonio V. I.; JOBIM, Cloves C.; RIBEIRO, Matheus G.; OLIVEIRA, Janaina P. de. Método de obtenção de matéria seca e composição química de volumosos. **Cienc. anim. bras.**, v.18, p. 1 - 8, 2017.

CANDIDO, R.G.; GODOYA, G.G.; GONÇALVES, Adilson R. Characterization and application of cellulose acetate synthesized from sugarcane bagasse. **Carbohydrate Polymers**, n.167, p. 280–289, 2017.

CAO, Leichang; LUO, Gang; TSANG, Daniel C.W.; CHEN, Huihui; ZHANG, Shicheng; CHEN, Jianmin. A novel process for obtaining high quality cellulose acetate from green landscaping waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 338 – 347, 2018.

CASTRO, Vinícius C. G. de; AMARAL JÚNIOR, João M. do; MARTORANO, Lucieta G.; FERNANDES, Paulo C. C.; MONTEIRO, Samanta do N.; LOURENÇO JÚNIOR, José de B. Emissões de metano entérico em búfalas na Amazônia Oriental: TIER 2 e

hexafluoreto de enxofre. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 3, p. 286-290, 2017

CATELAN, Thais C.; PINOTT, Laura M. Avanço das pesquisas envolvendo *Aspergillus niger* e bagaço da cana-de-açúcar como fonte de carbono visando à produção de celulases: Uma análise bibliométrica. **Revista Matéria**, v.24, n.02, 2019.

CECCHI, Heloisa Mácia. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora Unicamp, 2003.

CERQUEIRA, Daniel A.; RODRIGUES FILHO, Guimes; CARVALHO, Rui de A.; VALENTE, Artur J. M. Caracterização de Acetato de Celulose Obtido a partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar por ^1H -RMN. **Polímeros**, v. 20, n. 2, 2010.

CHANDRA, J., GEORGE, N. & NARAYANANKUTTY, S. K. Isolation and characterization of cellulose nanofibrils from arecanut husk fibre. **Carbohydrate polymers** 142, 158–166 (2016).

CHAULA, Zephania; SAID, Mahir; JOHN, Geoffrey; MANYELE, Samwel; MHILU, Cuthbert. Modelling the suitability of pine sawdust for energy production via biomass steam explosion. **Smart Grid and Renewable Energy**, v. 5, p. 1 – 7, 2014.

COLEN, A. G. N.; SILVA, D. A. S.; SILVA JR, J. L. C.; NASCIMENTO JR., R. E.; SILVA, F. M. Aplicabilidades de materiais residuais de origem lignocelulósica. **Revista Multidebates**. v. 3, n. 2, 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Indic. Agropec., Brasília, Ano Ano XXVII, n.10, outubro 2018, p. 01-116. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/precos/revista-indicadores-da-agropecuaria/item/download/1678_527d71af0608a5e166819488d5218bf0>. Acesso: Ago/2019.

COSTA SILVA, Maria das G. C. P.; VIEIRA, Edivânia S.; MAIER, Thais F.; BARRETTO, Waldemar de S. Composição química da pupunha no sul da bahia. **Agrotrópica**, v. 29, n.1, p. 63 – 68, 2017.

COSTA, Ana Carolina S.; OLIVEIRA, Aylson C.; FREITAS, Adrieli J. de; LEAL, Camila S.; PEREIRA, Bárbara L. C. Qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos comercializado em Cuiabá – MT. *Nativa*, Sinop, v.5, n.6, p.456 - 461, 2017.

COSTA, S. J.; ERASMO, E. A. L.; SILVA, J.; OLIVEIRA, T. C. Desempenho de híbridos de dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.) nas fases de pré-viveiro e viveiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 4, p. 34-39, 2018.

DELUCIS, Rafael de A.; SANTOS, Patricia S. B. dos; BELTRAME, Rafael; GATTO, Darci A. Chemical and fuel properties of forestry wastes from pine plantations. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, 2017.

DEWICK, Paul M. **Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach**. 3. ed. Nova York: John Wiley & Sons, 2009.

DOMINICO, Celina de F. T.; LUSTOSA, Sebastião B. C.; FABRICIO, Fabricio W. de Á. Acúmulo de matéria seca e absorção de nitrogênio, fósforo e potássio por azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) cultivar BARjumbo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe3valo63n.html>> Acesso: Ago/2019.

FARIAS, M.S.; PRADO, I.N.; VALERO, M.V.; ZAWADZKI, F.; SILVA, R.R.; EIRAS, C.E.; RIVAROLI, D.C.; LIMA, B.S. Níveis de glicerina para novilhas suplementadas em pastagens: desempenho, ingestão, eficiência alimentar e digestibilidade. **Semana: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.3, p.1177-1188, Maio/Jun. 2012. Disponível em: Acesso em: 25 jan. 2021.

FENG, Yan-Hong; CHENG, Tian-Yu; YANG, Wen-Gang; MA, Peng-Tao; HE, He-Zhi; YIN, Xiao-Chun; YU, Xing-Xing. Characteristics and environmentally friendly extraction of cellulose nanofibrils from sugarcane bagasse. **Industrial Crops & Products**, v. 111, p. 285 – 291, 2018.

FLORENCIO, Camila; BADINO, Alberto C.; FARINAS, Cristiane S. Desafios relacionados à produção e aplicação das enzimas celulolíticas na hidrólise da biomassa lignocelulósica. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p.1082 - 1093, 2017.

FREITAS, Roberta R.M. de; SENNA, André M.; BOTAR, Vagner R. Influence of degree of substitution on thermal dynamic mechanical and physicochemical properties of cellulose acetate. **Industrial Crops & Products**, n. 109, p. 452 – 458, 2017.

FRODESONA, Stefan; HENRIKSSONB, Gunnar; BERGHELA, Jonas. effects of moisture content during densification of biomass pellets, focusing on polysaccharide substances. **Biomass and Bioenergy**, v. 122, p. 322–330, 2019.

FURLAN JUNIOR, José. **Dendê: manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006 (documento)

GAETE, A. V; TEODORO., C. E. S; MARTINAZO, A. P. Utilização de resíduos agroindustriais para produção de celulase: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

GALIWANGO, Emmanuel; RAHMAN, Nour S. A.; AL-MARZOUQI, Ali H.; ABU-OMAR, Mahdi M.; KHALEEL, Abbas A. Isolation and characterization of cellulose and α -cellulose from date palm biomass waste. **Heliyon**, v. 5, 2019.

GEORGE, J., SREEKALA, M. S., and THOMAS, S. A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites. **Polym. Eng. Sci.**, v. 41, p. 1471 – 1485, 2001.

GUIMARÃES, Munique G.; EVARISTO, Rafael B. W.; BRASIL, Augusto C. de M.; GHESTI, Grace F. Green energy technology from buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) for Brazilian agro-extractive communities. **SN Applied Sciences**, v. 3, n. 283, 2021.

HARRIS, Peter. J. F. Transmission Electron Microscopy of Carbon: A Brief History. **Jornal of carbon research**, n. 4, v.4, 2018.

HAMEED, Imad H.; AL-RUBAYE, Abeer F.; KADHIM, Mohanad J. Uses of Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy Technique in Pharmaceutical Analysis: A Review. **International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research**, v. 8, n. 2, p. 79 – 84, 2017.

HARINI, K.; RAMYA, K.; SUKUMAR, M. Extraction of nano cellulose fibers from the banana peel and bract for production of acetyl and lauroyl cellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 201, p. 329 – 339, 2018.

HATAMOTO, Kazuya; SHIMADA, Hikaru; KONDO, Misaki; NOBUKAWA, Shogo; YAMAGUCHI, Masayuki. **Effect of acetyl substitution on the optical anisotropy of cellulose acetate films**. *Cellulose*, n. 25, p. 4453 – 4462, 2018.

HIDAYAT, Wahyu; RINIARTI, Melya; PRASETIA, Hendra; NISWATI, Ainin; HASANUDIN, Udin; BANUWA, Irwan Sukri; YOO, Jiho; KIM, Sangdo; LEE, Sihyun. Characteristics of biochar produced from the harvesting wastes of meranti (*Shorea* sp.) and oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 749, 2021.

HIRUNSUPACHOTE, S.; CHAVALPARIT, O. Predicting the Biomethanation Potential of Some Lignocellulosic Feedstocks using Linear Regression Models: The Effect of Pretreatment. **KSCE Journal of Civil Engineering**. n. 23, v. 4, p.1501-1512, 2019.

HOMMA, Algreto Kingo Oyama. **Cronologia do cultivo do dendezeiro na Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. (Documentos).

JACOBSEN, Neil E. **NMR Spectroscopy Explained: Simplified Theory, Applications and Examples for Organic Chemistry and Structural Biology**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.

JESUS, Luiz F. de M. C. de; FERREIRA, Layane A.; DECHANDT, Carlos R. P. Degradação lignocelulósica por hidrólise enzimática visando a produção de etanol. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 2 n. 7, 2018.

KEHAYIAS, P.; JARMOLA, A.; MOSAVIAN, N.; FESCENKO, I.; BENITO, F.M.; LARAOUI, A.; SMITS, J.; BOUGAS, L.; BUDKER, D.; NEUMANN, A.; BRUECK, S.R.J.; ACOSTA, V.M. Solution nuclear magnetic resonance spectroscopy on a nanostructured diamond chip. **Nature communications**, v. 8, n. 188, 2017.

KHOSHNEVISAN, Kamyar; MALEKI, Hassan; Hadi SAMADIAN, SHAHSAVARI, Shadab; SARRAFZADEH, Mohammad Hossein; LARIJANI, Bagher; DORKOOSH, Farid Abedin; HAGHPANAH, Vahid; KHORRAMIZADEH, Mohammad Reza. Cellulose acetate electrospun nanofibers for drug delivery systems: Applications and recent advances. **Carbohydrate Polymers**, v. 198, p.131–141, 2018.

KUMAR, S.P. Jeevan; KUMAR, N. S. Sampath;CHINTAGUNTA, Anjani Devi. Bioethanol production from cereal crops and lignocelluloses rich agro-residues: prospects and challenges. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 1673, 2020.

LAMEIRA, Wanja J.; VIEIRA, Ima C. G.; TOLEDO, P. M. de. Expansão da dendeicultura em relação às zonas agroecológicas de tomé-açu, Pará. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 68, v.10, p. 1905-1917, 2016.

LANA, Artur Q.; SALLES, Thiago T.; CARNEIRO, Angélica de C. O.; CARDOSO, Marco T.; TEIXEIRA, Ramon U. Comparison of procedures for immediate chemical analysis of charcoal. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p.371-376, 2016.

LEITE, Diego de O.; PRADO, Rogério J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, 2504, 2012.

LIU, Yuxin; SUN, Bing; ZHENG, Xuefan; YU, Lingfang; LI, Jianguo. Integrated microwave and alkaline treatment for the separation between hemicelluloses and cellulose from cellulosic fibers. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 859 – 863, 2018.

LOPES, Wilson A.; FASCIO, Miguel. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 670-673, 2004.

LOZANO, Francisco J.; LOZANO, Rodrigo. Assessing the potential sustainability benefits of agricultural residues: Biomass conversion to syngas for energy generation or to chemicals production. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 4162 – 4169, 2018.

MABROUK, Manel; CHAABANE, Rafik B. Détermination des déplacements chimiques de RMN (1H) pour quelques molécules organiques. Maghrebien. **Journal of Pure and Applied Science**, v. 4, n.1, 2018.

MACHIENI, L. Lignocellulosic biofuel production: review of alternatives. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 10, p. 779–79, 2020.

MAGALHÃES, N.; CAVALCANTE, A. V.; ANDRADE, L. S.; WANDERLEY, C. R. P.; MARINHO, G.; PESSOA, K. de A. R. Produção de ácido cítrico por *Aspergillus niger* AN 400 a partir de resíduo agroindustrial. **Eng Sanit Ambient**, v.24, n.1, p. 101-107, 2019.

MANTOVAN, Janaina; GIRALDO, Gina Alejandra Gil; MARIM, Beatriz Marjorie; GARCIA, Patrícia Salomão; BARON Alessandra Machado; MALI, Suzana. Cellulose-based materials from orange bagasse employing environmentally friendly approaches. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2021.

MARCELINO, Marcela Magalhães; MELO, Sílvia A Lexandre Beisl Vieira de; TORRES, Ednildo Andrade. Caracterização da biomassa da casca de coco para obtenção de energia. **Bahia análise de dados**, v. 27, n.1, p.336-355, 2017.

