



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DO MAMOEIRO

CAROLINY MINELY DA SILVA SANTOS

Natal

2019.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

CAROLINY MINELY DA SILVA SANTOS

EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DO MAMOEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Orientadora:

Prof^ª. Dr^ª. Salete Martins Alves

Coorientador:

Prof^º. Dr^º. Marcos Silva de Aquino

Natal

2019.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Santos, Caroliny Minely da Silva.

Extração e caracterização das fibras do mamoeiro / Caroliny Minely da Silva Santos. - 2019.
85f.: il.

Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Natal, 2019.

Orientador: Dra. Salete Martins Alves.

Coorientador: Dr. Marcos Silva de Aquino.

1. Fibras vegetais - Tese. 2. Mamoeiro - Tese. 3. Propriedade - Tese. 4. Processo de extração - Tese. 5. Caule - Tese. I. Alves, Salete Martins. II. Aquino, Marcos Silva de. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 677.1/.2

CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DO MAMOEIRO

CAROLINY MINELY DA SILVA SANTOS

ORIENTADOR: Prof^a. Dr^a. Salete Martins Alves

COORIENTADOR: Prof^o. Dr^o. Marcos Silva de Aquino

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof^o. Dr^o. Fernando Ribeiro Oliveira Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^o. Dr^o. Marcos Silva de Aquino Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof^a. Dr^a. Daniela Becker Instituição: Universidade do Estado de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelas bênçãos. Ao meu noivo Thiago Félix dos Santos pelo incentivo, apoio e carinho. À minha família, em especial à minha irmã Crislayne Michelly.

Agradeço aos meus colegas de pesquisa, aos professores da Pós-Graduação em Engenharia Têxtil e do Departamento de Engenharia Têxtil.

Agradeço a ajuda e orientação da professora Dr^a Salete Martins Alves. Ao professor e Coorientador Dr^o Marcos Silva de Aquino pelo apoio cedido desde à minha graduação em Engenharia Têxtil.

Agradeço ao laboratório de Controle de Qualidade Têxtil (Engenharia Têxtil - UFRN) e ao laboratório de Caracterização de Materiais (Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - UFRN).

Agradeço também pelo apoio financeiro da CAPES e a todos que me ajudaram durante o mestrado.

A todos, o meu obrigado.

EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DO MAMOEIRO

CAROLINY MINELY DA SILVA SANTOS

Dissertação de mestrado em Engenharia Têxtil

RESUMO

A presente dissertação estudou a extração e caracterização das fibras do mamoeiro, bem como a influência da localização das fibras no caule, tamanho da amostra de caule e da porcentagem de fibras extraídas por dois métodos de extração: o biológico e o físico, nas propriedades físicas e mecânicas das fibras. As amostras foram caracterizadas através da resistência a tração (tensão, módulo de elasticidade, tenacidade e alongamento), a cristalinidade e a molhabilidade. Em ambos os processos, todas as fibras apresentaram celulose do tipo 1, característica das fibras vegetais, demonstrando que não houve modificação química das fibras quando submetidas aos processos físico e biológico. As propriedades de resistência à tração foram maiores para a fibra localizada na região 2 do caule obtida pelo processo físico (tenacidade 25 cN/tex e alongamento 1,5%), pois nesse método de extração há controle das principais variáveis do processo, portanto há maior desempenho das fibras obtidas e maior reprodutibilidade desses resultados. Consequentemente, é também neste processo que as fibras são mais superficialmente uniformes, hidrofílicas (ângulo de contato 78° região 2 do caule) e com maior cristalinidade (65,2% região 1 do caule). O processo biológico, por sua vez, produz fibras com mais resíduos na superfície, com baixa densidade (0,64 g/cm³ região 3 do caule), com características hidrofóbicas (ângulo de contato 98° região 3 do caule) e com rendimento de fibras extraídas duas vezes superiores (14,5% região 2 do caule) quando comparado ao processo físico. Esses resultados mostram que, a partir da região da muda do mamoeiro, do tamanho da amostra e do tipo de processo de extração (biológico e físico), é possível obter fibras vegetais com maior rendimento extrativo e propriedades variadas. Desta forma, favorece uma maior aplicabilidade das fibras do mamoeiro.

Palavras-chave: fibras vegetais, mamoeiro, propriedades, processo de extração, caule.

EXTRACTION AND CHARACTERIZATION OF PAPAYA TREE FIBERS

CAROLINY MINELY DA SILVA SANTOS

Master's Dissertation in Textile Engineering

ABSTRACT

The present dissertation studied the extraction and characterization of the papaya tree fibers, as well as the influence of the location, size of the papaya bast sample and the percentage of fibers extracted by two extraction methods: the biological and the physical. After that, the physical-mechanical and chemical properties of the extracted fibers were evaluated as tensile strength (tensile, modulus of elasticity, tenacity and elongation), crystallinity and wettability. In both processes, all the fibers presented cellulose type 1, characteristic of the vegetable fibers, demonstrating that there was no chemical modification of the fibers even when they were submitted to the physical process. The properties of tensile strength were larger for the fibers 2 NBT obtained by the physical process (tenacity 25 cN / tex and elongation 1.5% region 2 of the bast), because in this process there is control of the variables of the process, thus there is greater performance of the fibers obtained and greater reproducibility of these results. Consequently, it is also in this process that the fibers are more superficially uniform, hydrophilic (contact angle 78.2 ° region 2 of the bast) and with higher crystallinity (65.2% region 1 of the bast). The biological process, in turn, produces fibers with more residues on the surface, with low density (0.64 g/cm³ region 3 of the bast), with hydrophobic characteristics (contact angle 98 ° region 3 of the bast) and obtained two times more yield of extracted fibers (14.5% region 2 of the bast) when compared to the physical process. These results show that from the bast region of the papaya tree, the size of the sample and the type of extraction process (biological and physical), it is possible to obtain vegetable fibers with higher extractive yield and varied properties. In this way, it favors a greater applicability of papaya tree fibers.

Keywords: vegetables fibers, papaya tree, properties, extraction process, bast.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA	PAGINAÇÃO
Figura 1. Estrutura e composição de uma fibra vegetal.	19
Figura 2. Partes do mamoeiro.	23
Figura 3. Folha do mamoeiro.	24
Figura 4. Exemplo de flor do mamoeiro.	24
Figura 5. Mamoeiro nos seus 4 estágios. (a) mamoeiro no estágio 1. (b) mamoeiro no estágio 2. (c) mamoeiro no estágio 3. (d) mamoeiro no estágio 4.	26
Figura 6. Anatomia do caule do mamoeiro em secção transversal. (a) Estrutura primária em vista geral. (b) Detalhe do cilindro central, evidenciando a endoderme (seta), os quatro feixes vasculares e a medula.	27
Figura 7. Vista longitudinal dos traqueídes (células condutoras de seiva bruta no xilema).	28
Figura 8. Esquema flor masculina (ou estaminada) do mamoeiro. (a) Flor fechada (b) flor aberta e (c) corte transversal.	29
Figura 9. Esquema flor feminina do mamoeiro. (a) Flor fechada (b) flor aberta e (c) corte transversal.	30
Figura 10. Esquema flor hemafrodita do mamoeiro. (a) Flor fechada (b) flor aberta e (c) corte transversal.	31
Figura 11. Divisão do caule para a realização dos ensaios.	33
Figura 12. Caule do mamoeiro aberto. (a) Caule com polpa e com casca. (b) Caule sem polpa e sem casca.	34
Figura 13. Caule batido antes (BTD) do processo de extração das fibras do mamoeiro por processo biológico.	34
Figura 14. Caule não batido antes da ação das bactérias (NBT).	35
Figura 15. Recipiente hermeticamente fechado em condições especiais para a extração da fibra do mamoeiro por ação biológica	36
Figura 16. Parâmetros geométricos para a descrição de uma gota em uma única fibra.	39
Figura 17. Esquema do ensaio de molhabilidade	40
Figura 18. Porcentagem de fibra extraída-Processo Biológico (sem casca e sem polpa/com casca e com polpa).	41
Figura 19. Fibra extraída por Processo Biológico. (a) sem casca e sem polpa. (b) com casca e com polpa.	41
Figura 20. Porcentagem de fibra extraída-Processo Biológico (NBT e BTD).	43
Figura 21. Porcentagem de fibra extraída-Processo Biológico (amostra grande/amostra pequena).	44
Figura 22. Porcentagem de extração de fibra-Processo biológico (comparação entre a localização da fibra no caule)	45
Figura 23. Vista longitudinal da fibra da parte 1 (NBT) do Processo biológico.	46
Figura 24. Vista longitudinal da fibra da parte 2 (NBT) do Processo biológico.	47
Figura 25. Vista longitudinal da fibra da parte 3 (NBT) do Processo biológico.	47
Figura 26. Vista transversal da fibra da parte 1 (1 NBT) do Processo biológico.	48
Figura 27. Vista transversal da fibra da parte 2 (2 NBT) do Processo biológico.	48
Figura 28. Vista longitudinal da fibra da parte 3 (3 NBT) do Processo biológico.	48

Figura 29. Fibra biológica 1 NBT da parte 1.	49
Figura 30. Fibra biológica 2 NBT na parte 2.	50
Figura 31. Fibra biológica NBT parte 3.	50
Figura 32. DRX com curvas de deconvolução das fibras de mamoeiro extraídas por processo Biológico. (a) Fibra 1 NBT, (b) fibra 2NBT e (c) fibra 3NBT.	52
Figura 33. Cristalinidade das fibras do mamoeiro por extração biológica das partes 1 NBT, 2 NBT e 3 NBT.	53
Figura 34. Molhabilidade das fibras de mamoeiro extraídas por processo biológico (1 NBT, 2NBT e 3NBT).	54
Figura 35. Análises das propriedades mecânicas das fibras do mamoeiro (parte 1, parte 2 e parte 3) por extração biológica: a) alongamento. b) Tenacidade. c) Coeficiente R de Pearson.	55
Figura 36. Inserção do caule do mamoeiro no recipiente hermeticamente fechado submetido a alta temperatura e pressão.	60
Figura 37. Porcentagem de fibra extraída pelo processo Físico (sem polpa e casca/com polpa e com casca).	61
Figura 38. Porcentagem de fibra extraída pelo processo Físico (NBT e BTB)	62
Figura 39. Porcentagem de fibra extraída pelo processo Físico (amostra pequena/amostra grande)	63
Figura 40. Porcentagem de extração de fibra pelo processo Físico (parte 1, parte 2 e parte 3)	64
Figura 41. Vista longitudinal da fibra da parte 1 (NBT) pelo processo físico.	66
Figura 42. Vista longitudinal da fibra da parte 2 (NBT) pelo processo físico.	66
Figura 43. Vista longitudinal da fibra da parte 3 (NBT) pelo processo físico.	66
Figura 44. Vista transversal da fibra da parte 1 (NBT).	67
Figura 45. Vista transversal da fibra da parte 2 (NBT)	67
Figura 46. Vista transversal da fibra da parte 3 (NBT)	68
Figura 47. DRX com curvas de deconvolução das fibras de mamoeiro extraídas por processo Físico-Químico. (a) Fibra 1 NBT, (b) fibra 2NBT e (c) fibra 3NBT.	69
Figura 48. Cristalinidade das fibras-Processo Físico	70
Figura 49. Fibra processo físico NBT parte 1.	71
Figura 50. Fibra processo físico NBT parte 2.	72
Figura 51. Fibra do processo físico NBT parte 3.	72
Figura 52. Molhabilidade das fibras de mamoeiro extraídas pelo processo Físico (1 NBT, 2 NBT e 3 NBT).	73
Figura 53. Análises das propriedades mecânicas das fibras do mamoeiro (parte 1, parte 2 e parte 3) por extração biológica: a) alongamento. b) Tenacidade. c) Coeficiente R de Pearson.	75