MARCHESE, J.A.; FIGUEIRA, G.M. O uso de tecnologias pré e pós-colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.7, n.3, p.86-96, 2005.

MARCHESSAULT, R. H. Application of infra-red spectroscopy to cellulose and wood polysaccharides. **Pure and Applied Chemistry**, v. 5, n. 1-2, p. 107-130, 1962.

MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (Part 1): Overview of biomass. **Bioresource technology**, v.83, p. 37-46.

MCMURRY, John. **Química orgânica**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

MORAES, Ariana de S.; GÓES, Thais S. de; HAUSEN, Moema; MORAIS, João P. S.; ROSA, Morsyleide de F.; MENEZES, Aparecido J. de; MATTOSO, Luiz H. C.; LEITE, Fábio de L. Caracterização morfológica de nanocristais de celulose por microscopia de força atômica. **Revista matéria**, v. 21, n.02, p.532 -540, 2016.

MOURA, Heloise O. M. A.; CAMPOS, Leila M. A.; SILVA, Valdic L. da; ANDRADE, José C. F. de; ASSUMPÇÃO, Samira M. N. de.; PONTES, Luis A. M.; CARVALHO, Luciene S. de. Investigating acid/peroxide-alkali pretreatment of sugarcane bagasse to isolate high accessibility cellulose applied in acetylation reactions. **Cellulose**, v. 25, p. 5669 – 5685, 2018.

NAHUM, João Santos; SANTOS, Cleison Bastos dos. Dendê para quê? Dendê para quem? A ideologia da fronteira na Amazônia paraense. **Rev. NERA**, n. 42, p. 113-134, 2018.

NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C. S.; HANSTED, A. L. S.; BELINI, G. B.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes. **Revista Virtual de Química**, p. 150-162, v. 9, n.1, 2017.

NAMAZI, H.; FATHI, F.; DADKHAH, A. Hydrophobically modified starch using long chain fatty acids for preparation of nanosized starch particles. **Sci. Iran.**, v. 18, p. 439 – 445, 2011.

NAZARENO, Julianne C.; SERRA, Juan C. V.; SOUSA, Diego N. de. Obtenção e caracterização de materiais compósitos constituídos de fibra de dendê (*Elaeis guineensis*). **Revista Liberato**, v. 19, n. 32, p. 135-240, 2018.

NAZIR, M. S., WAHJOEDI, B. A., YUSSOF, A. W. & ABDULLA, M. A. Eco-friendly extraction and characterization of cellulose from oil palm empty fruit bunches. **BioResources**, v. 8, p. 2161 – 2172, 2012.

NG, Law Y.; WONG, TING J.; NG, Ching Y.; AMELIA, Chiang K. M. A review on cellulose nanocrystals production and characterization methods from *Elaeis guineensis* empty fruit bunches. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 14, 2021.

NUNES, A.S.; OLIVEIRA, R.L.; BORJA, M.S.; BAGALDO, A.R.; MACOME, F.M.; JESUS, I.B.; SILVA, T.M.; BARBOSA, L.P.; GARCEZ NETO, A.F. Consumo, digestibilidade e parâmetros sanguíneos de cordeiros submetidos a dietas com torta de dendê. **Arch. Zootec.**, v. 60, n. 232, p. 903 – 912, 2011.

OGEDA, Thais Lucy; PETRI, Denise F. S. Hidrolise enzimática de biomassa. **Química Nova**. vol. 33, n. 7, p. 1549-1558, 2010.

OH, S. Y.; IL YOO, D.; SHIN, Y.; KIM, H. C.; KIM, H. Y.; CHUNG, Y. S.; PARK, W. H. and YOOK, J. H. **Carbohydr. Res.**, n. 340, p. 2376–2391, 2005.

OLIVEIRA, Nayara Morgana Lima de; ALVES, Samara Cardoso; DANTAS, Sara Bruna Sousa Bruna Sousa; MARTINS, Eláiny Cristina Alves. Reaproveitamento de resíduos da cadeia do biodiesel obtido a partir do óleo de palma (*Elaeis Guineenses*). **Bioenergia em revista: diálogos**. v. 7, n. 1, 2017.

ONOJA, Emmanuel; CHANDREN, Sheela; RAZAK, Fazira I. A.; MAHAT, Naji A.; WAHAB, Roswanira A. Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Biomass in Malaysia: The Present and Future Prospects. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, p. 2099 – 2117, 2019.

ONIFADE, T. B.; WANDIGA, S. O.; BELLO, I. A.; JEKANYINFA, S. O.; HARVEY, P. J. Conversion of lignocellulose from palm (*Elaeisguineensis*) fruit fibre and physic (*Jatropha curcas*) nut shell into bio-oil. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 46, p. 2167-2180, 2017.

ORIEZ, Vincent; PEYDECASTAING, Jérôme; PONTALIER, Pierre-Yves. Lignocellulosic biomass mild alkaline fractionation and resulting extract purification processes: Conditions, yields, and purities. **Clean Technologies**, v. 2, p. 91–115, 2020.

PANIZ, Oscar Giordani; SCHEIK, Letícia Klein; SILVA, Gabriela Escobar Hochmuller da; GONÇALVES, Margarete Regina Freitas; OLIVEIRA, Amanda Dantas de; ARAÚJO, Edcleide Maria; CARREÑO, Neftalí Lenin Villarreal. Obtenção de compósito com matriz de acetato de celulose e partículas de prata para aplicações antimicrobianas. **Revista Matéria**, v.23, n.4, 2018.

PAVIA, Donald; LAMPMAN, Gary M.; KRIZ, George S.; VYVYAN, James R. **Introdução a espectroscopia**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

PEREIRA, N. R. L.; ANJOS, F. E.; MAGNAGO, R. F. Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura: Uma Revisão Sobre os Processos Químicos de Extração da Celulose. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 4, p. 1165 – 1179, 2019.

PINHEIRO, Gabriela; DÖGE, Mylena M.; ARAUJO, Larissa de; PIMENTA, Natasha G.; BERGMANN, Mariana F.; PINTO, Alex V.; BATTISTI, Rodrigo. Síntese do acetato de celulose a partir da bainha foliar da palmeira-real australiana. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 2, n. 9, p. 11- 23, 2019.

PINTO, Bruna; CALLONI, Greice; SILVA, Schana A. da. Obtenção de acetato de celulose a partir da casca de arroz (*Oryza sativa*). **Revista Liberato**, v. 14, p. 07 – 20, 2013.

PITARELO, Ana Paula; SILVA, Thiago Alexandre da; PERALTA-ZAMORA, Guillermo; RAMOS, Luiz Pereira. Efeito do teor de humidade sobre o pré-tratamento a vapor e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 35, n. 8, p. 1502 – 1509, 2012.

POLLETO, M., ORGAGHI, H. L. and ZATTERA A. J. Native Cellulose: Structure, Characterization and Thermal Properties. **Materials**, n. 7, p. 6105-6119, 2014.

POPESCU, M. C., POPESCU, C. M., LISA, G. and SAKATA, Z. Evaluation of Morphological and Chemical Aspects of Different Wood Species by Spectroscopy and Thermal Methods. **Journal of Molecular Structure**, n. 988, P. 65-72, 2011.

QIU, Shuang; YADAV, Madhav P.; YIN, Lijun. Characterization and functionalities study of hemicellulose and cellulose components isolated from sorghum bran, bagasse and biomass. **Food Chemistry**, n. 230, p. 225–233, 2017.

RABELO, Sarita C.; PRADELLA, José G. da Cruz; IENCZAK, Jaciane L. Produção de etanol de segunda geração. In: LIMA, Urgel de A. (org) **Coleção biotecnologia industrial: Processos Fermentativos e enzimáticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2019. (volume 3)

RAMLEE, Nor Azlina; JAWAID, Mohammad; ZAINUDIN, Edi Syams; YAMANI, Shaikh Abdul Karim. Tensile, physical and morphological properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fibre reinforced phenolic hybrid composites. **Journal of materials research and technology**, n. 8, v. 4, p. 3466 – 3474, 2019.

RAMOS, Luiz P.; SILVEIRA, Marcos H. L.; CHIARELLO, Luana M.; GOMES, Gustavo R.; CORDEIRO, Claudiney S. Perspectivas à implementação de projetos de biorrefinaria baseadas no uso de materiais lignocelulósicos. In: AREA, Maria C.; PARK, Song W. (org.) **Panorama de la Industria de Celulosa y Papel y Materiales Lignocelulósicos 2016**. 1.ed., Posadas: Universidad Nacional de Misiones: São Paulo, 2017

RANGABHASHIYAM, S.; BALASUBRAMANIAN, P. The potential of lignocellulosic biomass precursors for biochar production: Performance, mechanism and wastewater application—A review. **Industrial Crops & Products**, v. 128, p. 405–423, 2019.

ROCHA, G. G. C.; SANTOS, A. M.; COSTA, S. S.; BISPO, D. F.; SOUZA, R. R.; PAGANO, R. L.; SILVA, C. F. Crueira: resíduo agroindustrial sólido rico em amido. **Scientia Plena**, n. 12, v. 05, 2016.

ROS, Simoní da; ALIEV, Abil E.; GAUDIO, Isabella del.; KING, Rose; POKORSKA, Anna; KEARNEY, Mark; CURRAN, Katherine. Characterising plasticised cellulose acetate-based historic artefacts by NMR spectroscopy: A new approach for quantifying the degree of substitution and diethyl phthalate contents. **Polymer Degradation and Stability**, n. 183, 2021.

ROSA, Ivone G. **Estudos das hemiceluloses do caule da Acácia molíssima**. 77 p. (dissertação). Mestrado em Bioquímica. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Bioquímica, Curitiba, 1981.

RUIZ-RODADO, Victor; BRENDER, Jeffery R.; CHERUKURI, Murali K.; GILBERT, Mark R.; LARION, Mioara. Magnetic resonance spectroscopy for the study of cns malignancies. **Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy**, v. 122, p. 23 – 41, 2021.

ROSSI, Eduardo de; LINDINO, Cleber Antonio; SANTOS, Kenia Gabriela dos; BARICCATTI, Reinaldo Aparecido; CREMONEZ, Paulo André; ANTONELI, Jhonatas; NADALETI, Willian Cezar. Pré-tratamentos na produção de etanol de segunda geração. **Remoa**. v.13, n.4, p.3516-3522, 2014.

SALIBA, Eloísa de O. S.; RODRIGUEZ, Norberto M.; MORAIS, Sérgio A. L. de; PILO-VELOSO, Dorila. Ligninas – métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**, v.31, n.5, p.917 - 928, 2001.

SANTIAGO, B. L. S.; RODRIGUES, F. de Ávila. Processamento de biomassa lignocelulósica para produção de etanol: uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 7, p. 1011-1022, 2017.

SANTOS, Luis R. O.; VARANDA, Luciano D.; HANSTED, Ana Larissa S.; RÓZ, Alessandra da; YAMAMOTO, Hiroyuki; YAMAJI, Fabio M. Different types of lignocellulosic materials for energy generation in the ceramic industry. **Floresta e Ambiente**, v.26, n. 2, 2019.

SANTOS, Mayara da S.; AMARAL, Heliane R. do; CIPRIANO, Daniel F.; FERRETI, João V. T.; MEIRELES, Carla da S.; FREITAS, Jair C. C.; SANTOS, Reginaldo B. dos. Aproveitamento de precursores lignocelulósicos para produção de acetato de celulose. **Química Nova**, v. 43, n. 3, p. 279-285, 2020.

SANTOS, Orildo R. dos; CORRÊA, Nadia C. F.; FRANÇA, Luiz F. de. Processo de transformação termoquímica da torta do mesocarpo do dendê para obtenção de biocombustíveis. Revista de Ciências Agrárias: **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Science**, v. 62, 2019.

SERPA, Juliana de F.; SILVA, Juciane de S.; REIS, Carla L. B., MICOLI, Luca; SILVA, Lorena Mara Alexandre e; CANUTO, Kirley Marques; MACEDO, Andre Casimiro de; ROCHA, Maria Valderez Ponte. Extraction and characterization of lignins from cashew apple bagasse obtained by different treatments. **Biomass and Bioenergy**, v. 141, n. 105728, 2020.

SHINOJ, S.; VISVANATHAN, R.; PANIGRAHI, S.; KOCHUBABU, M. Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 1, p. 7 – 22, 2011.