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA	PAGINAÇÃO
Tabela 1. Análises de rendimento da amostra de caule.	35
Tabela 2. Títulos das fibras extraídas de diversas partes do caule do mamoeiro pelo processo biológico em tex.	45
Tabela 3. Densidades das fibras extraídas de diversas partes do caule do mamoeiro pelo processo biológico em g/cm ³ .	45
Tabela 4. Densidade das fibras de caule.	46
Tabela 5. Índice de cristalinidade de fibras de caule.	53
Tabela 6. Angulo de contato de fibras de caule.	54
Tabela 7. Comparativo entre o alongamento e tenacidade da fibra do mamoeiro e outras fibras vegetais extraídas do caule.	57
Tabela 8. Títulos das fibras (tex) extraídas de diversas partes do caule do mamoeiro pelo processo físico.	65
Tabela 9. Densidade das fibras extraídas (g/cm ³) de diversas partes do caule do mamoeiro pelo processo físico.	65
Tabela 10. Comparação das propriedades mecânicas de fibras de caule	76

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	13
1. INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO II - ESTADO DA ARTE	15
2. AS FIBRAS QUÍMICAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS.	15
2.1. AS FIBRAS NATURAIS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL DAS FIBRAS QUÍMICAS	16
2.2. FIBRAS VEGETAIS E SUA COMPOSIÇÃO	18
2.2.1. CULTIVO E QUALIDADE DAS FIBRAS VEGETAIS	19
2.2.2. EXTRAÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS	20
2.3. IDENTIFICAÇÃO DO MAMOEIRO	22
2.3.1. ASPECTOS GERAIS DO MAMOEIRO	22
2.3.2. TAXONOMIA DO MAMOEIRO	23
2.3.3. REPRODUÇÃO E SEXAGEM DO MAMOEIRO	28
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
CAPÍTULO III – PROCESSO BIOLÓGICO	32
3. EXTRAÇÃO POR PROCESSO BIOLÓGICO DA FIBRA DO MAMOEIRO	32
3.1. INTRODUÇÃO	32
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.2.1. EXTRAÇÃO DAS FIBRAS DO MAMOEIRO	32
3.2.2. CARACTERIZAÇÃO VISUAL DA FIBRA POR MICROGRAFIA ÓTICA	36
3.2.3. CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA POR MEV-FEG	37
3.2.4. DETERMINAÇÃO DO TÍTULO DA FIBRA	37
3.2.5. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA FIBRA	37
3.2.6. ENSAIO DE TRAÇÃO DA FIBRA	38
3.2.7. ENSAIO DE MOLHABILIDADE	38
3.2.8. ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)	40
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
3.3.1. RENDIMENTO DOS PROCESSOS	41
3.3.2. DETERMINAÇÃO DOS TÍTULOS E DAS DENSIDADES DAS FIBRAS	45
3.3.3. CARATERIZAÇÃO VISUAL DA FIBRA POR MICROGRAFIA ÓTICA.	46
3.3.4. CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DO MAMOEIRO POR MEV-FEG	49
3.3.5. ANÁLISE DAS FIBRAS POR DIFRAÇÃO DE RAIO-X.	51
3.3.6. ENSAIO DE MOLHABILIDADE	53
3.3.7. ENSAIO DE TRAÇÃO	54
3.4. CONCLUSÃO	58

CAPÍTULO V – PROCESSO FÍSICO **59**

4. EXTRAÇÃO POR PROCESSO FÍSICO DA FIBRA DO MAMOEIRO **59**

4.1. INTRODUÇÃO **59**

4.2. MATERIAIS E MÉTODOS **59**

4.2.1. EXTRAÇÃO DAS FIBRAS DO MAMOEIRO POR PROCESSO FÍSICO **59**

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES **61**

4.3.1. RENDIMENTO DOS PROCESSOS **61**

4.3.2. DETERMINAÇÃO DOS TÍTULOS E DAS DENSIDADES DAS FIBRAS **65**

4.3.3. CARACTERIZAÇÃO VISUAL DA FIBRA POR MICROGRAFIA ÓTICA. **65**

4.3.4. ANÁLISE DE DIFRAÇÃO DE RAIO-X (DRX) **68**

4.3.5. CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS POR MEV-FEG **71**

4.3.6. ENSAIO DE MOLHABILIDADE **73**

4.3.7. ENSAIO DE TRAÇÃO **74**

4.4. CONCLUSÃO **77**

CAPÍTULO V – CONCLUSÃO DA DISSERTAÇÃO **79**

CAPÍTULO VI – LITERATURA CITADA **80**

CAPÍTULO I - APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A preocupação relacionada ao crescente uso de matérias-primas não renováveis está despertando o interesse por um novo conceito de material que considere questões ambientais como a biodegradabilidade, a renovabilidade e o uso de energia. Assim, o desempenho mecânico, o custo e a disponibilidade não são os únicos pontos a serem considerados, mas também o impacto ambiental e o desenvolvimento social e financeiro da população economicamente vulnerável (AMICO, 2010).

Pensando nisso, as fibras vegetais são vistas como substitutas das fibras químicas, pois são renováveis, biodegradáveis, têm boa durabilidade, baixa densidade, boas propriedades mecânicas e baixo custo. O uso dessas fibras tem sido explorado em diversos projetos científicos, comerciais e de pesquisa e os dados obtidos estão sendo analisados para agregar novos valores para futuras aplicações desses materiais. Na maioria dos estudos, as fibras naturais são usadas como substitutos das fibras tradicionais em compósitos, geotêxteis e no setor automotivo. Esse empenho veio como resultado dos problemas ambientais gerados e das regulamentações criadas para processos mais limpos que estão em foco atualmente (COSTA, et al 2014).

Diversas fibras celulósicas têm sido exploradas no meio científico, como por exemplo o sisal, o hemp (cânhamo) e o coco. O resíduo da fibra de sisal foi explorado por Lima et al (2014), em uma pesquisa científica, para produzir compósitos a base de cimento. Suardana, et al (2011), por sua vez, estudou as propriedades mecânica das fibras de hemp aplicadas a um compósito a base do polipropileno. Já Yuhazri e Dan (2008) desenvolveram um colete à prova de balas feito de fibra de coco que, além de ser leve, fornece boa proteção.

Apesar da crescente visibilidade das fibras celulósicas, ainda existem muitas fibras que não são exploradas sob o ponto de vista econômico, é o caso da fibra do mamoeiro, obtida de uma planta importante para a agroeconomia brasileira. Assim, os mamoeiros que já não possuem mais produtividade no campo são descartados, desperdiçando o seu potencial fibroso que poderia ser aproveitado. No entanto, autores como Kempe et al (2015) estudaram a fibra do mamoeiro para aplicação em compósitos. Já Saravanakumaar et al (2018) examinaram o efeito do tratamento com hidróxido de sódio (NaOH) nas fibras do mamoeiro e foi observado que o tratamento alcalino melhorou as propriedades dessas fibras.

O objetivo do presente trabalho é desenvolver dois métodos de extração das fibras do mamoeiro que não utilizam produtos químicos, denominados processo biológico e processo físico. Cada método de extração foi comparado em função do tempo consumido e da possibilidade de controle dos parâmetros. Também como objetivos específicos, tem-se:

- A influência do processo de extração no que se refere a: presença da casca e da polpa do caule, do batimento no processo de extração (BTD e NBT), do tamanho do caule (pequeno e grande) e da posição das fibras no caule (parte 1, 2 e 3) para o rendimento de extração das fibras;
- A influência do método (físico ou biológico) e da posição das fibras no caule (parte 1, 2 e 3) nas características e propriedades das fibras do mamoeiro.

Com os resultados obtidos nos objetivos específicos, é possível mapear as características das fibras obtidas, facilitando a escolha de uma aplicação futura. Com isso, a presente dissertação está dividida em 6 capítulos que são: **capítulo I** (introdução), **capítulo II** (estado da arte), **capítulo III** (extração biológica da fibra do mamoeiro), **capítulo IV** (extração física da fibra do mamoeiro) e **capítulo V** (conclusão geral da dissertação).

CAPÍTULO II - ESTADO DA ARTE

2. AS FIBRAS QUÍMICAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS.

O homem desde o início de sua existência está em contato com a natureza e foi a partir dela que ele retirou todos os elementos essenciais para a sua subsistência (SKENDEROVIC, 2015). Assim, era possível alimentar-se, matar a sede, construir abrigos e adquirir materiais têxteis para diversos fins. Com o passar do tempo, o ser humano passou a produzir fibras que não vinham mais de fontes renováveis, as denominadas fibras químicas ou manufaturadas. Estas possibilitaram ao homem a produção de materiais têxteis mais rapidamente, pois não foi mais necessário esperar uma planta crescer. Além disso, a fabricação dessas fibras em sistemas automatizados permitiu a manutenção na qualidade desses materiais, pois esta não depende das condições climáticas e nem do bom manejo do solo para favorecer a produção. Em contraponto a esse avanço tecnológico e aos benefícios alcançados, as fibras químicas, por não serem produzidas a partir de materiais renováveis e biodegradáveis, contribuem para a poluição ambiental. Assim, as fibras químicas, quando descartadas de forma inapropriada, podem ser encontradas no meio ambiente em forma de microplásticos e macroplásticos.

Os microplásticos são pequenos fragmentos de plástico, fibras ou grânulos que podem ter um tamanho entre 1 a 10 mm. Estes, quando encontrados em ambientes aquáticos, são potencialmente biodisponíveis aos organismos, por causa do seu minúsculo tamanho. Por serem propensos a aderir poluentes orgânicos à base de água e à lixiviação de plastificantes, os microplásticos, quando ingeridos pelos animais, introduzem essas toxinas na base da cadeia alimentar podendo promover a bioacumulação, além de danos à biota. Por vezes, os microplásticos não são depositados diretamente nas águas, mas o descarte desses detritos no solo também contribui para a poluição marinha sempre que há chuva, inundações ou furacões (COLE et al, 2011).

Além de poluírem as águas, os microplásticos também são poluidores da atmosfera. Um estudo realizado por DRIS et al (2016) investigou a precipitação atmosférica de microplásticos em regiões urbanas e suburbanas de Paris. Como resultado, as amostras indicaram a presença de fibras, na qual, 29% delas contém pelo menos uma parte de polímero plástico na sua composição, sendo que, em algumas fibras, o polímero sintético está presente em sua totalidade.

Como já foi dito, além da poluição dos microplásticos, há também a poluição pelos macroplásticos. Estes, quando em ambiente marinho, trazem problemas relacionados ao turismo, a

vida marinha e a economia já que o plástico pode se emaranhar nos equipamentos subaquáticos, causando diversos danos. Além disso, a inserção desse material também interfere na pesca e na aquicultura já que é comum a ingestão de macrolásticos por meio dos animais, causando a morte de inúmeras espécies. Um exemplo dos macrolásticos são as redes de nylon e as linhas sintéticas usadas para a pesca. Estas quando descartadas ou perdidas podem causar a morte da biota marinha pelo emaranhamento, acidente conhecido como “pesca fantasma” (COLE et al, 2011).

Embora a falta de biodegradabilidade das fibras químicas seja um problema no descarte, a produção dessas fibras também gera muita poluição, pois são produzidas a partir de resinas derivadas do petróleo, além de utilizar combustíveis fósseis e produtos químicos nocivos ao meio ambiente e à sociedade. A toxicidade pode ainda ser maior quando essas fibras são processadas à úmido por causa da presença de metais no efluente. Já os lubrificantes, adicionados e removidos na fibra durante o processo, contaminam ainda mais o efluente gerado. Além disso, o processo pode incluir resíduos de: polimerização, aditivos fundidos, auxiliares de extrusão e acabamento da fibra (ALI, SARWAN, 2010; GAMBOA, 2005).

Sendo assim, as fibras químicas não se mostram uma boa opção quando se deseja preservar o meio ambiente, já que são poluentes durante o processo de fabricação e também no descarte do produto final. Portanto, a necessidade de se obter materiais têxteis que poluam menos durante a sua produção e tenham um descarte biodegradável mostra que as fibras naturais podem ser uma alternativa ecologicamente correta para a substituição dos materiais sintéticos.