SILVA, Allison G.; SANTOS, Thaise A. dos; BANDEIRA, Marcus L. S. de F.; OLIVEIRA, Priscila F. de. Estudo do processo de torrefação de resíduos de biomassas para fins energéticos. **RBCIAMB**, n.45, p. 86 – 99, 2017.

SILVA, Dirceu Jorge; QUEIROZ, Augusto Cezar. **Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2002.

SILVA, R.S.; SANTOS, R.V.E.; BARBOSA, A.V.C.; SANTOS, M.A.S.; CORRÊA, R.O.; MARTINS JÚNIOR, H.; LOURENÇO JÚNIOR, J.B. Digestibilidade aparente do farelo de palmiste em tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.71, n.5, p.1595-1600, 2019.

SILVA, Rafael; HARAGUCHI, Shirani K.; MUNIZ, Edvani C.; e RUBIRA, Adley F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, vol. 32, n. 3, p. 661-671, 2009.

SILVA NETO, J. M. da; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H. da; TABOSA, J. N.; PACHECO, J. G. A.; SILVA, M. J. V. da. Use of sweet sorghum bagasse (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) for cellulose acetate synthesis, **BioResource**, v.14, n. 2, 2018.

SILVEIRA, Livia Helena Carrera; REZENDE, Alba Valéria; VALE, Ailton Teixeira do. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**. v. 43, n.2, p. 179 – 184, 2013.

SIMPSON, Andre J.; SIMPSON, Myrna J.; SOONG, Ronald. Nuclear magnetic resonance spectroscopy and its key role in environmental research. **Environ Sci Technol**, v. 46, n. 21, 2012.

SOLOMONS, Graham; FRYHLE, Craig. **Química Orgânica**. 12. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2012.

SUCHY, Miro; ARGYROPOULOS, Dimitris S. Catalysis and Activation of Oxygen and Peroxide Delignification of Chemical Pulps: A Review In: ARGYROPOULOS, (org.) Dimitris S. **Oxidative delignification chemistry: fundamentals and catalysis**. Washington: American Chemical Society, 2001.

SULAIMAN, F. e ABDULLAH, N. Optimum Conditions for Maximising Pyrolysis Liquids of Oil Palm Empty Fruit Bunches. **Energy**, v. 36, p. 2352-2359, 2011.

SUPIAN, M. A. F.; AMIN, K. N. M.; JAMARI, S. S.; MOHAMAD, S. Production of cellulose nanofiber (CNF) from empty fruit bunch (EFB) via mechanical method. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 2019.

TOLLER, M. A Transformação de Resíduos Agroindustriais Através de Biodigestores: Uma Gestão Sócio-Ambiental. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, p. 42- 50, 2016.

TRISTANTINI, Dewi; SANDRA, Cindy. Synthesis of cellulose acetate from palm oil bunches and dried jackfruit leaves. **E3S Web of Conferences**, n. 67, v. 04035

WSOO, Mohammed A.; SHAHIR, Shafinaz; BOHARI, Siti P. M.; NAYAN, Nadirul H. M.; RAZAK, Saiful I. A. A review on the properties of electrospun cellulose acetate and its application in drug delivery systems: A new perspective. **Carbohydrate Research**, v. 491, 2020.

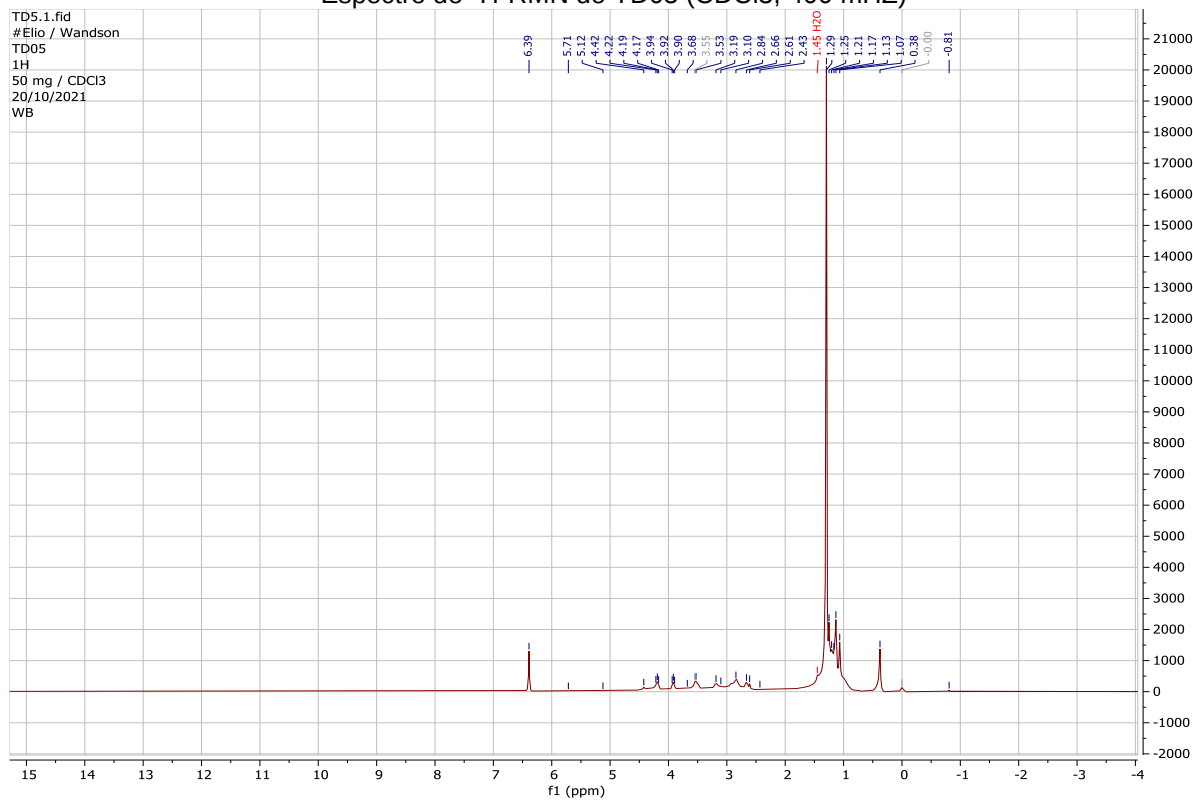
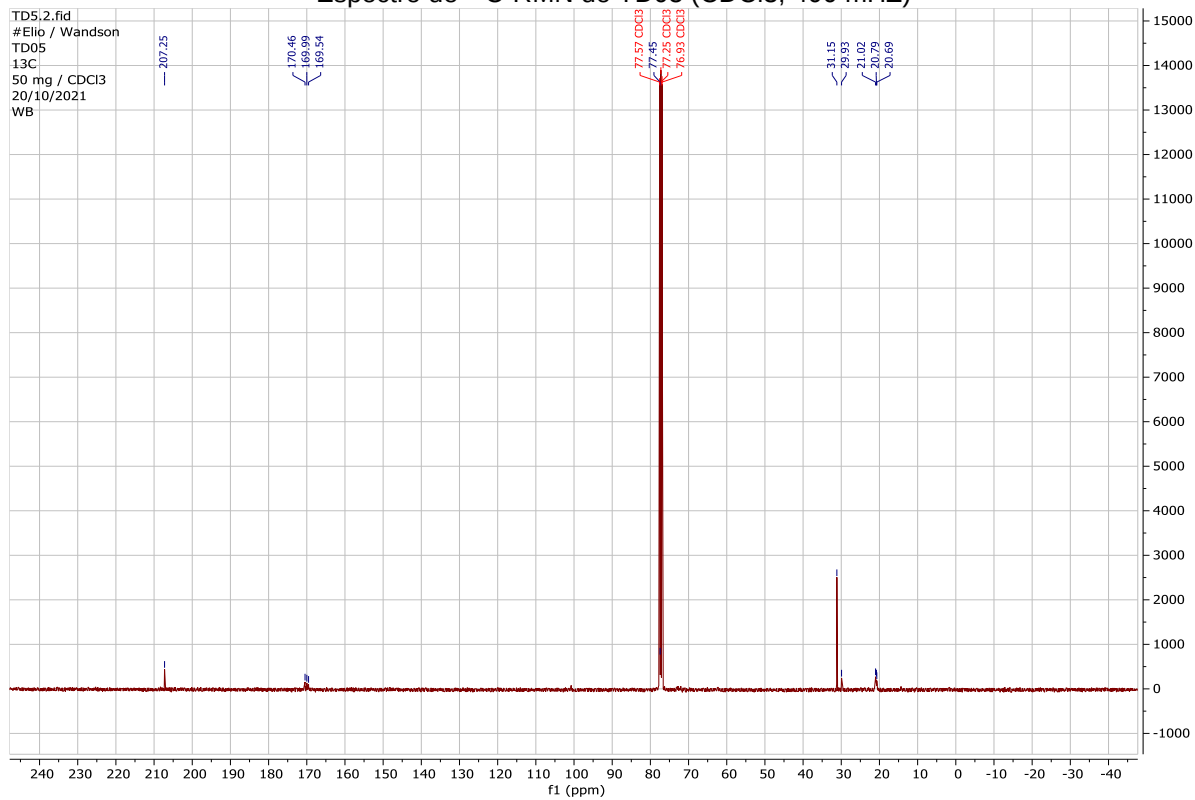
YANG, J.; CHING, Y. C., e CHUAH, C. H. Applications of lignocellulosic fibers and lignin in bioplastics: a review. **Polymers**, v. 11, n. 751, 2019.

YANG, Xuan; BERGLUND, Lars A. Structural and ecofriendly holocellulose materials from wood: Microscale fibers and nanoscale fibrils, **Adv. Mater**, 2020.

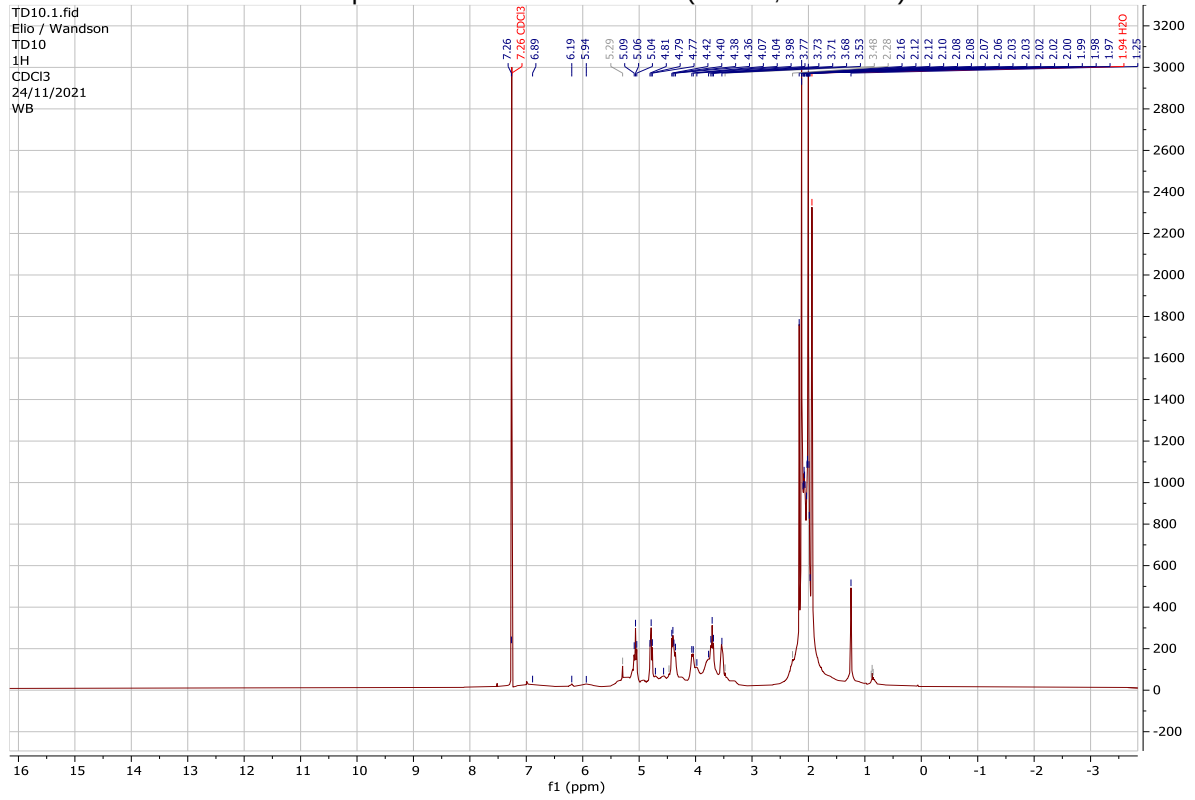
YANG, Xuan; BERTHOLD, Fredrik; BERGLUND, Lars A. Preserving cellulose structure: delignified wood fibers for paper structures of high strength and transparency. **Biomacromolecules**, v. 19, n. 7, p. 3020-3029, 2018.

YUAN, R.; YU, S. e SHEN, Y. Pyrolysis and combustion kinetics of lignocellulosic biomass pellets with calcium-rich wastes from agro-forestry residues. **Waste Management**, v 87, p 86-96, 2019.

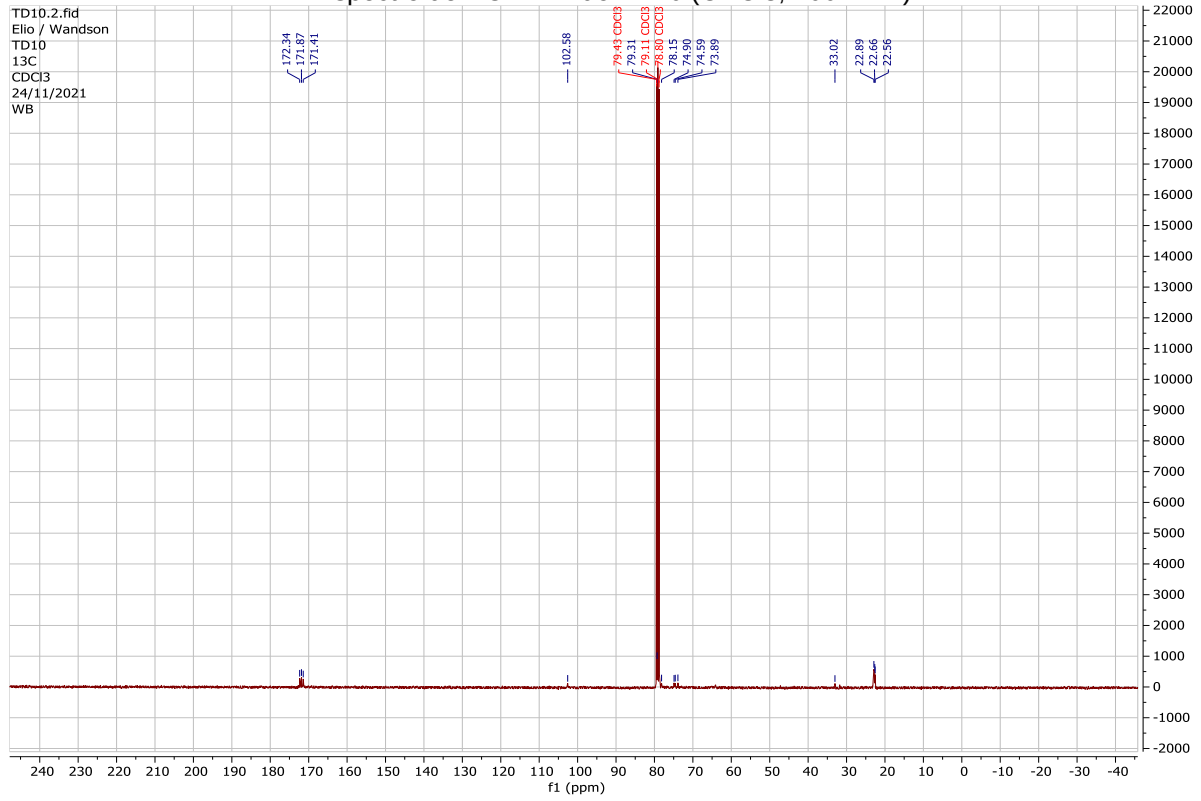
APÊNDICE

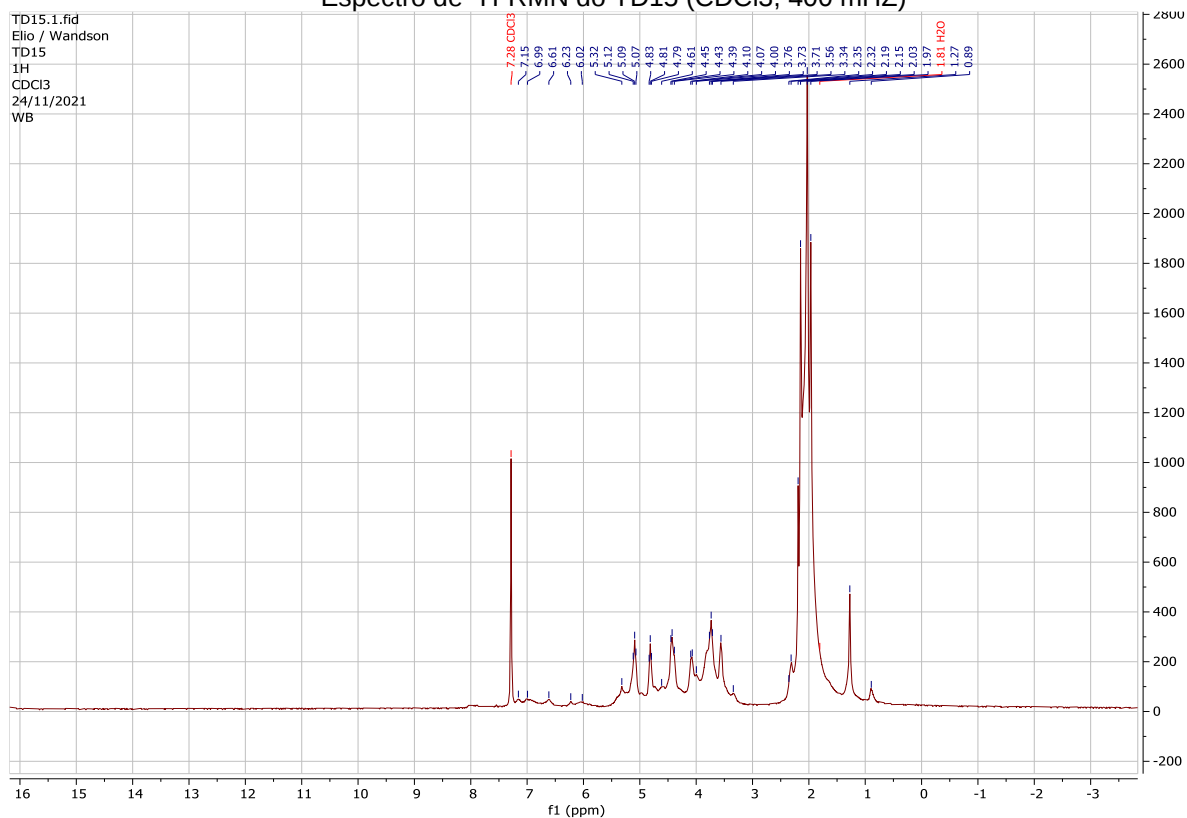
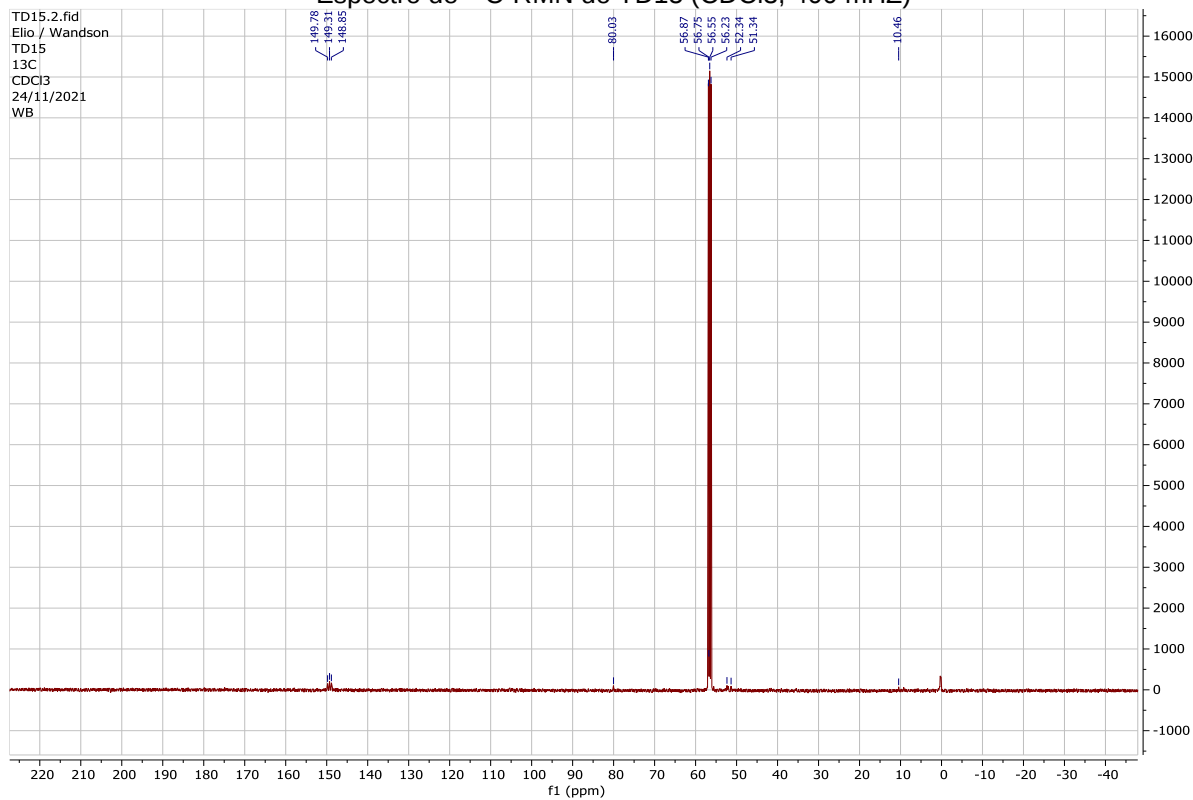
Espectro de ^1H -RMN do TD05 (CDCl_3 , 400 MHz)Espectro de ^{13}C -RMN do TD05 (CDCl_3 , 400 MHz)