2.1.As fibras naturais como alternativa sustentável das fibras químicas

As fibras vegetais são amplamente utilizadas pela natureza para adaptar as propriedades das plantas às restrições mecânicas que ela tem para lidar durante a sua vida útil. Elas se localizam no esclerênquima, ou seja, na parede celular secundária lignificada, proporcionando estabilidade mecânica, compensando a baixa resistência à compressão da madeira e permitindo também movimentos de flexão direcionados. As suas propriedades variam em função das características, como a composição e a organização micro e nanoestruturais. Nesse sentido, a fibra vegetal é uma estrutura com propriedades otimizadas e, por essa razão, foi tecnicamente utilizada na antiguidade na fabricação de compósitos feitos de palha e barro ou lama, como fizeram os antigos egípcios há cerca de 3000 anos. Por causa da diversidade nas propriedades encontradas em cada fibra natural, atualmente elas são usadas na fabricação de roupas, têxteis para o lar, cordas, sacos, fios, embalagens, tranças de

cabos, lonas, feltros, suporte de tapete, tecidos, forros, materiais de reforço e outros (EDER, BURGERT, 2010; HEARLE, et al, 1963; CATLING; GRAYSON, 1982).

Além dessas utilidades, as fibras vegetais também são objetos de estudo para serem substitutos da fibra de carbono e vidro na produção de materiais compósitos. Isso porque elas são de fato recursos renováveis que podem ser cultivados, tendo fornecimento ilimitado em comparação com essas fibras químicas. Além disso, as fibras naturais são de baixo custo, recicláveis, de baixa densidade, de material ecológico e com excelente resistência à tração (KU, et al 2011).

Tecnicamente, as fibras vegetais são analisadas na sua relação de aspecto e na forma da seção transversal. A relação de aspecto considera o comprimento com o diâmetro da fibra e, normalmente, este valor é superior a 100, ou seja, as fibras possuem seu comprimento 100 vezes maior que o próprio diâmetro. A razão de aspecto pode variar ao longo da fibra em pequenos pontos, indicando uma “multifuncionalidade”, isto é, a possibilidade de manutenção do transporte de água e estabilidade mecânica. Já o formato da seção transversal da fibra pode ser retangular, hexagonal, circular ou irregular que pode ser diferente para cada espécie ou em locais específicos na planta (EDER, BURGERT, 2010).

Além da estrutura, a composição das fibras vegetais também pode variar. Apesar delas apresentarem normalmente celulose, hemicelulose e lignina, a proporção de cada componente pode variar entre as plantas (SARIKANAT et al., 2014). Sendo assim, cada fibra vegetal terá suas propriedades específicas e, portanto, terá uma ou mais aplicações.

As fibras de linho, por exemplo, são rentáveis e oferecem propriedades mecânicas que podem ser comparadas às fibras de vidro. Elas podem substituir materiais perigosos como o amianto e também podem ser utilizadas em compósito de matrizes termoplásticas ou termofixas, exibindo boas propriedades mecânicas (KROMER, 2009; YAN, et al, 2013).

As fibras de cânhamo, por sua vez, há muito tempo foram utilizadas na fabricação de produção de produtos de fibra, vestuário, velas, corda, papel e suprimentos médicos. Atualmente, elas são usadas em indústrias automotivas principalmente para reforço de painéis de porta, em carros, pilares, revestimentos de botas e também em isolamentos térmicos, já que essa fibra é resistente ao calor. Além disso, o cânhamo tem propriedade antiestática, boa durabilidade, conforto, respirabilidade e é alvo de pesquisa sobre a ação bactericida, propriedade muito importante para uso no vestuário (ZHANG, 2016; DHAKAL, ZHANG, 2015).

As fibras de Kenaf também são muito importantes, sendo usadas em diversas aplicações como em compósitos de matriz polimérica, como o polipropileno. O uso dessa fibra é apontado como vantajoso nos âmbitos econômicos e ambientais já que cresce muito e é de fácil plantio por aceitar diversas condições climáticas (AKIL et al, 2011).

As fibras celulósicas, apesar de terem a mesma origem, podem ter propriedades distintas, como já foi mencionado. Isso acontece por diversos fatores, como, por exemplo, a composição química. No caso das fibras de linho, cânhamo e kenaf, estas possuem a composição com teores bem parecidos para a celulose e a hemicelulose, sendo a maior diferença para a lignina onde o menor teor encontra-se na fibra de linho (AKIL et al, 2011; BISMARCK, et al 2005).

2.2.Fibras vegetais e sua composição

As fibras vegetais podem ser obtidas de diversas partes das plantas, tais como sementes, frutos, folhas e caule. As fibras extraídas no caule e na folha tendem a ser mais duras e, normalmente, as suas propriedades permitem o uso em aplicações compostas. Exemplos de fibras de caule incluem cânhamo, juta, linho, rami, kenaf e bananeira. As fibras foliares incluem fibras de sisal e de folha de bananeira. As propriedades dessas fibras incluem excelente resistência à tração e módulo de elasticidade (ou de Young), alta durabilidade, baixa densidade aparente, boa moldabilidade e reciclabilidade (WILLIAMS, WOOL, 2000).

As fibras vegetais possuem em sua composição materiais celulósicos e não celulósicos tais como, hemicelulose, pectina e lignina, assim elas também são conhecidas como fibras lignocelulósicas ou celulósicas. A celulose é um polissacarídeo semicristalino e é a razão para as fibras naturais demonstrarem um comportamento hidrofílico, além de fornecerem resistência e rigidez. A hemicelulose é um polissacarídeo amorfo ramificado de açúcares pentoses e hexose. Este pode ser encontrado na parede celular da planta e sua massa molecular é menor do que o da celulose (HUFFMAN, 2003. SALIT, 2014). A pectina é uma classe de polissacarídeo que pode ser encontrada na parede celular vegetal e é responsável pela união intercelular, juntamente com a celulose e hemicelulose. (PAIVA et al, 2009; SALIT, 2014). A lignina é um polímero aromático, não linear e que possui ligações quimicamente diversas. Atua como um aglutinante para as fibras de celulose e adiciona força e rigidez às paredes celulares (CESARINO, 2012; SALIT, 2014). Já a holocelulose contém principalmente celulose e hemicelulose e é o polissacarídeo total de fibras naturais (SALIT, 2014). A **Figura 1** ilustra a composição e a estrutura das fibras vegetais.

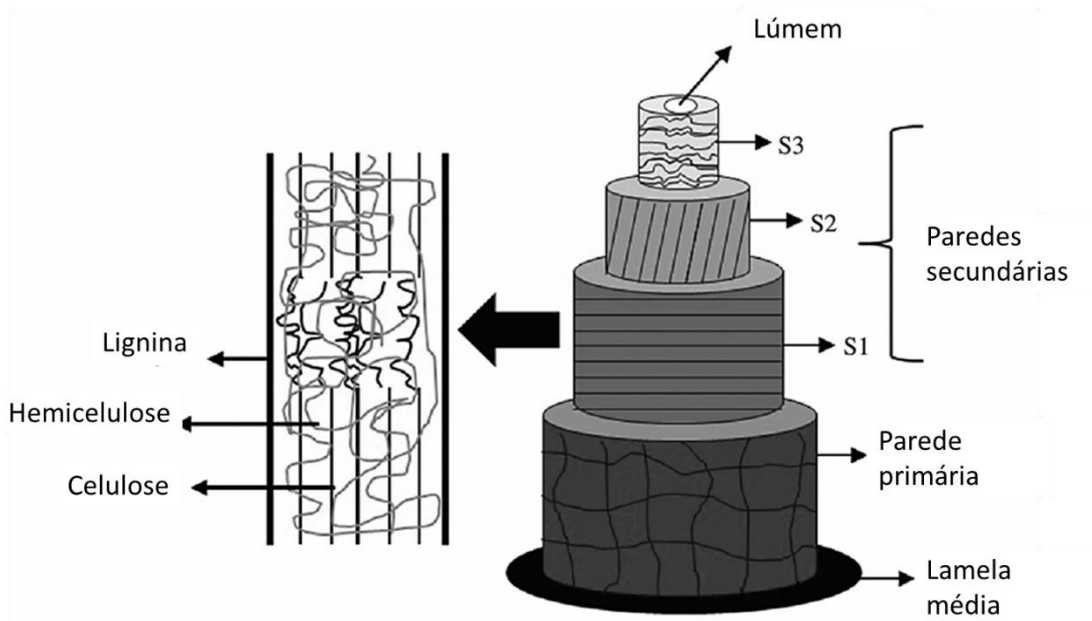


Figura 1. Estrutura e composição de uma fibra vegetal.

Fonte: Pereira, 2015 (Adaptado).

2.2.1. Cultivo e qualidade das fibras vegetais

A qualidade da produção de fibras vegetais, ao contrário do que se pensa, depende pouco das condições do solo, para muitos casos, embora a maioria das plantas prefira um solo que drena bem no tempo úmido, mas que não seque durante períodos de baixa precipitação (CATLING; GRAYSON, 1982).

Realizar uma plantação com o espaçamento correto é importante, pois podem até minimizar o aparecimento de ervas daninhas e permitir melhor aproveitamento de nutrientes e luz. As cultivares de porte alto, que produzem muita massa, normalmente não se beneficiam de pequenos espaçamentos. Já os híbridos de ciclo menor, com pouco desenvolvimento de massa, demoram a fechar os espaços entre as fileiras e, muitas vezes, nem conseguem sombrear toda a área (SANGOI, 2001; CATLING; GRAYSON, 1982). As plantações de agave são um caso onde o espaçamento é crucial para o bom desenvolvimento das fibras de sisal. Essas plantas, quando muito próximas, podem ferir umas às outras, diminuindo a qualidade das fibras. O crescimento de ervas daninhas, nesse caso, também prejudica o desenvolvimento das folhas, local onde se encontram as fibras.

Após o crescimento das fibras vegetais, o sucesso da cultura dependerá da habilidade do agricultor em decidir o tempo da colheita. Se ela ocorrer muito cedo, o rendimento será baixo. Por outro lado, se ela for adiada por muito tempo, a qualidade da fibra provavelmente se deteriorará, pois elas tornam-

se frequentemente lignificadas. Além disso, as dificuldades na separação da fibra de outros tecidos e na sua transformação podem ser frequentemente atribuídas a atrasos excessivos na colheita. Comumente, esse tempo está associado à floração das plantas. A queda de algumas folhas ou flores ou mudanças na cor de algumas partes da planta também podem fornecer um guia para a condição de colheita (CATLING; GRAYSON, 1982). No caso do mamoeiro, a floração depende da sua variedade ou cultivar. No caso da *Sunrise Solo*, a primeira floração ocorre entre 3 a 4 meses de idade, com altura de inserção das flores de 70 cm a 80 cm. Já para a variedade *Baixinho de Santa Amália*, a altura de inserção das primeiras flores em torno de 50 cm a 70 cm. No entanto, pode se dizer que no geral, a floração ocorre entre 3 a 4 meses após o plantio (DANTAS et al., 2013).

2.2.2. Extração de fibras vegetais

A extração da fibra vegetal, muitas vezes parte da separação da mesma de outros materiais. Geralmente, no caso das fibras de caule, os tecidos moles são removidos pela ação de microrganismos, que podem produzir enzimas eficientes na degradação. Tais enzimas são importantes no ecossistema por fazer a reciclagem da celulose e da quitina. A degradação da biomassa é necessária e essencial para a continuidade do reaparecimento de elementos simples como o carbono, oxigênio e hidrogênio. Enquanto o dióxido de carbono retorna para o ar com a deterioração de produtos, a água, sais minerais e outros elementos retornam para o solo e tornam-se novamente disponíveis para o surgimento de novas plantas, animais ou outros produtos. Na indústria alimentícia, a decomposição é uma solução adequada para a reciclagem dos resíduos sólidos de origem vegetal (KEITH, 2016; KEITH, 2006; LIU, et al, 2017, MORESCHI, 2013).

De acordo com Moreschi (2013), a umidade da madeira é um fator importante para a sua degradação a partir das bactérias que liberam enzimas que atacam principalmente a pectina, a celulose e a lignina da madeira. As bactérias são ainda os primeiros organismos a ocuparem todo o espaço físico da superfície do material com rapidez e normalmente promovem interações com outros tipos de organismos xilófagos.

Outro fator que influencia na extração é o tempo do processo, este desempenha um papel vital, pois, se for muito longo, as células da fibra também serão afetadas e enfraquecidas. O que promove diminuição das propriedades mecânicas da fibra. Por outro lado, o processo de extração em um tempo muito curto tornará difícil a separação das fibras do material não fibroso (CATLING; GRAYSON, 1982; SALIT, 2014).