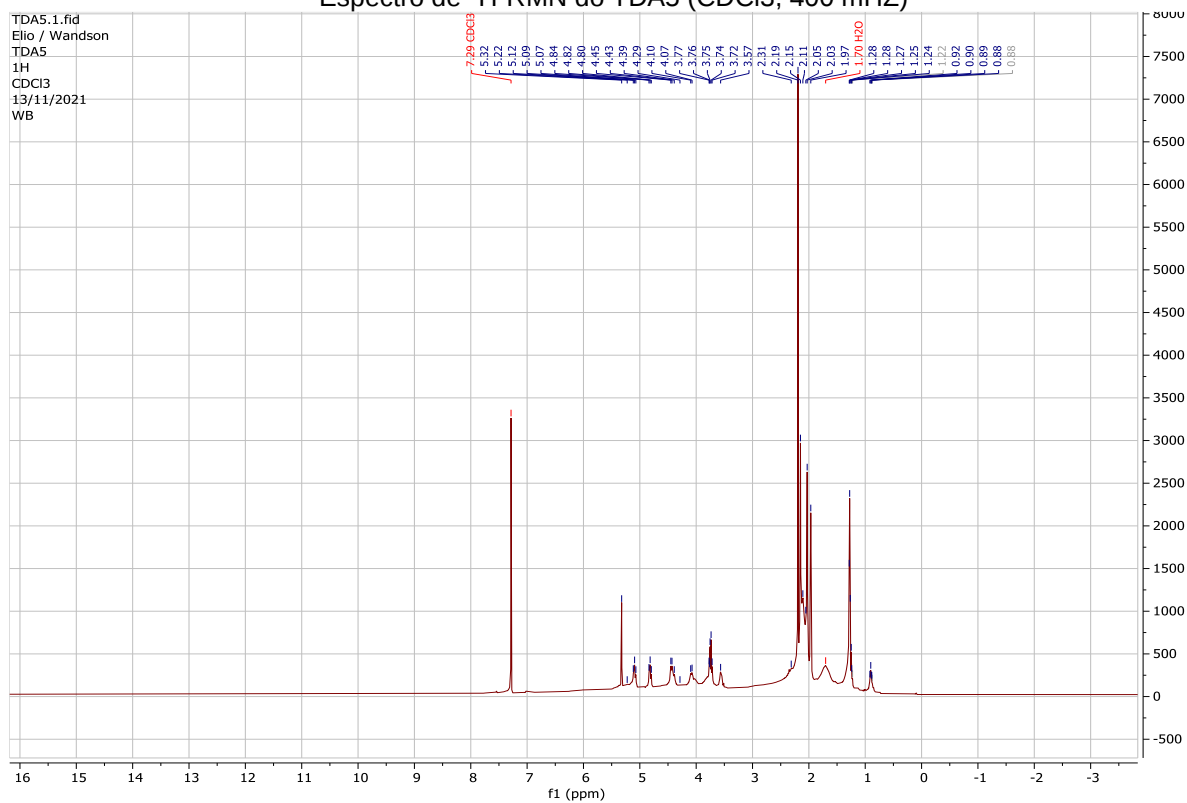
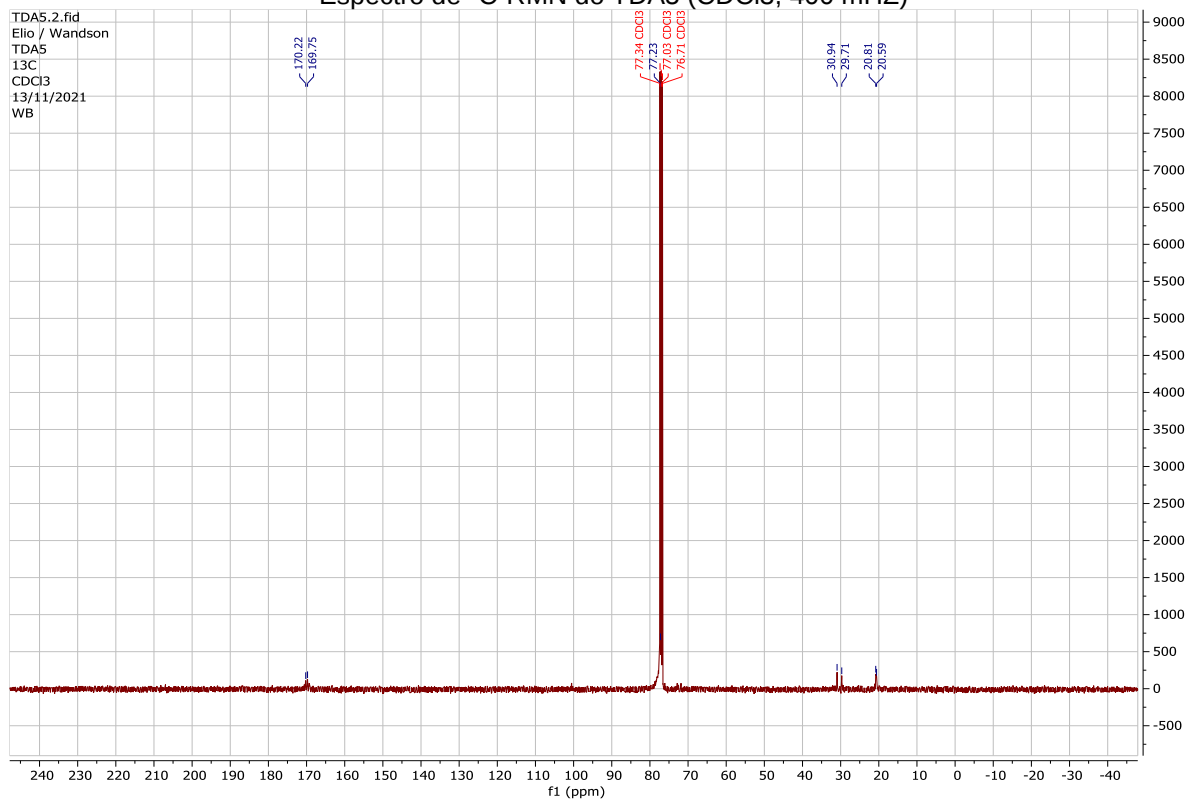
Espectro de ^1H -RMN do TD10 (CDCl_3 , 400 mHZ)

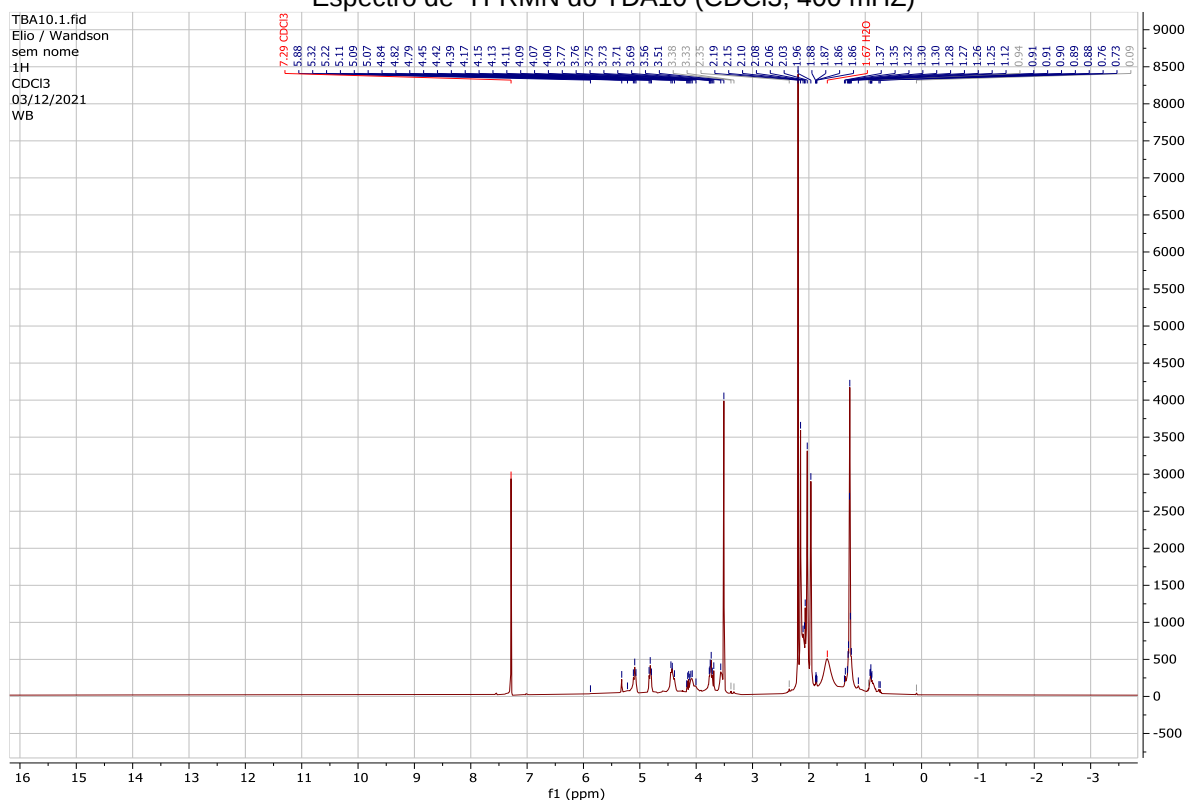
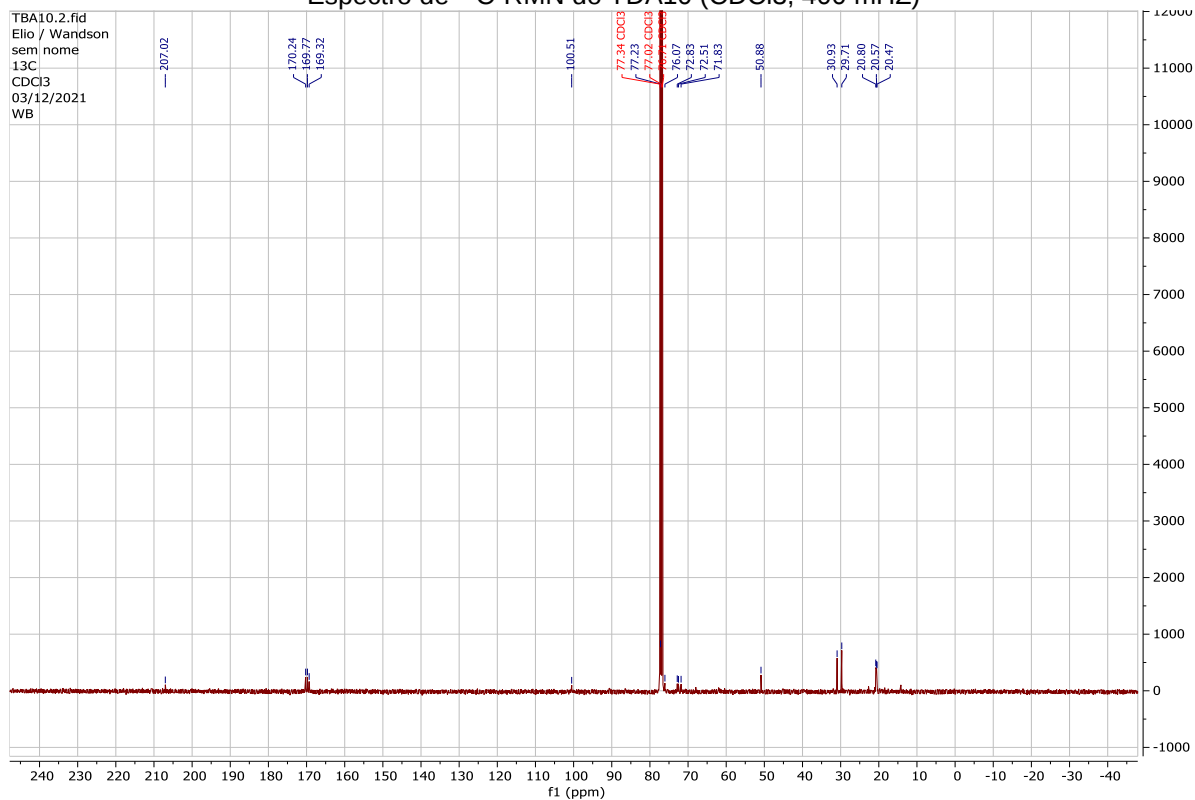


Espectro de ^{13}C -RMN do TD10 (CDCl_3 , 400 mHZ)

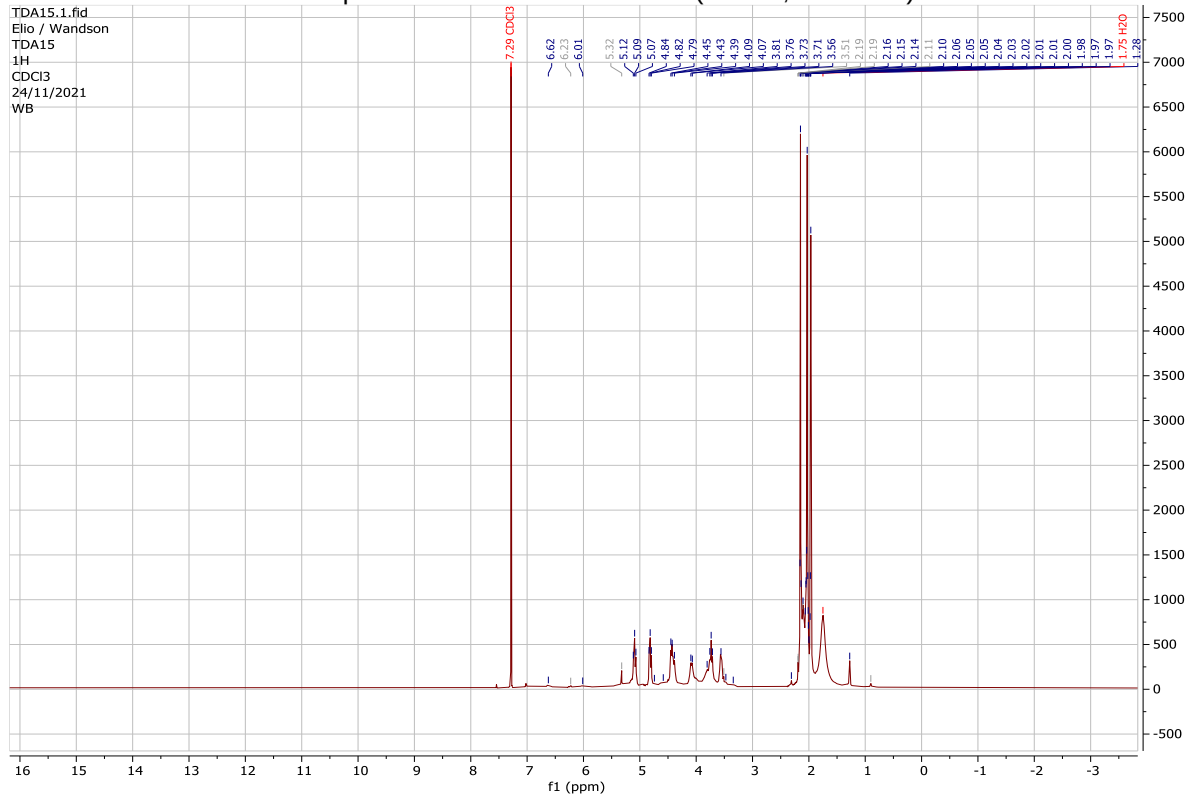


Espectro de ^1H -RMN do TD15 (CDCl_3 , 400 MHz)Espectro de ^{13}C -RMN do TD15 (CDCl_3 , 400 MHz)

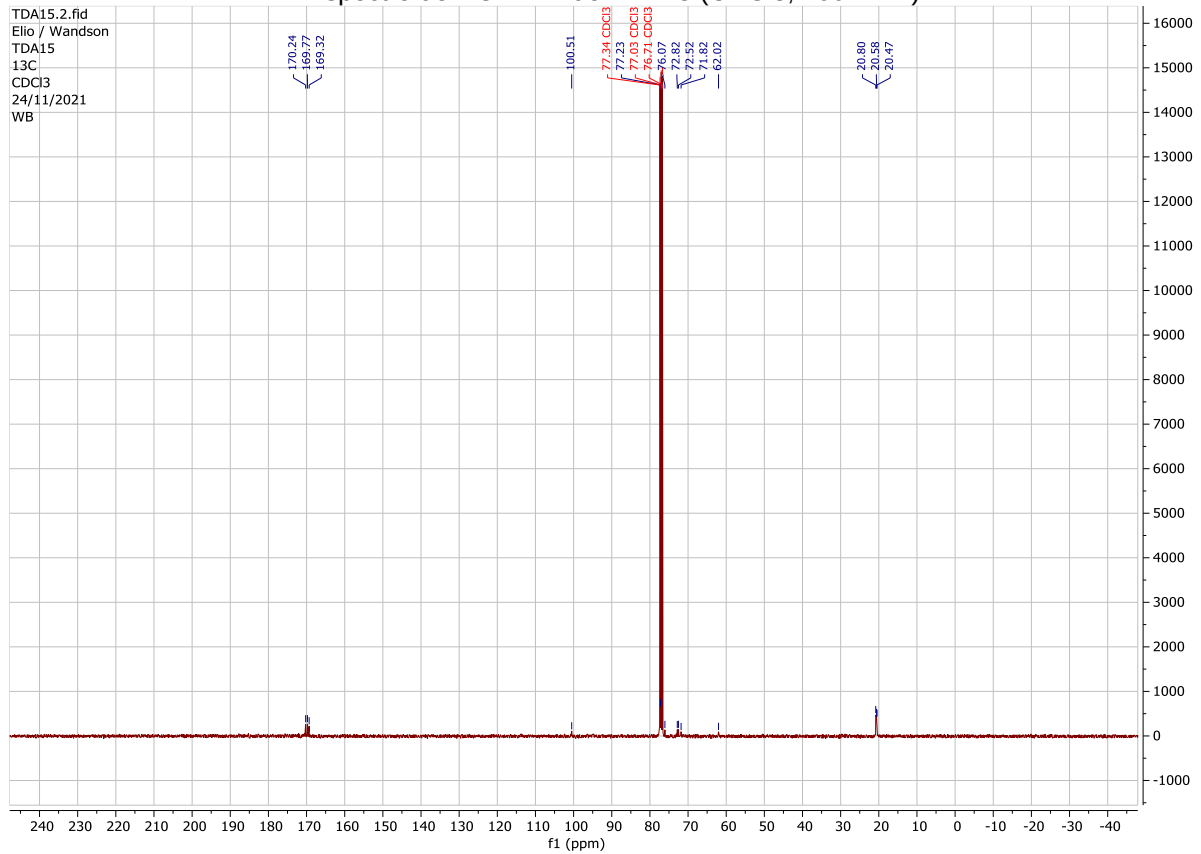
Espectro de ^1H -RMN do TDA5 (CDCl_3 , 400 MHz)Espectro de ^{13}C -RMN do TDA5 (CDCl_3 , 400 MHz)

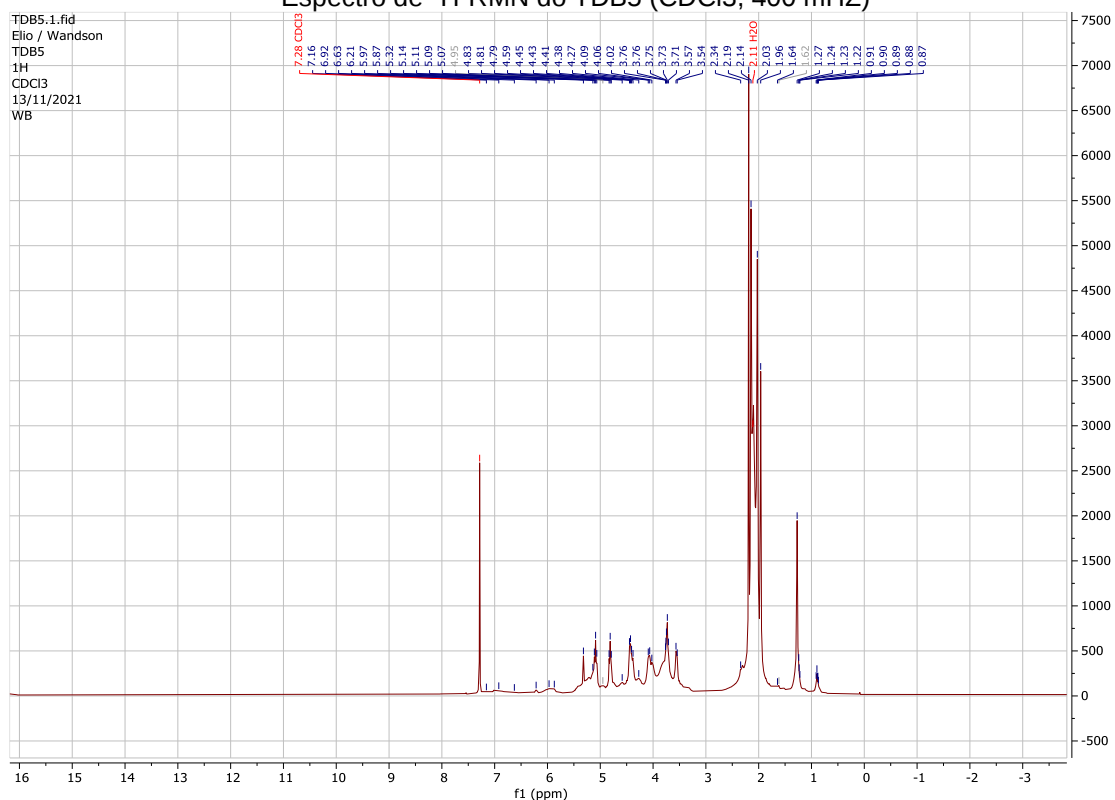
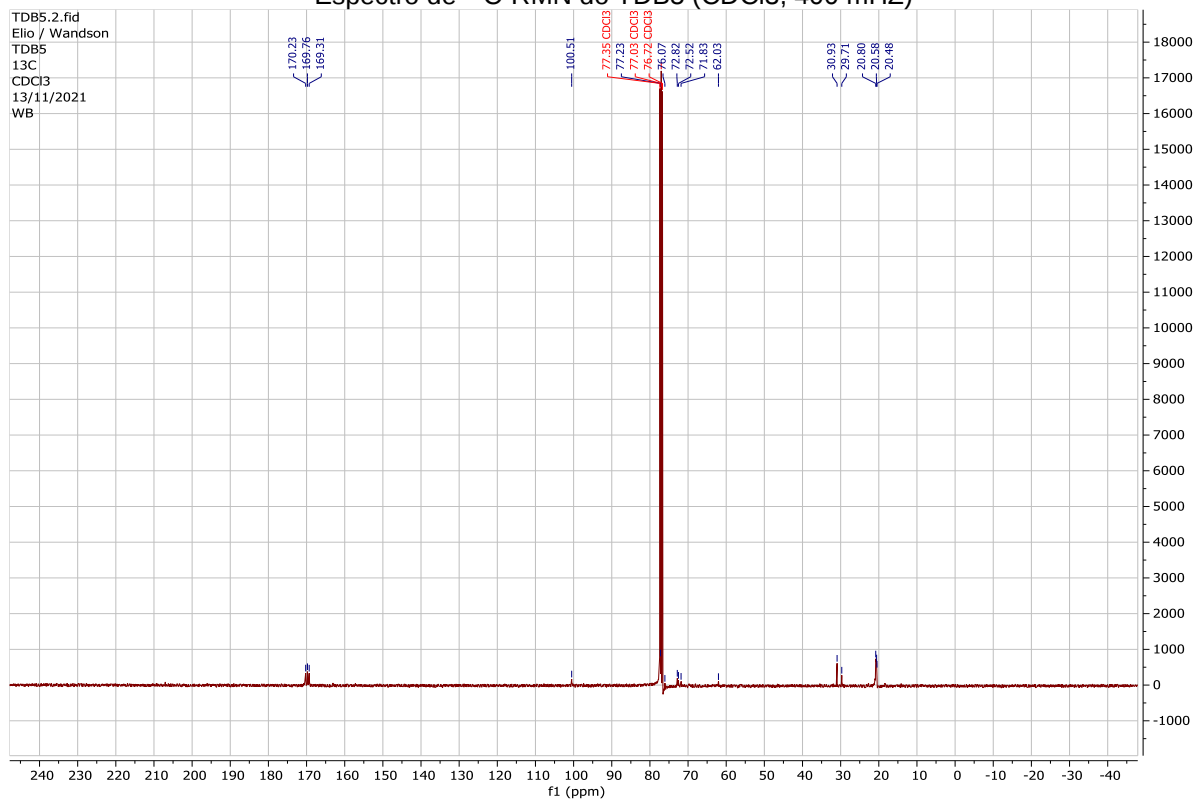
Espectro de ^1H -RMN do TDA10 (CDCl_3 , 400 MHz)Espectro de ^{13}C -RMN do TDA10 (CDCl_3 , 400 MHz)