Algumas outras fibras podem ser extraídas sem a maceração (ou *retting*), os produtores estão sempre dispostos a considerar métodos que irão reduzir o tempo e as despesas envolvidas na refinação da fibra. Nesse caso, tem-se o método da decorticação que é um processo mecânico de extração de fibras vegetais. Este pode ser empregado dependendo do investimento financeiro disponível que, nesse caso, é utilizado para obtenção de máquinas decortificadoras, por exemplo (SALIT, 2014).

Diversos pesquisadores realizaram a extração de fibras vegetais. Kant e Alagh (2015) extraíram e estudaram a fibra da planta *Sansevieria Trifasciata*, conhecida como espada-de-são-jorge. Como resultado, as fibras foram obtidas com sucesso e apresentaram boa resistência mecânica, finura e baixo alongamento, podendo ser usada para sacos, cordas e artesanato. Udeani e Nkemdilim (2011) extraíram fibras de algumas plantas xerófitas com ou sem o uso de hidróxido de sódio (NaOH), além de água quente ou fria. Como resultado, cada planta obteve um método de extração específico, sendo que nenhuma delas pode ser extraída usando apenas água fria.

Quando se trata de extração de fibras por decorticação, alguns trabalhos foram encontrados. A patente americana US 7.669.292 B2, criada por Chute, Henry e Rolheiser, relata sobre a invenção de um processo de extração de fibras de caule utilizando um refinador de disco com uma energia aplicada inferior a 150 kWh/t. As etapas utilizadas incluem o corte, o refinamento através de um refinador de disco e peneiração para separar as fibras. Já a patente US 5465464A, criada por Chen, Pote e Fuller, é sobre uma máquina de decorticação usada para soltar e separar o núcleo de planta de kenaf ou caules semelhantes, para a extração das fibras externas. Dessa forma, esse equipamento conta com conjuntos de rolos importantes para a separação das fibras e possuem velocidades que variam de 0,85 até 1,65 metros por segundo.

Como foi possível observar, existe processo de extração biológica para muitas fibras, no entanto não se observou trabalhos específicos deste tipo de extração para a fibra do mamoeiro. Também não se verificou na literatura tecnologia para a extração de fibras do caule no geral por método físico. As técnicas não biológicas utilizadas para fibras de caule são a de decorticação que normalmente utilizam lâminas ou possuem equipamentos extremamente complexos. Portanto, é possível perceber a lacuna que existe ao se tratar de extração fibra do mamoeiro, reforçando a importância desse trabalho como um projeto inovador e simples, não requerendo um maquinário complexo.

2.3. Identificação do mamoeiro

2.3.1. Aspectos gerais do mamoeiro

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma das principais fruteiras das regiões tropicais e subtropicais do mundo, sendo seu fruto bastante consumido in natura ou industrializado. O fruto possui elevado valor nutricional, sendo rico em açúcares e compostos bioativos, como os carotenoides e a vitamina C. Quando verde, o mamão apresenta elevados teores da enzima proteolítica denominada papaína. Esta é bastante utilizada nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de cosméticos. Da planta também é extraída a carpaína, um ativador cardíaco (RITZINGER e SOUZA, 2000; DANTAS, et al, 2013; TRINDADE et al, 2000).

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é tipicamente tropical e foi descoberto pelos espanhóis na região compreendida entre o sul do México e o norte da Nicarágua. É bastante comum em quase todos os países da América Tropical e a sua origem central é provavelmente o Noroeste da América do Sul, vertente oriental dos Andes, mais precisamente a Bacia Amazônica Superior (onde sua diversidade genética é máxima). A planta ainda se estende até a América Central e sul do México. (RITZINGER e SOUZA, 2000; SERRANO; CATTANEO, 2011; DANTAS, et al, 2013; TRINDADE et al, 2000; SANCHES; DANTAS e OLIVEIRA, 1999).

A fruteira foi amplamente distribuída em várias regiões tropicais, estendendo-se a 32° de latitudes norte e sul. A cultura possui renovação dos pomares a cada quatro anos, no máximo e desenvolve-se, satisfatoriamente, em locais com temperatura média anual de 25°C, com limites entre 21°C e 33°C, e precipitação pluviométrica de 1.500 mm anuais bem distribuídas. Embora a planta resista a temperaturas relativamente baixas, o mamoeiro é muito sensível aos ventos frios e as geadas, pois, mesmo que estas sejam leves, provocam queimaduras nas folhas, diminuindo a sua produção pela escassez de área na folha, responsável pela fotossíntese. (SERRANO e CATTANEO, 2010; DANTAS e OLIVEIRA, 1999).

O Brasil destaca-se na produção do mamão por causa das suas excelentes condições ambientais, gerando empregos diretos e indiretos, garantindo a absorção de mão de obra durante o ano todo, já que os tratos culturais, a colheita e a comercialização são efetuadas de maneira contínua nas lavouras. Os plantios do mamoeiro precisam ser renovados, em média, a cada 2, 3 ou 4 anos, no máximo, por causa da diminuição da produção e também da qualidade dos frutos, garantindo assim a permanência do homem no campo e contribuindo para a redução do êxodo rural (OLIVEIRA, 2002; DANTAS, et al, 2013; SILVA, et al, 2010).

2.3.2. Taxonomia do mamoeiro

A taxonomia é a ciência responsável pela classificação biológica de organismos vivos e extintos e também pela nomenclatura. O termo é derivado das palavras gregas *táxis* “acordo” e *nomos* “lei”. Portanto, a taxonomia é a metodologia e princípios de botânica sistemática e zoologia e estabelece arranjos dos tipos de plantas e animais em hierarquias de grupos superiores e subordinados (CAIN, 2017).

O mamoeiro pertence ao reino plantae, na família caricaceae. Esta possui seis gêneros e tem uma distribuição anfiatlântica, com 2 espécies na África Tropical e aproximadamente 33 espécies nas Américas Central e do Sul. Dentre os diversos gêneros, há o *Horovitzia* (endêmico no México), o *Jarilla* (presente no México e Guatemala), o *Jacaratia* (com oito espécies, que ocorrem do sul do Brasil ao México) e também o *Carica*, com sua única espécie, a *C. papaya* (GUERRA e MENDONÇA, 2009; DANTAS, et al. 2013).

Trata-se de uma planta arbustiva perene de tronco tenro e suculento com látex em todas as partes. Tal pertence à classificação Angiosperma dicotiledônea, ou seja, é composta por raiz, caule, folha, flor, semente e fruto (GUERRA e MENDONÇA, 2009). A **Figura 2** mostra o mamoeiro e suas partes.

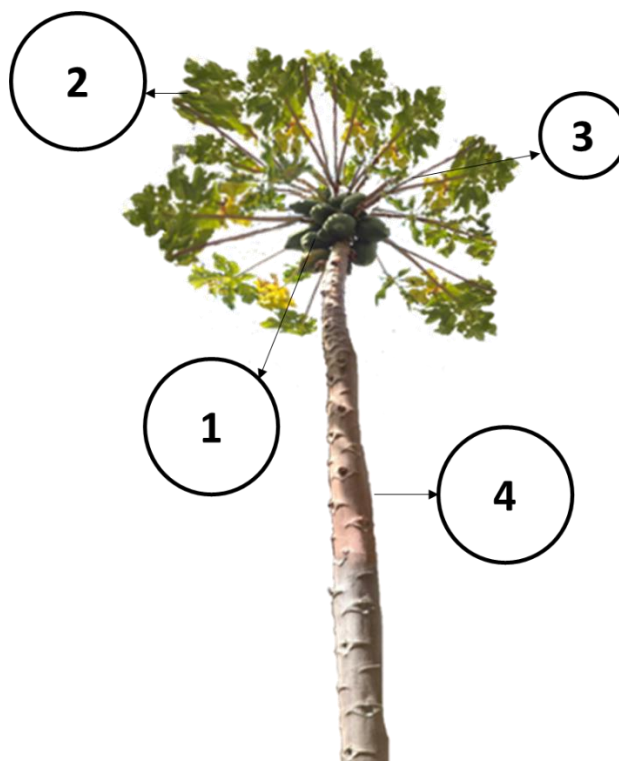


Figura 2. Partes do mamoeiro.

Onde:

1: fruto do mamoeiro, 2: Folhas, 3: Pecíolo e 4: Caule.

As **Figuras 3 e 4**, por sua vez, mostram a folha e a flor do mamoeiro, respectivamente.



Figura 3. Folha do mamoeiro.



Figura 4. Exemplo de flor do mamoeiro.

Os frutos do mamoeiro são conhecidos internacionalmente e possuem formato ovoide, esférico e periforme. A cor da sua polpa varia entre tons de amarelo a salmão. A casca é lisa, verde e, quando madura, torna-se amarela ou laranja. O interior possui cavidade contendo muitas sementes. O mamão está presente em diversos países de clima tropical como o Brasil e o México. Ao contrário do que pensa, ele não serve apenas para fins alimentícios. Na cultura jamaicana, o fruto foi usado na área da medicina, assim como diversas outras frutas, ervas locais, flores e folhas de árvores. Estas são

formuladas em preparações líquidas ou em pó, mesmo que elas nem sempre sejam aceitas pelo sistema de saúde. Segundo relatos, ele foi introduzido na Jamaica para o tratamento de lesão por pressão (LPP) na década de 1970, quando os agentes de desprendimento padrão estavam ficando escassos e caros. Dessa forma, buscaram-se tratamentos alternativos tão eficazes quanto às abordagens médicas padrões. O mamão então foi encontrado como uma solução tanto por ser disponível, quanto por ser relativamente barato. Um estudo realizado, ainda na Jamaica, relatou que o uso do mamão para o tratamento de LPP's, mostrou-se positivo na cicatrização dessas feridas a partir do desbridamento químico realizado pelo fruto (HEWITT, et al 2002). Trata-se de uma fruta que possui ótimo valor nutricional, contendo cálcio, magnésio, potássio, vitaminas A, C, K e E (USDA, 2016). Na indústria, o fruto tem importantes aplicações farmacêuticas e também é usado na fabricação de bebidas, cosméticos, para a área têxtil e de curtimento (DEVAKI, et al 2015).

As suas folhas duram de 4 a 6 meses, possuem um longo pecíolo que podem atingir até 70 cm e estão distribuídas individualmente de forma espiralada. As flores, por sua vez, aparecem unicamente ou agrupadas em cachos. Elas surgem a partir do 3° ou 4° mês após o plantio da muda. A polinização pode ocorrer por meio dos insetos e ventos, embora a estrutura das flores dificulte esse processo. Apresenta uma raiz pivotante, tipo napiforme, ou seja, encontra-se abaixo do solo e possui uma raiz principal grossa que pode atingir mais de 3 metros de profundidade e raízes secundárias que se concentram em maior quantidade a 30 cm do solo (GUERRA e MENDONÇA, 2009).

A árvore possui crescimento rápido e precoce entre o terceiro e o quarto mês de plantio da muda inicia-se o período do florescimento e a partir do oitavo mês pode-se fazer as primeiras colheitas. Sua altura está entre três e oito metros e sua vida útil economicamente viável é de três anos (GUERRA e MENDONÇA, 2009). A **Figura 5** mostra o desenvolvimento de um mamoeiro. Para facilitar a compreensão dos próximos tópicos e capítulos, as imagens do crescimento da árvore estão divididas em estágios enumerados de 1 a 4.



Figura 5. Mamoeiro nos seus 4 estágios. **(a)** mamoeiro no estágio 1. **(b)** mamoeiro no estágio 2. **(c)** mamoeiro no estágio 3. **(d)** mamoeiro no estágio 4.

O tronco é oco verde, reto, cilíndrico, divide-se em entrenós, tem diâmetro de aproximadamente 30 cm e possui cicatrizes de folhas proeminentes (GUERRA e MENDONÇA, 2009). Internamente, apresenta polpa (ou córtex), juntamente com o floema (fl), xilema (xi) e também a medula (me), como mostra a **Figura 6**.