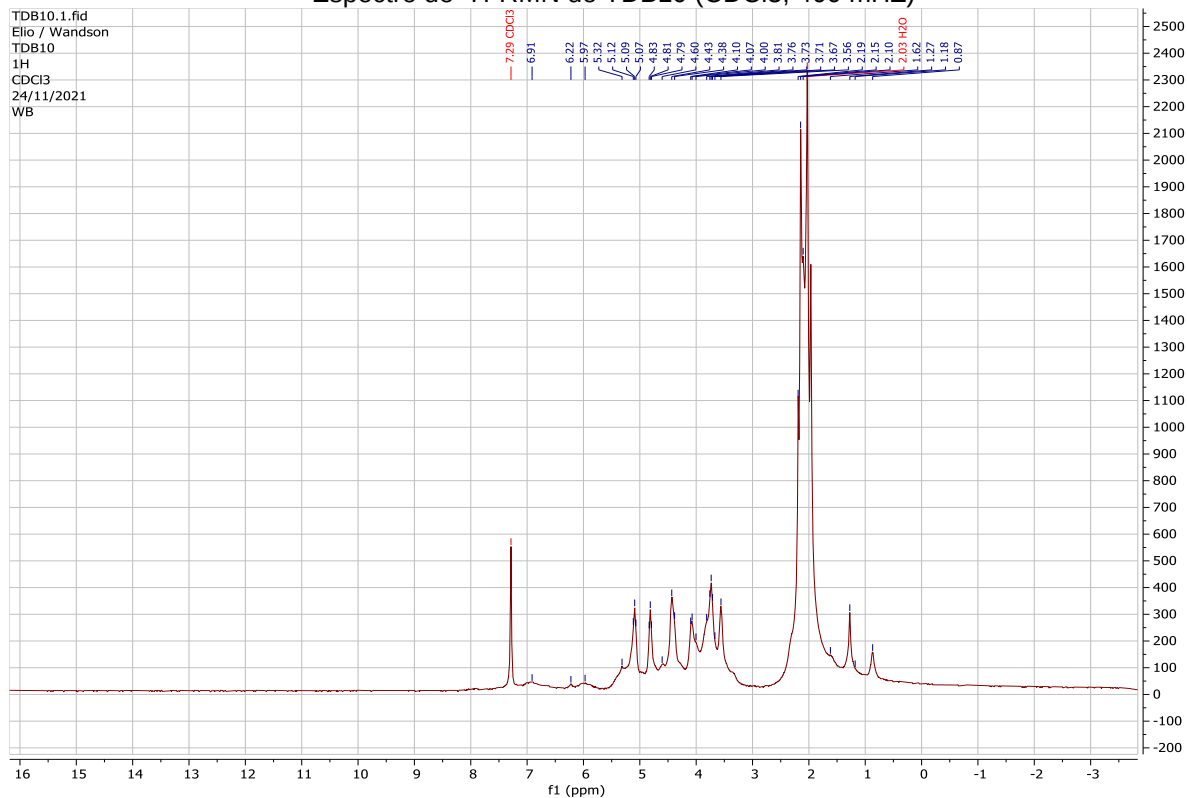
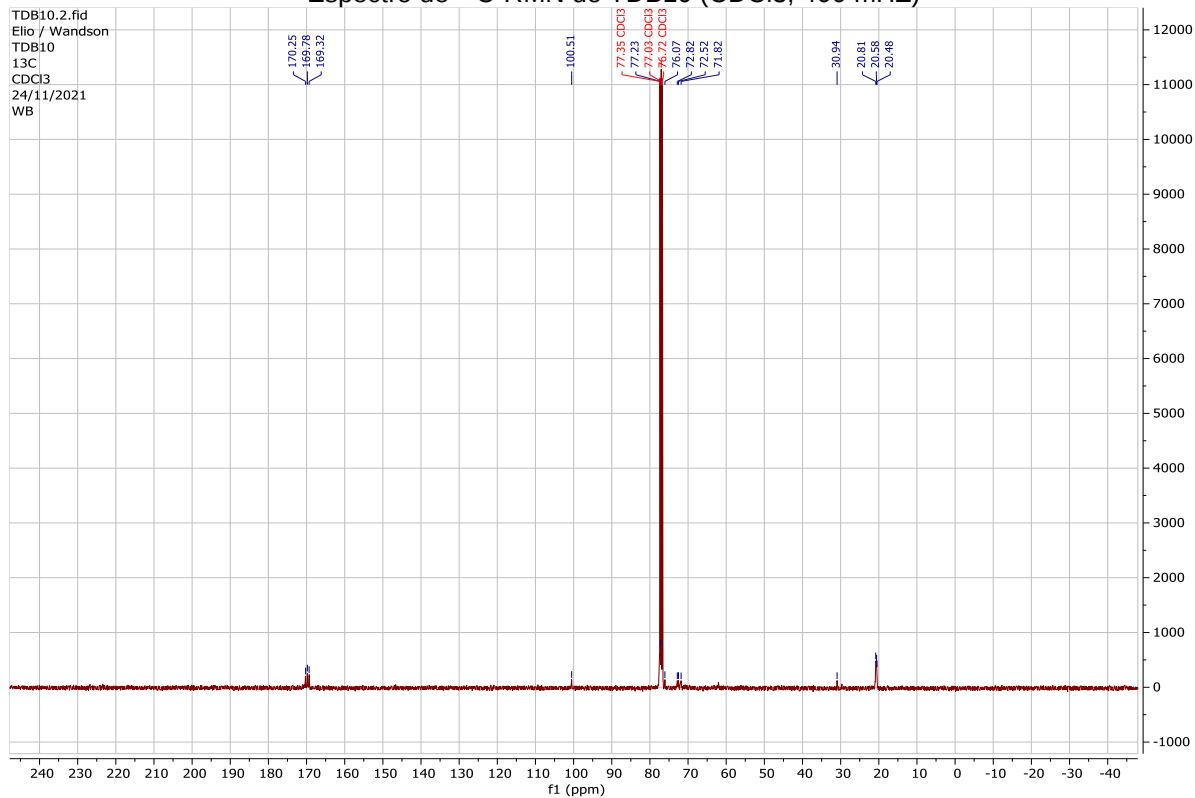
Espectro de ^1H -RMN do TDA15 (CDCl_3 , 400 mHz)

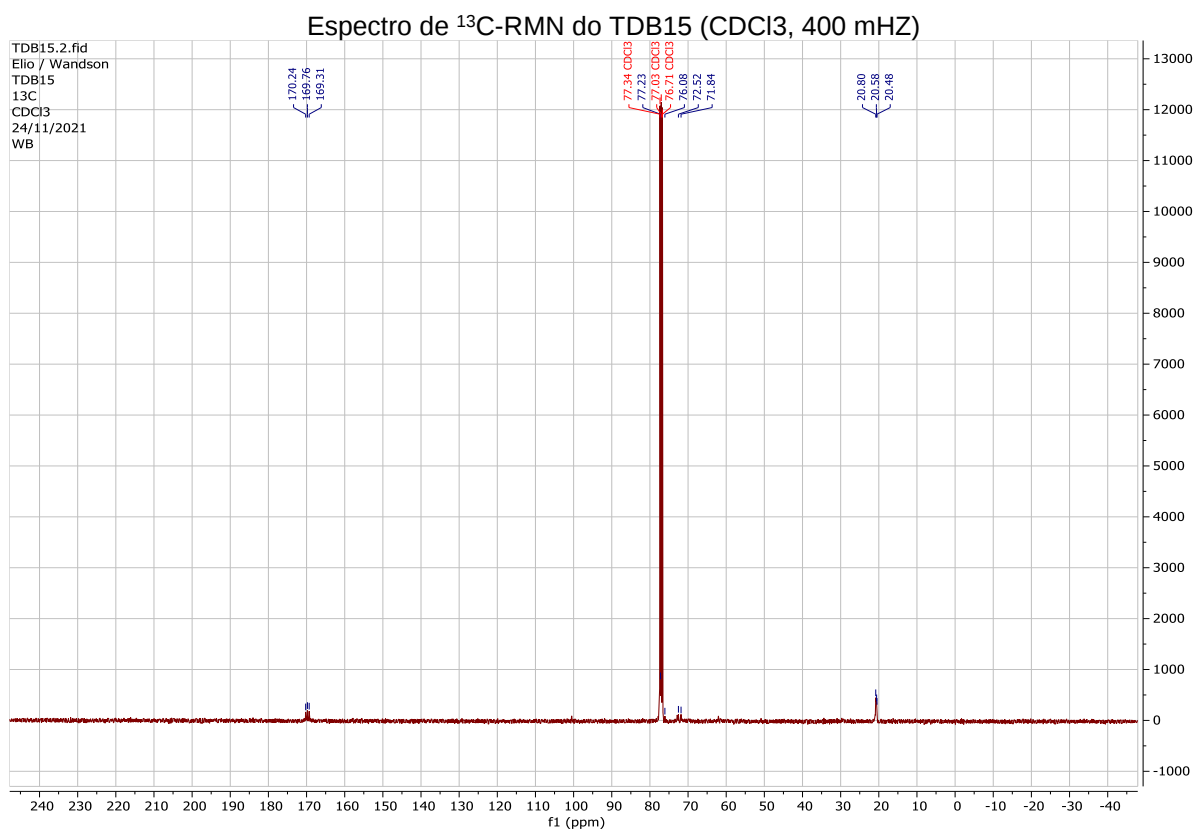


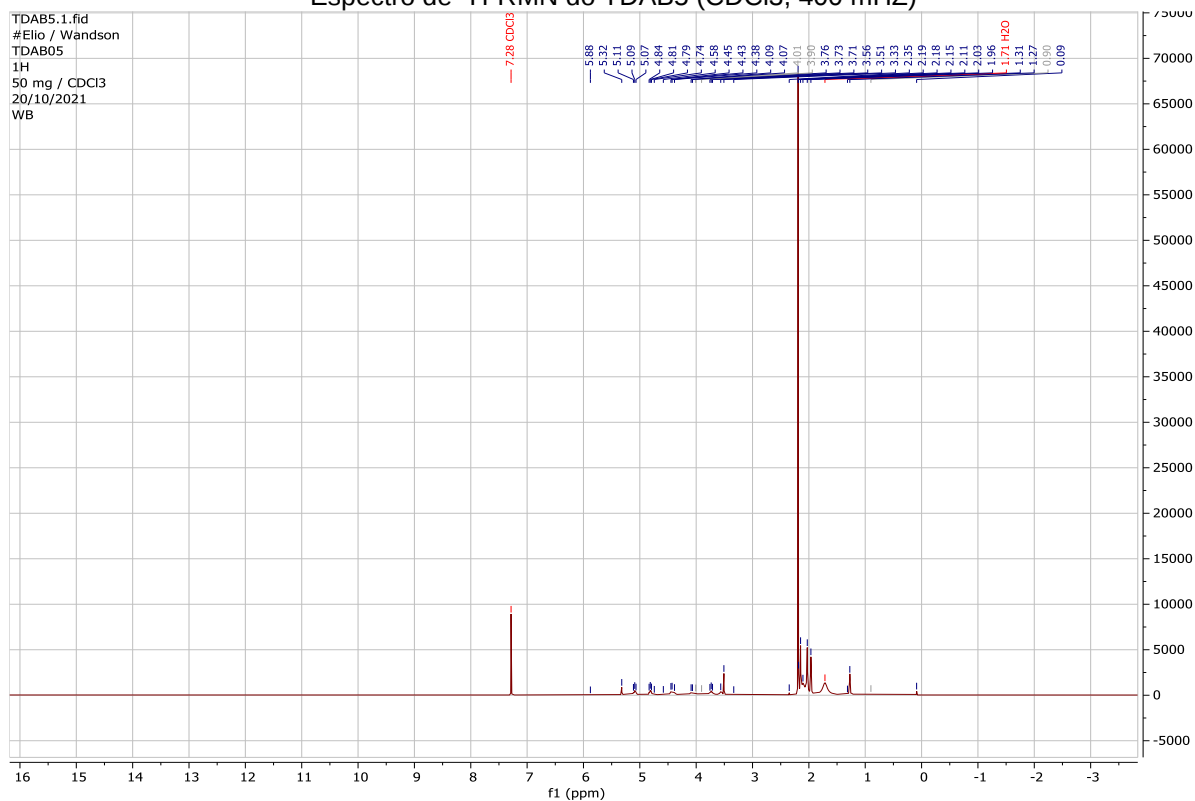
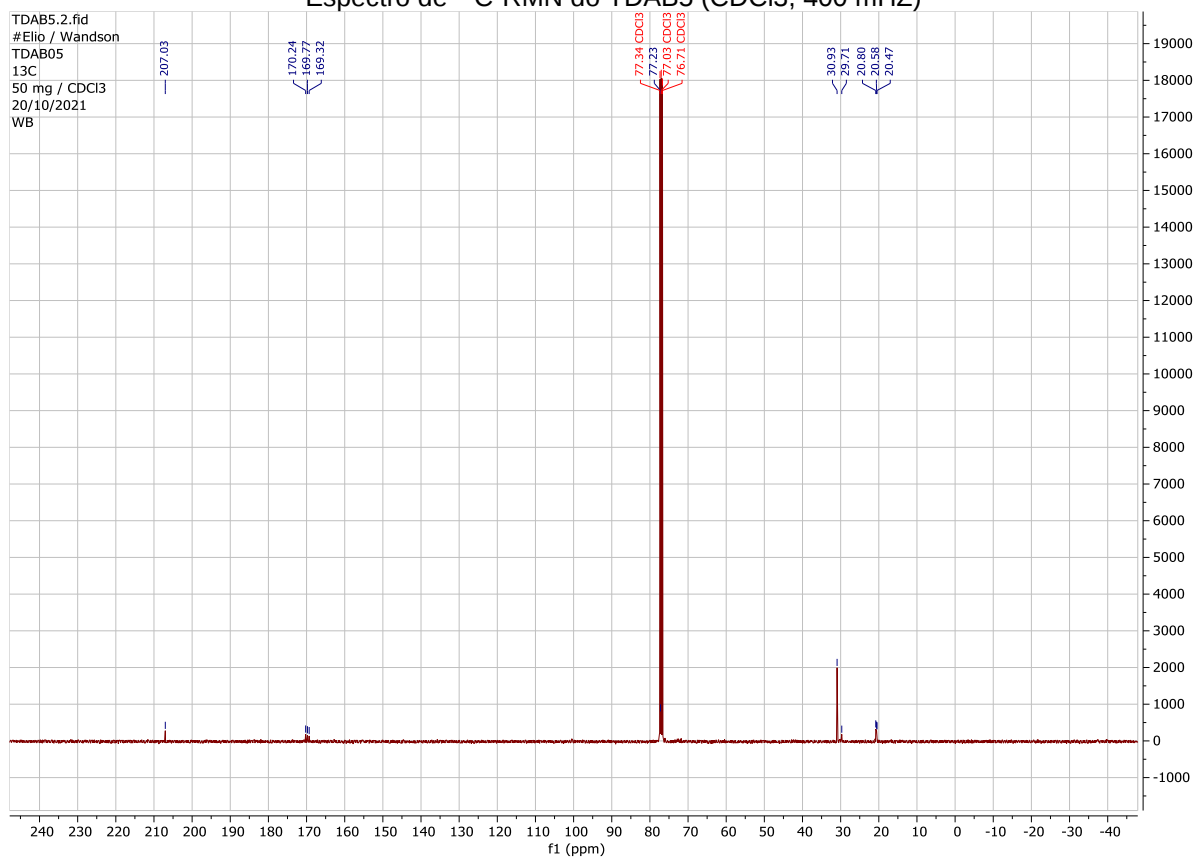
Espectro de ^{13}C -RMN do TDA15 (CDCl_3 , 400 mHz)

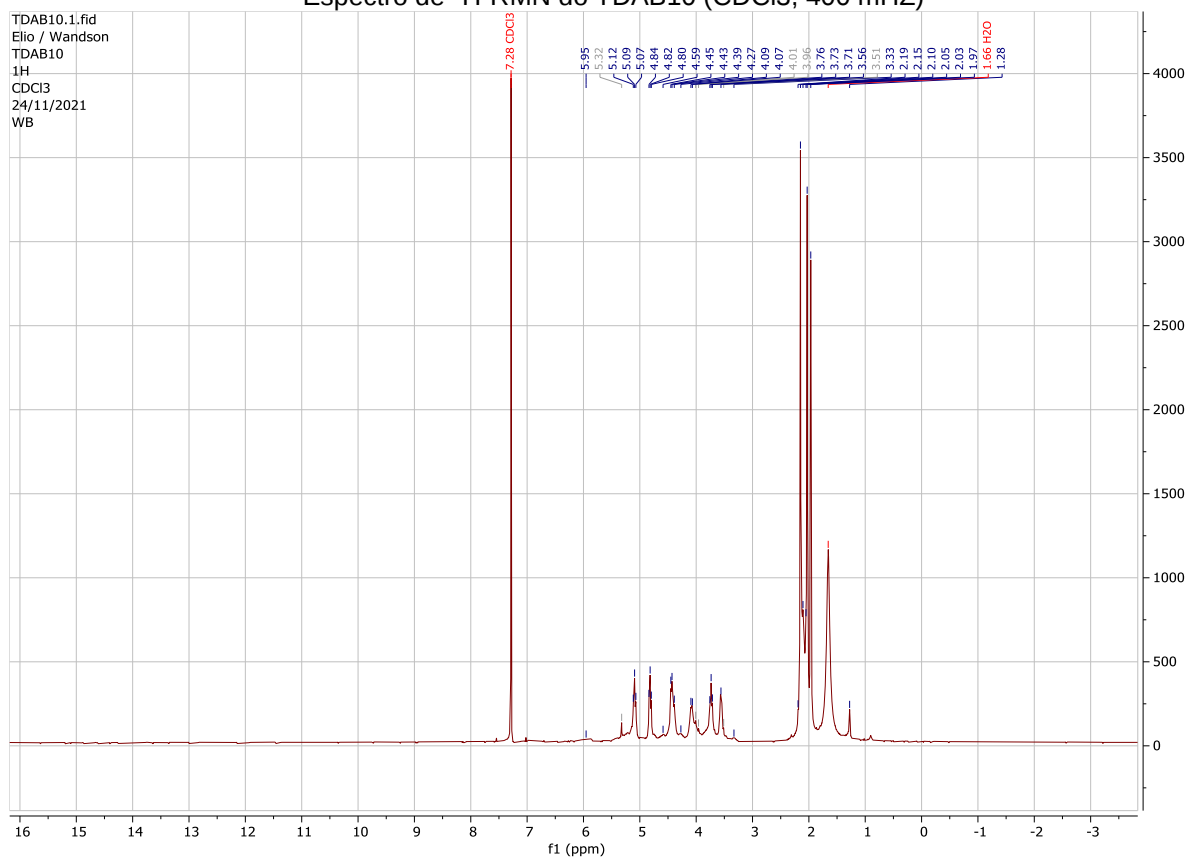
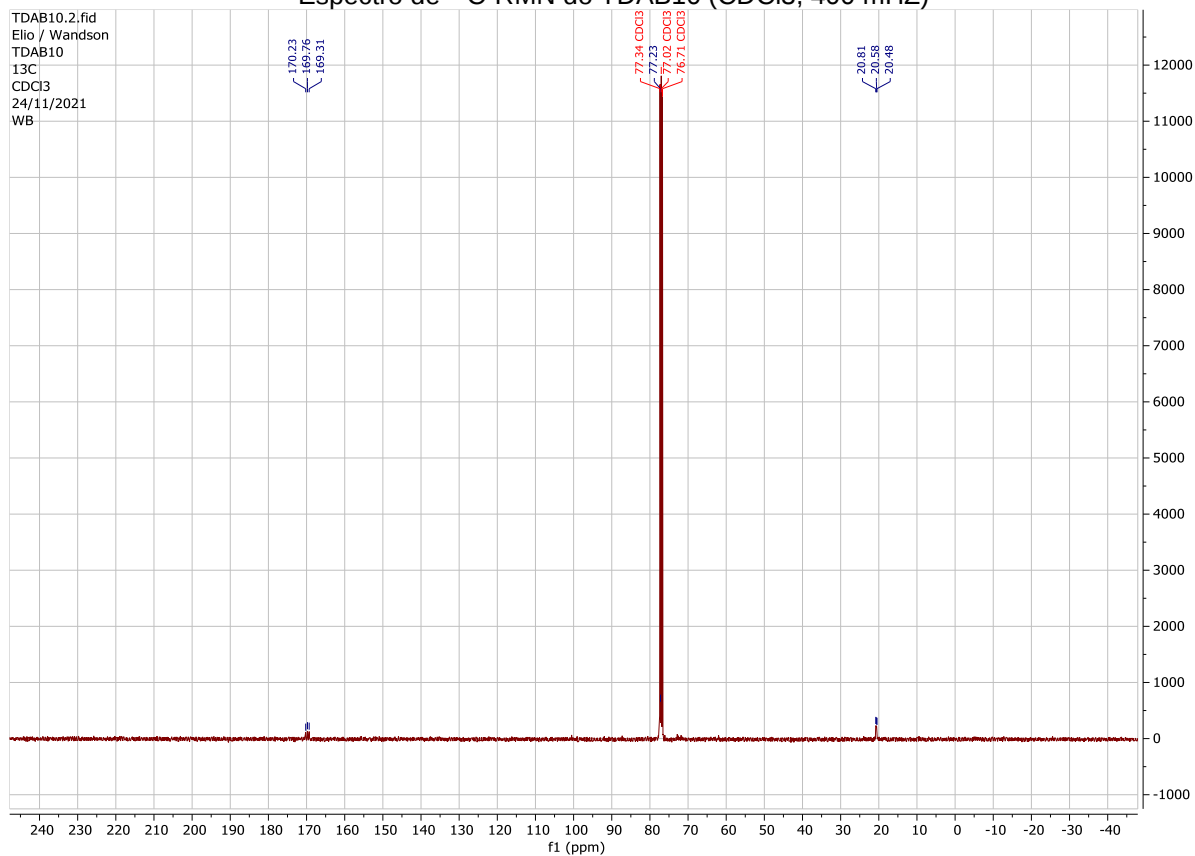


Espectro de ^1H -RMN do TDB5 (CDCl_3 , 400 MHz)Espectro de ^{13}C -RMN do TDB5 (CDCl_3 , 400 MHz)

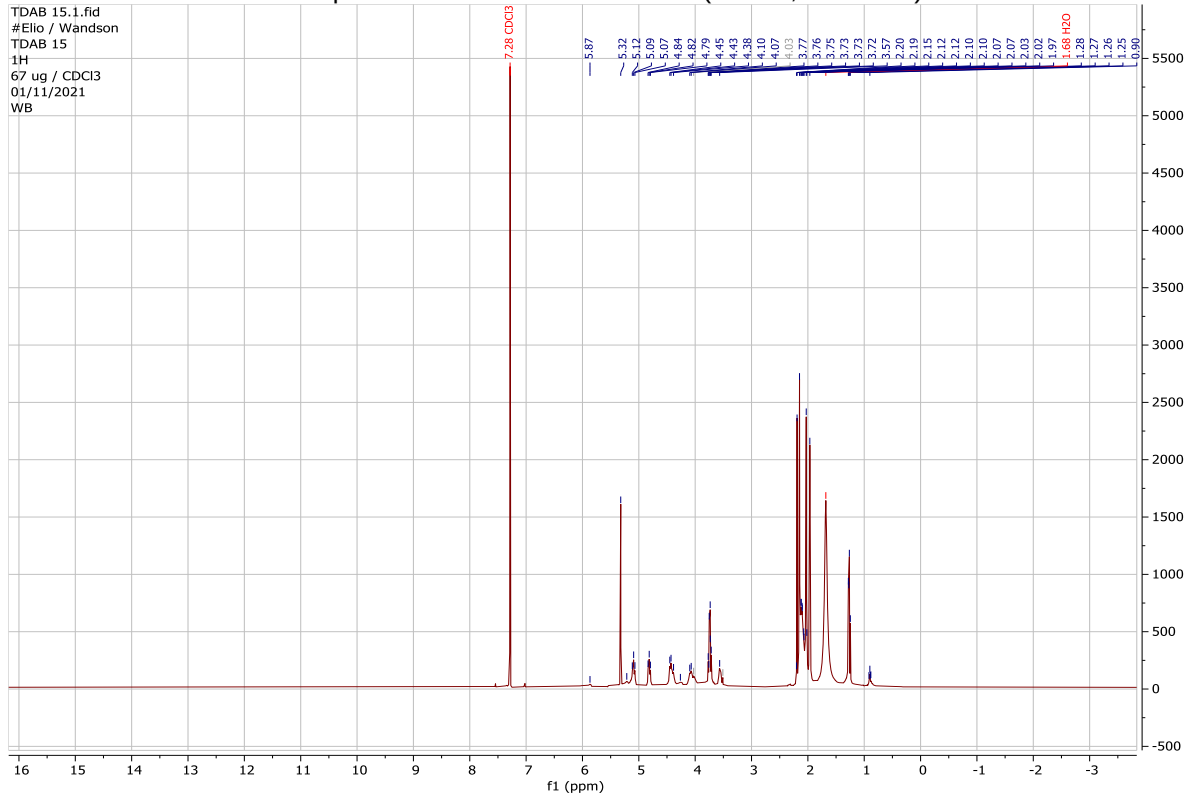
Espectro de ^1H -RMN do TDB10 (CDCl_3 , 400 mHz)Espectro de ^{13}C -RMN do TDB10 (CDCl_3 , 400 mHz)



Espectro de ^1H -RMN do TDAB5 (CDCl_3 , 400 MHz)Espectro de ^{13}C -RMN do TDAB5 (CDCl_3 , 400 MHz)

Espectro de ^1H -RMN do TDAB10 (CDCl_3 , 400 MHz)Espectro de ^{13}C -RMN do TDAB10 (CDCl_3 , 400 MHz)

Espectro de ^1H -RMN do TDAB15 (CDCl_3 , 400 mHz)



Espectro de ^{13}C -RMN do TDAB15 (CDCl_3 , 400 mHz)