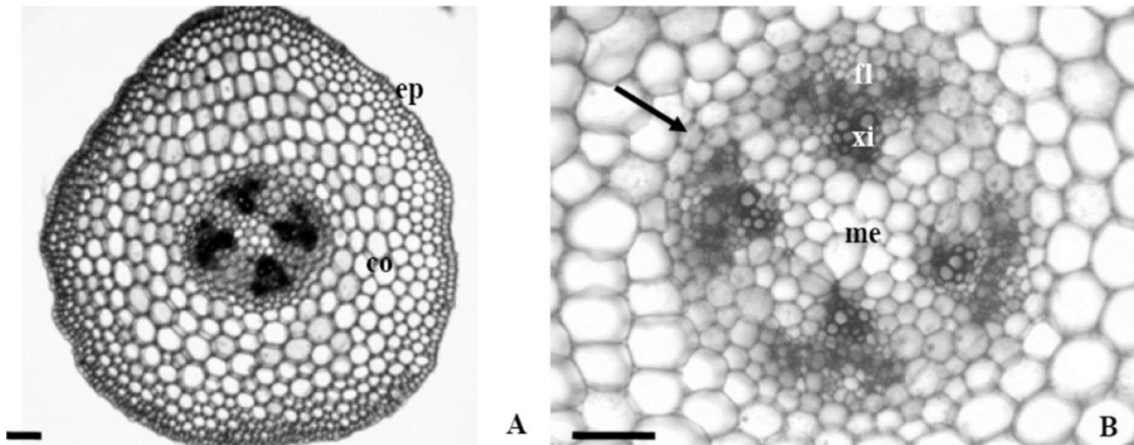


Figura 6. Anatomia do caule do mamoeiro em secção transversal. **(a)** Estrutura primária em vista geral. **(b)** Detalhe do cilindro central, evidenciando a endoderme (seta), os quatro feixes vasculares e a medula.

Fonte: CARNEIRO E CRUZ (2009)

As fibras a serem extraídas localizam-se numa região entre a epiderme (ep) e o córtex (co). De acordo com LOPES (2006), as fibras vegetais têxteis situam-se no esclerênquima que é um tecido de sustentação formado por células mortas, com parede celular espessada por causa, principalmente, da impermeabilização causada pela lignina presente. Esse tecido é composto de esclereídeos, além das fibras. Trata-se de uma estrutura importante para a planta, pois esta promove sustentação.

A planta apresenta também estrutura muito parecida com as fibras. No entanto, de acordo com LOPES (2006), essas estruturas fazem parte dos tecidos vasculares formados pelo xilema e floema, responsáveis pelo transporte da seiva bruta e elaborada, respectivamente. No caso do xilema, esta pode apresentar estruturas diversas, como mostra a **Figura 7**.

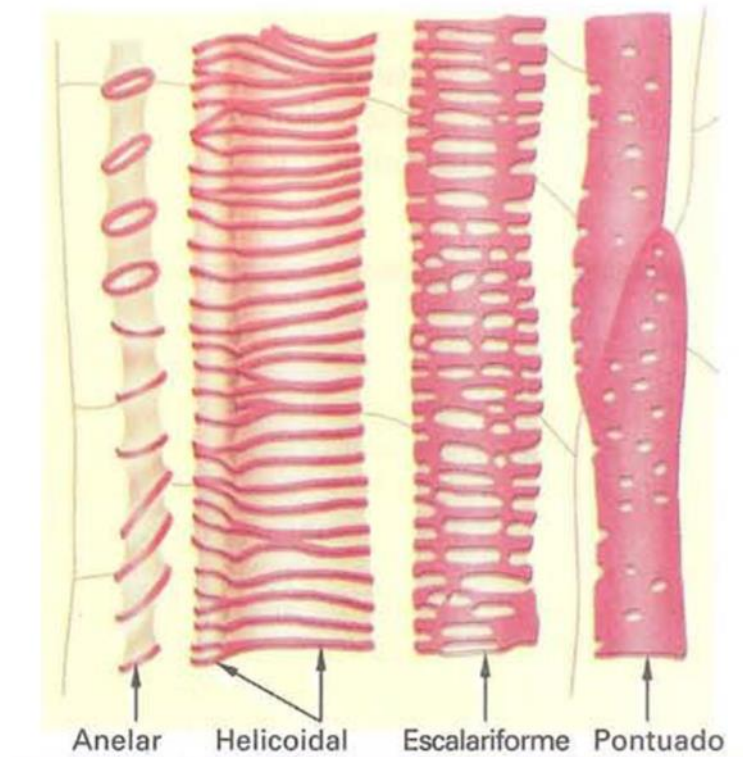


Figura 7. Vista longitudinal dos traqueídeos (células condutoras de seiva bruta no xilema).

Fonte: LOPES,2006.

As fibras também podem ser encontradas no xilema primário que contém ainda os elementos traqueáreos e as células de parênquima. O xilema secundário é originado pelo câmbio vascular. O floema, também denominado de líber, é o tecido responsável pela condução da seiva elaborada e contém, além das fibras, os elementos crivados e as células do parênquima. De modo comparativo, as fibras aparecem em menor quantidade no floema do que no xilema. As fibras de linho e de hibisco são encontradas no floema das plantas. Já a fibra de sisal é encontrada no xilema (SOUZA, 2015; KIM e NETRAVALI, 2010).

2.3.3. Reprodução e sexagem do mamoeiro

Para se trabalhar com o mamoeiro, é imprescindível conhecer inicialmente como ocorre a sua reprodução. Esta planta pode reproduzir-se de forma cruzada ou pela autofecundação. Durante esse processo, o mamoeiro pode apresentar algumas anomalias nos seus frutos que normalmente não são ideais para a comercialização. Como exemplo, há o “ovocarpismo” que é a presença de pequenos “mamilos” ou mesmo “mini-frutos” com sementes no interior do fruto. Isso ocorre provavelmente devido ao excesso de pólen na flor. Outra anomalia presente no mamoeiro é a formação de frutos

“carpelóides” que ocorre pela transformação dos estames em carpelos provocados por condições edafoclimáticas adversas, como baixas temperaturas, excesso de água no solo e período seco (GUERRA e MENDONÇA, 2009).

O mamoeiro é uma planta que pode ser fêmea, macho ou hermafrodita. Para reconhecer o tipo de sexualidade, é necessário esperar a árvore crescer até brotar suas primeiras flores, pois, antes disso, não é possível saber o sexo da planta. Quando as flores se apresentam individuais, o mamoeiro pode ser feminino (flores ginóicas) ou hermafrodita (flores andromonóicas), no entanto se as flores estão dispostas em cachos, o mamoeiro é masculino (flores andróicas). Certas variedades têm propensão para produzir certos tipos de flores. A variedade Solo tem flores de ambos os sexos em 66% dos casos, então duas plantas em três produzirão frutas, mesmo que sejam plantadas individualmente. (SERRANO e CATTANEO, 2010; SEBRAE, 2016; GUERRA e MENDONÇA, 2009; UFJF, 2012).

Realizar a sexagem do mamoeiro é muito importante para o produtor, pois as plantas femininas produzem frutos sem valor comercial, já as plantas masculinas normalmente não produzem frutos, o que se mostra uma perda para o produtor. Isso significa uma redução do número de plantas produtivas por área e, como consequência, queda acentuada na produtividade do pomar. Para reduzir a quantidade dessas plantas improdutivas é necessário identificar o sexo das flores na época do primeiro florescimento, ou seja, de 3 a 4 meses após o plantio das mudas e depois realizar o desbaste. O desbaste das plantas indesejáveis consiste na identificação das plantas hermafroditas e eliminação das demais, permitindo assim aumento da produtividade e, conseqüentemente, da rentabilidade da cultura (FILHO; LEITE; RAMOS, [20--]).

É possível reconhecer o sexo das flores do mamoeiro a partir da sua aparência. As **Figuras de 8 a 10** mostram as diferenças entre elas.

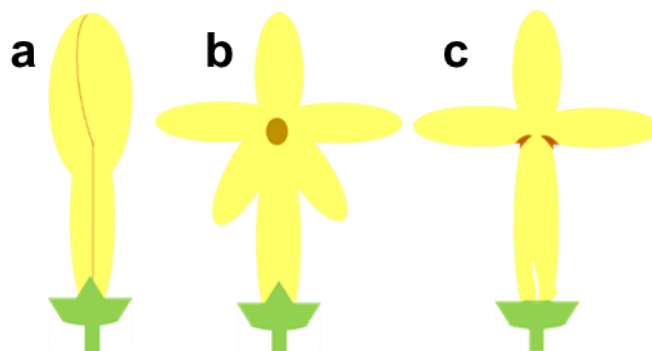


Figura 8. Esquema flor masculina (ou estaminada) do mamoeiro. (a) Flor fechada (b) flor aberta e (c) corte transversal.

As flores do sexo masculino (**Figura 8**) são distribuídas em pedúnculos longos e são localizadas distante das axilas das folhas. As bases das pétalas são unidas, formando um tubo estreito e longo, apresentando no ápice as pétalas livres. É caracterizada pela ausência de estigma e pelo tubo da corola estreito e duas vezes mais comprido que as pétalas. Existem dez estames dispostos em duas séries, mas com órgão feminino rudimentar, que eventualmente se torna funcional e produz frutos deformados, chamados mamão macho ou mamão de corda, sem valor comercial (TRINDADE et al, 2000; DANTAS, et al., 2013).

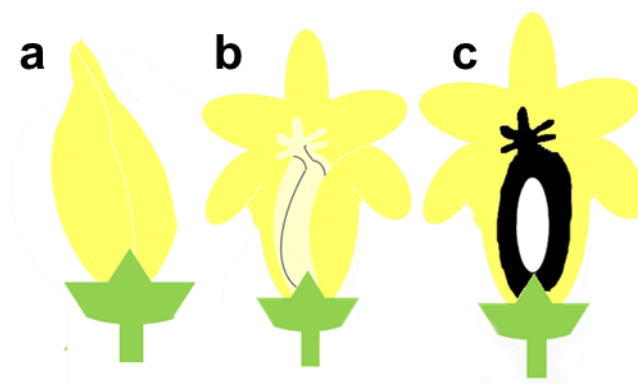


Figura 9. Esquema flor feminina do mamoeiro. (a) Flor fechada (b) flor aberta e (c) corte transversal.

A flor feminina (ou pistilada) (**Figura 9**) é grande, formada por pedúnculos curtos nas axilas das folhas. As pétalas são livres até a base e o ovário é grande com cinco estigmas em forma de leque, muito lobulados. As flores não têm estames, nem rudimentos de estames. O formato do fruto varia de esférico até oblongo ou piriforme, geralmente, apresentando uma cavidade com mais da metade do seu diâmetro (TRINDADE et al, 2000).

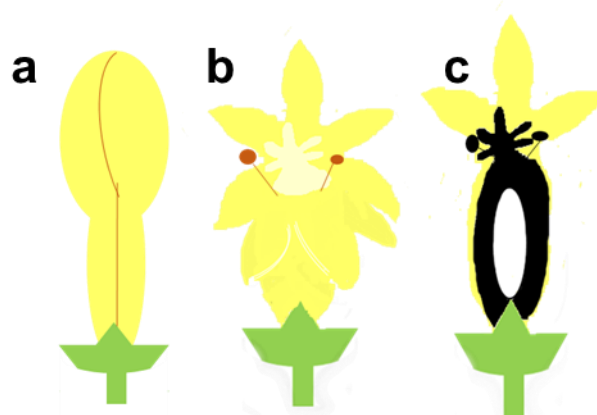


Figura 10. Esquema flor hermafrodita do mamoeiro. (a) Flor fechada (b) flor aberta e (c) corte transversal.

A flor hermafrodita (**Figura 10**) possui pedúnculo curto e pétalas soldadas na base até metade do seu comprimento. O seu formato pode ser alongado (elongata) ou arredondada (pentândrica). Apresenta órgãos masculinos e femininos, ou seja, estames e ovário e não dependem de outras plantas para a polinização. Seus frutos podem ser cilíndricos (preferidos comercialmente) ou arredondados (DANTAS, et al., 2013).

2.4. Considerações finais

Como foi dito ao longo do capítulo II dessa dissertação, o mamoeiro só produz frutos economicamente viáveis para as plantas de sexo hermafrodita, com um tempo de produção de no máximo quatro anos. Sendo assim, o produtor atualmente tem uma perda nos desbastes inicial (sexagem) e final (para renovação das mudas) das suas plantas. Assim, o agricultor perde muitos recursos de investimento como as sementes que não produziram árvores hermafroditas, a água de irrigação, os nutrientes, o tempo e o dinheiro no transporte dos mamoeiros que já não servem mais para a produção. Com isso, é possível perceber a importância de agregar valor ao mamoeiro a partir da extração das fibras do seu caule, como forma de aumentar a rentabilidade desse produtor, além de contribuir para a economia do país e oferecer mais uma alternativa do uso de fibras naturais.

CAPÍTULO III – PROCESSO BIOLÓGICO

3. EXTRAÇÃO POR PROCESSO BIOLÓGICO DA FIBRA DO MAMOEIRO

3.1. Introdução

As bactérias são grandes ajudantes da natureza quando se trata dos processos da fertilização do solo. Elas atuam na matéria orgânica, transformando-a em material inorgânico propício para a alimentação dos vegetais. Para tal, as bactérias utilizam enzimas que podem ser a quitinase, a celulase, β -1,3-glucanase, protease e a lipase (BABALOLA, 2010).

Além de ajudar a natureza, as enzimas das bactérias são muito úteis quando se trata da área têxtil, pois elas podem ser utilizadas no processo de extração de fibras conhecido como maceração, retificação ou *retting*. A retificação microbiológica é um método tradicional e bastante difundido. Os tipos de retenções mais adotados, por ação microbiológica, são: por orvalho e por água. Ambos são realizados por enzimas de pectina secretadas pela microflora. No processo por orvalho, as plantas passam de 2 a 10 semanas nos campos sob a ação de microorganismos que removem as pectinas e as hemiceluloses. Já no processo por água, as plantas são submersas em água doce em tanques ou rios num período de 7 a 14 dias e, na maioria dos casos, a água penetra na parte central do caule, quebrando as camadas, e assim provocando uma absorção aumentada da umidade e do desenvolvimento das bactérias pectinolíticas (SISTI, 2018).

Esta fase do trabalho propõe a extração da fibra do mamoeiro pelo método de retificação microbiológica, construindo um processo adequado para a obtenção dessas fibras. Após a extração, as fibras foram caracterizadas para se determinar suas propriedades e comparar com outras fibras de origem vegetal.

3.2. Materiais e métodos

3.2.1. Extração das fibras do mamoeiro

A extração das fibras do mamoeiro por ação microbiológica foi realizada, inicialmente, a partir de ensaios preliminares para verificar a eficácia do processo. Após isso, a técnica foi aperfeiçoada para se obter as fibras. Para averiguar se há diferenças nas fibras do mamoeiro de acordo com a sua posição do caule, o mamoeiro foi dividido em três partes iguais onde as fibras foram extraídas. Assim, o

mamoeiro com 4,5 metros de altura (sem copa e sem a raiz) teve o seu caule cortado em 3 partes iguais (**Figura 11**) como foi realizado por Shahinur, et al. 2015; Li, 2004. Depois, as partes foram nomeadas em parte 1, parte 2 e parte 3 (**Figura 11**).

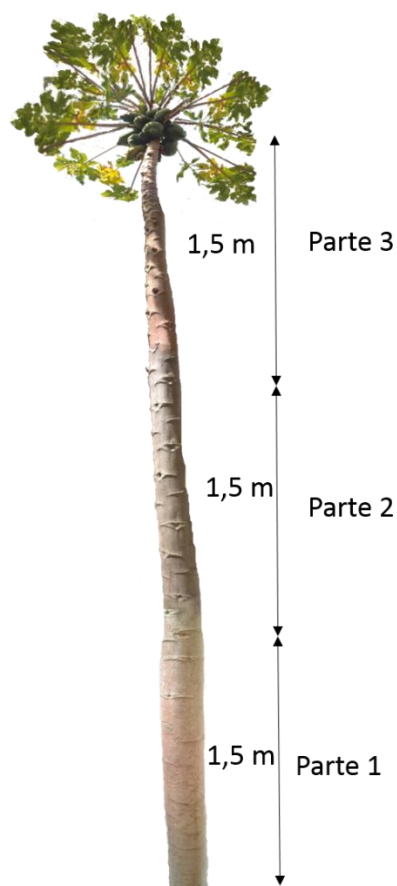


Figura 11. Divisão do caule para a realização dos ensaios.

Para averiguar se o rendimento de fibras pode ser influenciado pela presença da casca e da polpa do caule, a extração foi realizada para o caule com polpa e com casca e também para o caule sem polpa e sem casca (**Figura 12**).



Figura 12. Caule do mamoeiro aberto. **(a)** Caule com polpa e com casca. **(b)** Caule sem polpa e sem casca.

Outro parâmetro a ser averiguado no rendimento de extração da fibra é a etapa de batimento. Assim, foram consideradas, nesse trabalho, amostras batidas antes e depois do processo biológico (BTD) e amostras não batidas antes do processo biológico (NBT) (**Figura 13**). É importante salientar que as fibras NBT foram batidas depois do processo de ação das bactérias, para remoção dos detritos não-fibrosos.



Figura 13. Caule batido antes (BTD) do processo de extração das fibras do mamoeiro por processo biológico.



Figura 14. Caule não batido antes da ação das bactérias (NBT).

As amostras ainda foram cortadas em dois tamanhos diferentes (pequeno e grande). Essas preparações do caule do mamoeiro foram feitas para realizar uma comparação dos resultados das etapas e verificar a melhor forma de extração, ou seja, a que apresenta melhor produtividade na extração das fibras.

Dessa forma, o processo de extração das fibras do mamoeiro por processo biológico foi realizado em amostras com polpa e com casca, sem polpa e sem casca, não batido antes do processo de ação das bactérias (NBT), batido antes e depois da ação das bactérias (BTD), em tamanhos pequeno e grande e em três localizações no caule (parte 1, 2 e 3), como mostra a **Tabela 1**.

Tabela 1. Tipos de amostras de caule utilizadas.

Tipos de amostra de caule
1. Caule com polpa e com casca ou sem polpa e sem casca
2. Caule NBT (não batido antes da ação das bactérias) e BTD (batido antes e depois da ação das bactérias)
3. Tamanho das amostras de caule (pequeno e grande)
4. Localização das amostras no caule do mamoeiro

Após a preparação dos caules, eles foram levados a recipiente com água livre de qualquer substância nociva ao crescimento de bactéria em com temperatura entre 33 e 36,5 °C para a reprodução de bactérias, mantidas em condições anaeróbicas por 15 dias (**Figura 15**), conforme foi observado em ensaios preliminares.



Figura 15. Recipiente hermeticamente fechado em condições especiais para a extração da fibra do mamoeiro por ação biológica

Depois desse intervalo, os caules foram batidos com a ajuda de um batedor e as fibras foram escovadas sobre uma superfície macia até a máxima remoção dos detritos. Por fim, essas foram enxaguadas em água corrente e secas.

Após o processo de extração, as fibras foram analisadas e comparadas a partir dos ensaios de tração (tenacidade e alongamento à ruptura), DRX, MEV-FEG (longitudinal), micrografia óptica (longitudinal e transversal). As fibras foram caracterizadas ainda no seu título e densidade.

3.2.2. Caracterização visual da fibra por micrografia ótica

As análises das seções transversais foram feitas aprisionando as fibras numa chapa de aço perfurada. Em seguida foram cortadas e descartadas as extremidades do feixe. Por fim, as fibras foram submetidas à análise de micrografia ótica, utilizando o microscópio de análises Leica DM500.

A seção longitudinal, por sua vez, foi obtida a partir da separação da unidade da fibra e posterior inserção em uma lâmina e uma lamínula. Já a seção transversal foi visualizada passando as fibras

pelo orifício da lâmina de metal e posteriormente cortadas rente ao orifício na sua seção transversal. Por fim, as amostras de seção longitudinal e transversal foram vistas em um microscópio óptico com ampliação de 4, 10 e 20 vezes.

3.2.3. Caracterização da fibra por MEV-FEG

A Microscopia Eletrônica de Varredura com Emissão de Campo (MEV-FEG) foi realizada no equipamento da CARL ZEISS, modelo Auriga, utilizando uma voltagem de 5.00 kV com as fibras recobertas por ouro. Nesse trabalho, essa análise tem o objetivo de visualizar as variações na superfície da fibra mamoeiro quando submetido ao processo de extração. A partir desses resultados, é possível identificar as características das fibras e visualizar possíveis danos, relacionando-os com os valores obtidos nos ensaios de tração.

3.2.4. Determinação do título da fibra

Foi realizado ensaio de título nas fibras extraídas de acordo com a norma **ASTM D1577** que abrangem a medição da massa por unidade de comprimento (densidade linear ou título) das fibras e filamentos têxteis. Dessa forma, foram pesadas amostras de 20 mm com massa total de 10 mg. A balança de precisão utilizada tem sensibilidade de 0,0001 mg. Após isso, foi contada a quantidade de fibras e os valores foram aplicados a seguinte expressão matemática:

$$T = \frac{10000 \times W}{L \times N}$$

Onde: T= densidade linear de fibra média, dtex; W= massa total, mg; L= comprimento da fibra, mm; N= número de fibras. Assim, obtêm-se o título em dtex. Esse valor será convertido em tex para posterior cálculo de tenacidade no ensaio de tração.

3.2.5. Determinação da densidade da fibra

Foi realizada uma adaptação da metodologia descrita pela norma **ASTM D 2320-98 (2017)**. Para isso, foram utilizados um picnômetro de 50 ml, água destilada, pinça, uma balança de precisão e a fibra do mamoeiro. A equação matemática para calcular a densidade das fibras é a seguinte:

$$\rho_f = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_2 - m_3)} \rho_a$$

Onde: ρ_f = densidade da fibra; m_1 = massa do picnômetro preenchido com água até o volume de 50 ml; m_2 = somatório das massas do picnômetro preenchido com a água até 50 ml e da fibra; m_3 =

massa do picnômetro com a fibra e com a água até 50 ml; ρ_a = densidade da água (valor adotado: 0,9964 g/cm³)

3.2.6. Ensaio de tração da fibra

Foi realizado ensaio de tração nas fibras a partir da adaptação da norma **ASTM D3822**, utilizando o dinamômetro Tensolab automático 3000 Mesdan. Os dados obtidos nesse ensaio foram utilizados para calcular a tenacidade à ruptura (cN/tex) e também a tensão à tração (MPa). Essas são propriedades fundamentais usadas para estabelecer limitações no processamento, conversão e aplicação das fibras têxteis.

Para o ensaio realizado, foi considerado um comprimento de 65 mm entre garras para a amostra. A velocidade do tensiômetro é em função do alongamento. Logo, utilizou-se a taxa de extensão de 10 mm/min. A tenacidade é calculada pelo próprio programa de computador a partir da equação matemática:

$$Y = \frac{F}{T}$$

Onde:

Y= tenacidade em cN/tex; F= força de ruptura em cN; T= título da fibra em tex.

Após plotar os gráficos de tenacidade e de alongamento, foi construído o gráfico de correlação entre tenacidade e alongamento para verificar a influência que há entre essas variáveis e, a partir disso, compreender se há algum controle sobre os parâmetros relacionado ao modelo experimental da extração biológica da fibra do mamoeiro. Para isso, utilizou-se o *Coefficiente R de Pearson* que mede o grau de correlação (entre -1 e +1) e a direção (positiva, negativa ou nula) ao se relacionar duas variáveis. Quanto mais próximo esse valor for de 1 (positivo ou negativo), significa que as variáveis possuem uma forte correlação. Porém, quanto mais o *Coefficiente de Pearson* estiver próximo do 0 (zero), significa que a correlação é fraca. Caso o coeficiente seja 1, a correlação é perfeita e, caso seja 0 (zero), a correlação é nula.

3.2.7. Ensaio de molhabilidade

O transporte de umidade em tecidos é um dos fatores críticos que afetam o conforto fisiológico, além de ser um dos principais critérios procurados pela indústria do vestuário. Os tecidos que transportam rapidamente os líquidos para longe da pele fazem com que o usuário se sinta

confortável. O conforto proporcionado pelos tecidos, por sua vez, pode ser compreendido então pelo mecanismo de transporte de líquidos (SAMPATH e SENTHILKUMA, 2009; ÖZDIL et al, 2009).

O ensaio de molhabilidade foi realizado adaptando os modelos experimentais descritos por Rebouillat, et al (1999), Duprat, et al (2012) e por Hong et al (2015). De acordo Rebouillat, et al (1999), o ensaio de molhabilidade fornece informações úteis sobre o estado da superfície da fibra com o líquido. A **Figura 16** mostra os parâmetros geométricos envolvidos no ensaio.

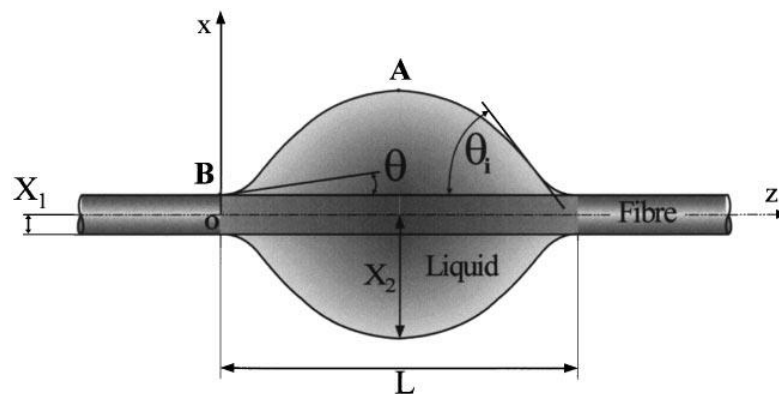


Figura 16. Parâmetros geométricos para a descrição de uma gota em uma única fibra.

Fonte: REBOUILLAT, et al (1999).

Onde: X_1 representa o raio da fibra; X_2 representa a altura máxima de queda; h é o ângulo de contato; Θ_1 é o ângulo de inflexão; L corresponde ao comprimento da gota.

O equipamento criado (**Figura 17**) para o ensaio de molhabilidade foi desenvolvido adaptando-se o trabalho de Lamour et al (2010). Nele, um feixe de luz é disperso e segue em direção a fibra. Uma gota de água ($2\mu\text{L}$) é desprezada do micropipetador e cai sobre a amostra. Uma câmera capta a imagem através de uma lente tipo macro, que evita ruídos na imagem formada. A partir da fotografia gerada, é calculado o ângulo de contato. Quando o ângulo de contato é maior que 90° , a amostra é classificada como hidrofóbica e, portanto, possui baixa energia superficial e as forças de adesão entre fibra/líquido são maiores que as forças de coesão (LAMOUR et al, 2010; WAINBERG, 2014; CHEN et al, 2013; FRAUNHOFER, 2012).

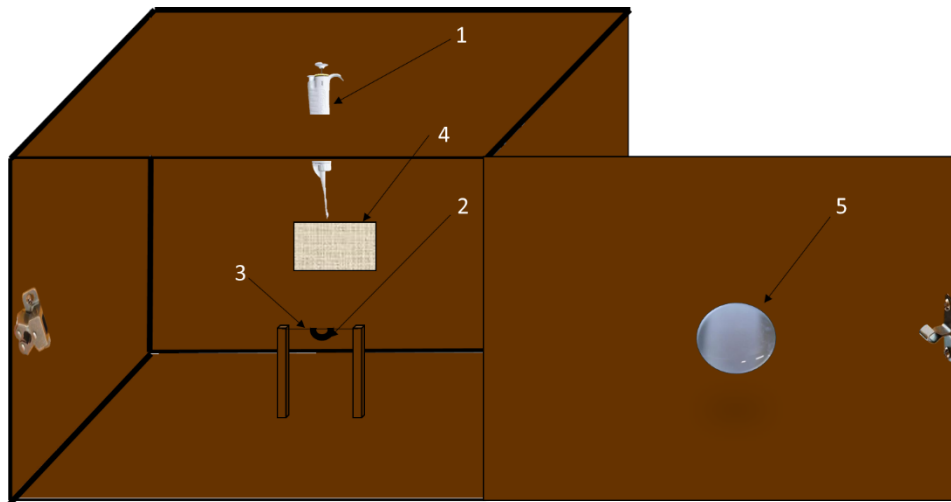


Figura 17. Esquema do ensaio de molhabilidade

A partir da **Figura 17**: 1 representa o micropipetador; O 2 é a gota de água; O 3 é a fibra do mamoeiro; O 4 é onde a luz será dispersada em direção à amostra de fibra; O 5 é a lente macro.

3.2.8. Ensaio de difração de raios-X (DRX)

O ensaio de difração de raios-X foi realizado no equipamento da SHIMADZU, modelo XRD7000. A faixa angular foi de 2θ de 5° a 30° , com passo (*step size*) de $0,05^\circ$ e velocidade de varredura de $1,5^\circ \cdot \text{min}^{-1}$ (POLETTTO, et al 2014). A análise utilizou radiação de Cu gerada a 40 kV e 30 mA, por 2 segundos.

O método de análise utilizado foi por Deconvolução na função Gaussiana que corresponde a seguinte equação matemática (CAROLINO, 2017; PARK, et al, 2010):

$$y = \frac{A}{w} \left(\sqrt{\frac{4 \ln(2)}{\pi}} \right) \exp\left[-4 \ln(2) \frac{(x - x_c)^2}{w^2}\right]$$

Onde:

A = área do pico; w = largura a meia altura; x_c = centro;

Dessa forma, foi possível conhecer as porções cristalinas e amorfas e calcular o índice de cristalinidade da fibra a partir da seguinte equação descrita por Hermans (POLLETO, 2014; WADA, OKANO, 2011, CAROLINO, 2017; NETO, et al., 2013):

$$IC(\%) = \frac{\text{Área da porção cristalina}}{\text{Área total dos picos}} \times 100$$

As análises foram realizadas através do software Origin Pro®. Com ele, foi possível plotar os gráficos, realizar cálculo de cristalinidade e também definir os planos cristalográficos encontrados em cada amostra.

3.3. Resultados e discussões

3.3.1. Rendimento dos processos

A extração das fibras do mamoeiro por processo biológico foi realizada no caule do mamoeiro com a presença ou ausência da polpa e da casca. A Figura 18 mostra o resultado para a porcentagem de fibra extraída do caule do mamoeiro nessas condições e a Figura 19 mostra uma imagem da fibra obtida nessas mesmas condições.

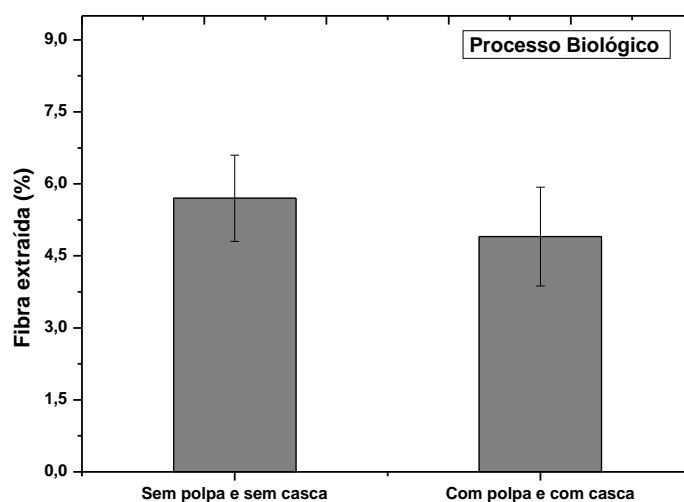


Figura 18. Porcentagem de fibra extraída-Processo Biológico (sem casca e sem polpa/com casca e com polpa).

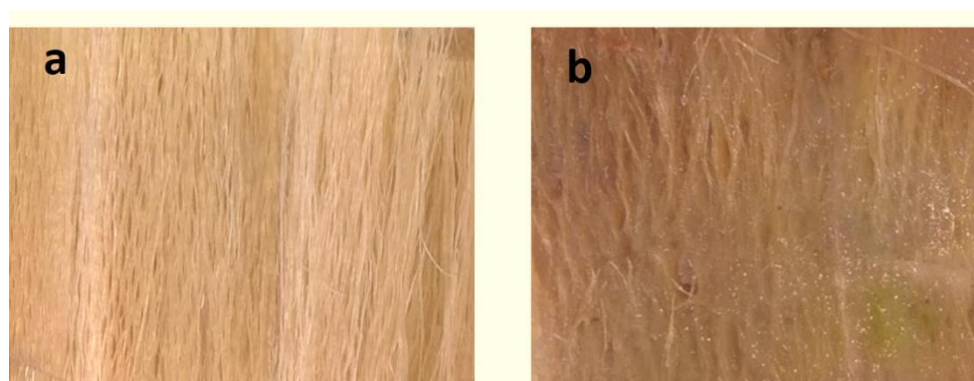


Figura 19. Fibra extraída por Processo Biológico. (a) sem casca e sem polpa. (b) com casca e com polpa.

A partir dos resultados apresentados na **Figura 18**, percebe-se um aumento (5,7%) no rendimento da fibra extraída do caule do mamoeiro sem casca e sem polpa, se comparado às fibras extraídas com polpa e com casca (4,9%). Tal rendimento representa um aumento de aproximadamente 14,03% de material fibroso. O aumento no rendimento está associado a redução de material não-fibroso a ser degradado pelos microorganismos. Desta maneira, a retirada da polpa e da casca promoveu uma ação mais eficaz na biodigestão de material não fibroso em meio biológico. Com isso, as fibras obtidas possuíam pouco ou quase nenhuma presença de material não fibroso (ver **Figura 19-a**), o que permitia menor uso de força mecânica na etapa de batimento e também um desprendimento mais eficaz das fibras, pois, facilitou a ação das bactérias sobre o material não-fibroso. Com isso, o rendimento de fibra sem polpa e sem casca aumentou por evitar perdas associadas a fibras presas ao material não-fibroso, o que não aconteceu nos resultados das fibras obtidas com polpa e com casca (ver **Figura 18**).

A partir dos resultados apresentados na **Figura 20**, que mostra os resultados para o caule sem casca e sem polpa, percebe-se que houve uma média de 6,5% no rendimento da fibra extraída do caule do mamoeiro NBT, enquanto que nas fibras extraídas BTM essa média é de 5,9%. Todavia, as fibras extraídas NBT apresentaram um aumento de aproximadamente 9,2% de material fibroso extraído se comparado às fibras obtidas BTM. Além disso, o processo de batimento gera um alto teor de fibras curtas superficiais tão indesejáveis pela indústria têxtil. Então, baseando-se nestes resultados, torna-se inadequado a etapa de bater as fibras antes (BTM) de submeter ao processo de digestão biológica. Sendo assim, os demais resultados apresentados a seguir serão apenas considerando as fibras extraídas pela etapa NBT (batido apenas depois da biodigestão das bactérias).

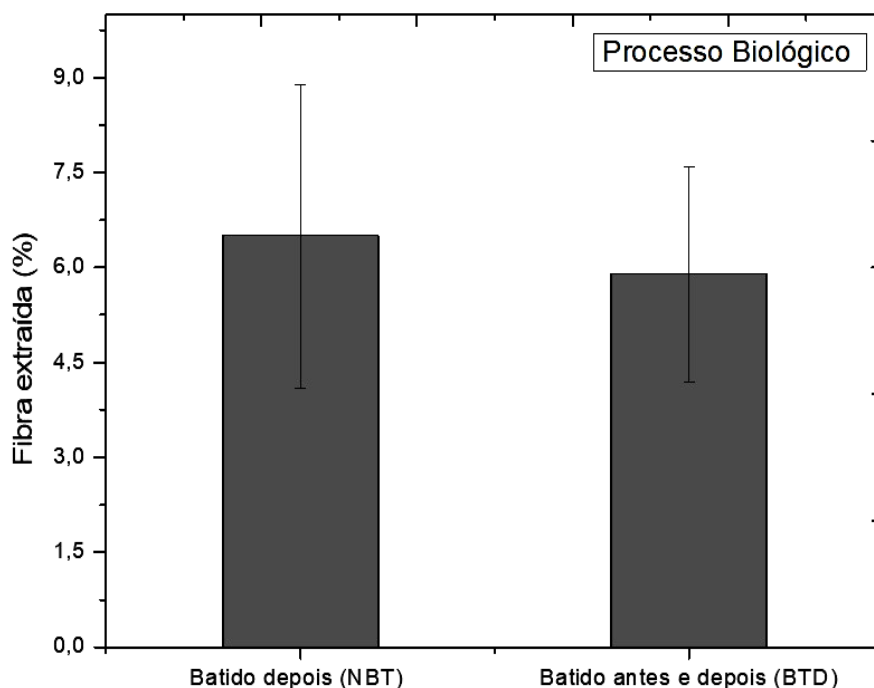


Figura 20. Porcentagem de fibra extraída-Processo Biológico (NBT e BTD).

Após entender a influência das variáveis apresentadas anteriormente (sem casca e sem polpa/com casca e com polpa e também batido antes/batido depois da biodigestão), compreendeu-se que havia necessidade de estudar mais parâmetros que possivelmente poderiam interferir no rendimento da extração de fibras. Desta forma, estudou-se a influência do tamanho do caule a ser submetido ao processo de biodigestão. Assim, as amostras de caule sem casca e sem polpa, não batido (NBT) foram cortadas em dois tamanhos, grande (15 cm de altura por 8 cm de largura) e pequeno (15 cm de altura e 5 cm de largura), considerando as três localizações do caule do mamoeiro (parte 1, parte 2 e parte 3). Depois, os caules foram submetidos ao processo de extração biológica. Os resultados das porcentagens de extração de fibras em amostras de caule pequena e grande podem ser visualizados a partir do gráfico presente na **Figura 21**.

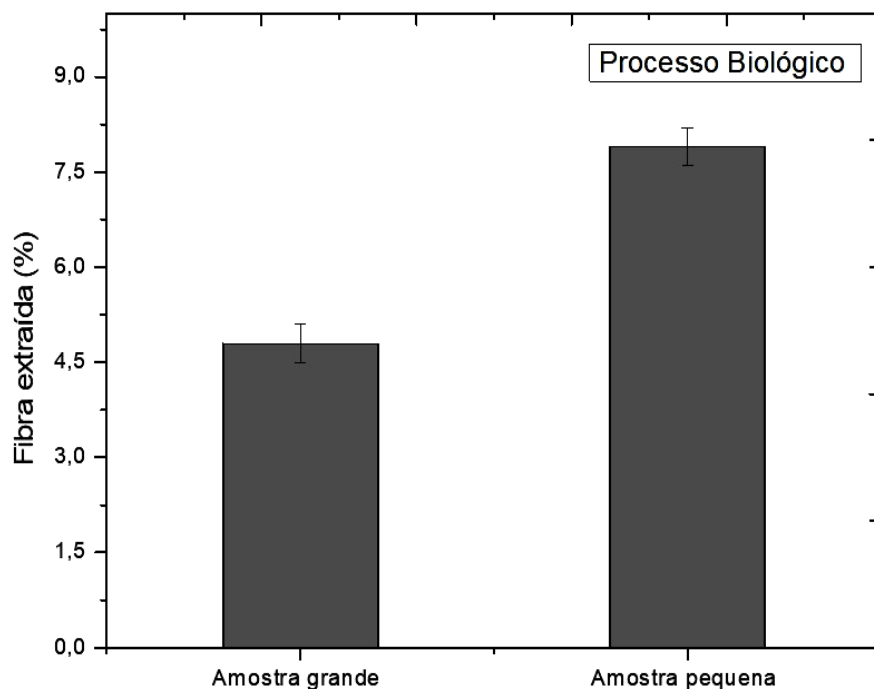


Figura 21. Porcentagem de fibra extraída-Processo Biológico (amostra grande/amostra pequena).

A partir dos resultados da **Figura 21**, foram obtidos diferentes percentuais de extração de fibras em relação à amostra de caule grande (4,8%) e pequena (7,9%) apresentando um aumento significativo (3,1%) no rendimento da fibra extraída do caule do mamoeiro da amostra pequena, se comparado com o resultado obtido na amostra grande, como mostra a **Figura 21**. Tal rendimento representa um aumento de aproximadamente 39,2% de material fibroso se comparado às fibras extraídas da amostra grande. O aumento significativo no rendimento está associado à redução de material não fibroso a ser degradado pelos microorganismos, bem como, o aumento da área superficial da amostra pequena em relação à amostra grande. Para a análise de localização da fibra o caule, será considerado os caules sem casca e polpa, NBT e de tamanho pequeno.

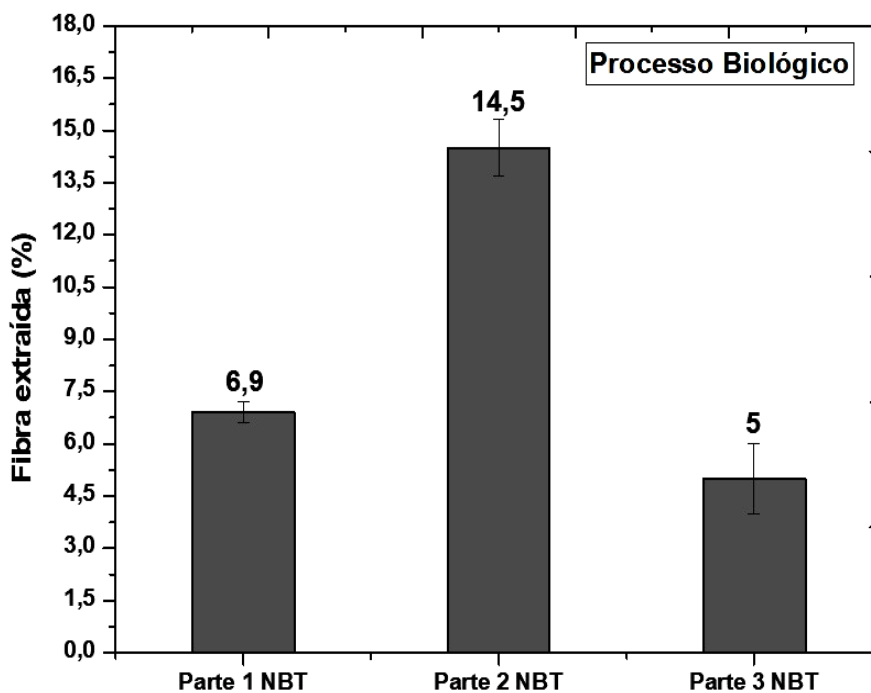


Figura 22. Porcentagem de extração de fibra-Processo biológico (comparação entre a localização da fibra no caule)

Os resultados apresentados na **Figura 22** mostraram que cada parte do caule do mamoeiro possui rendimentos específicos atribuídos a cada região (parte 1, parte 2 e parte 3). Tal afirmação define a região 2 como a que possui o maior teor de fibras (14,5%) em relação as outras (parte 1 e parte 3).

3.3.2. Determinação dos títulos e das densidades das fibras

Como visto anteriormente o rendimento da extração da fibra é influenciado pelas regiões do caule, neste item avaliou-se como seria esta influência e importantes propriedades da fibra como o título (**Tabela 2**) e a densidade específica (**Tabela 3**). A titulação em tex é do sistema direto e é a relação entre a massa a cada 1000 metros de um fio ou fibra.

Tabela 2. Títulos das fibras extraídas de diversas partes do caule do mamoeiro pelo processo biológico em tex.

Parte 1 (1 NBT)	Parte 2 (2 NBT)	Parte 3 (3 NBT)
15,1±2,2	17,1±2,1	13,6±1,6

Tabela 3. Densidades das fibras extraídas de diversas partes do caule do mamoeiro pelo processo biológico em g/cm³.

Parte 1 (1 NBT)	Parte 2 (2 NBT)	Parte 3 (3 NBT)
0,74±0,09	0,66±0,04	0,64±0,01

A Tabela 3 mostra algumas densidades para fibras semelhantes ao do mamoeiro, as densidades da fibra do mamoeiro extraídas pelo método biológico se apresentam menos densas do que o linho e banana e, em alguns casos, também para a fibra do bambu, provavelmente pela existência de poros (**Figuras 26, 27 e 28**). Isso é muito interessante para a área dos compósitos, uma vez que, buscaram-se materiais cada vez mais leves.

Tabela 4. Densidade das fibras de caule.

Fonte: Pereira, 2015 (adaptado).

Fibra de caule	Densidade (g/cm ³)
Linho	1,5
Banana	1,5
Bambu	0,6-1,1
Mamoeiro¹	0,84-0,86

3.3.3. Caracterização visual da fibra por micrografia ótica.

Vista da seção longitudinal

As figuras 25, 23 e 24 mostram a seção longitudinal das partes 1,2 e 3 das fibras do mamoeiro com ampliação de 4,10 e 20 vezes, respectivamente.

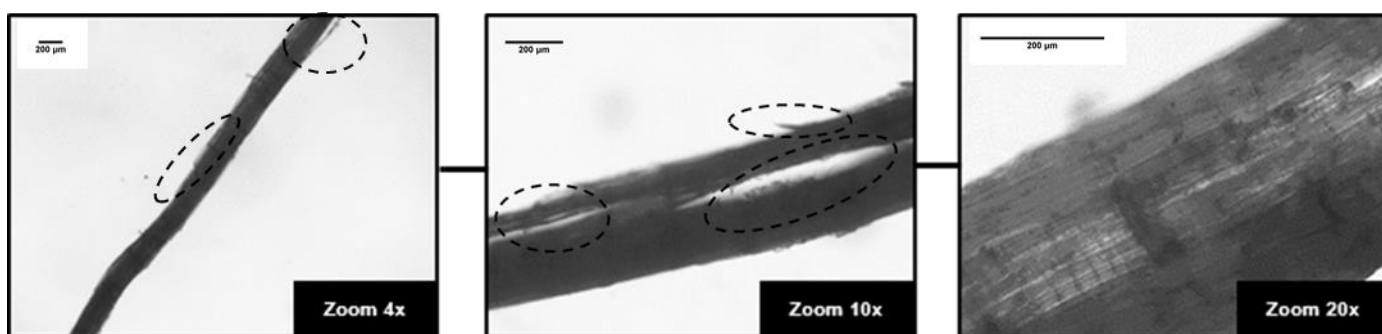


Figura 23. Vista longitudinal da fibra da parte 1 (NBT) do Processo biológico.

¹ KEMPE, et al, 2015.

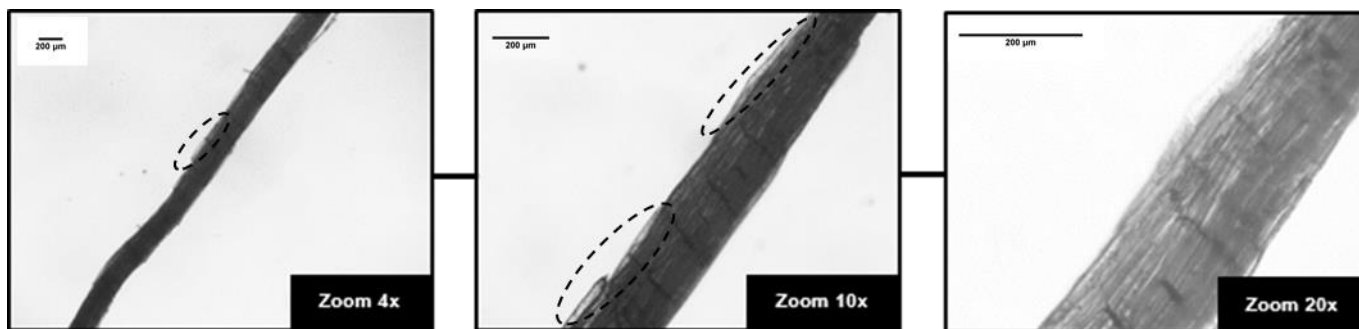


Figura 24. Vista longitudinal da fibra da parte 2 (NBT) do Processo biológico.

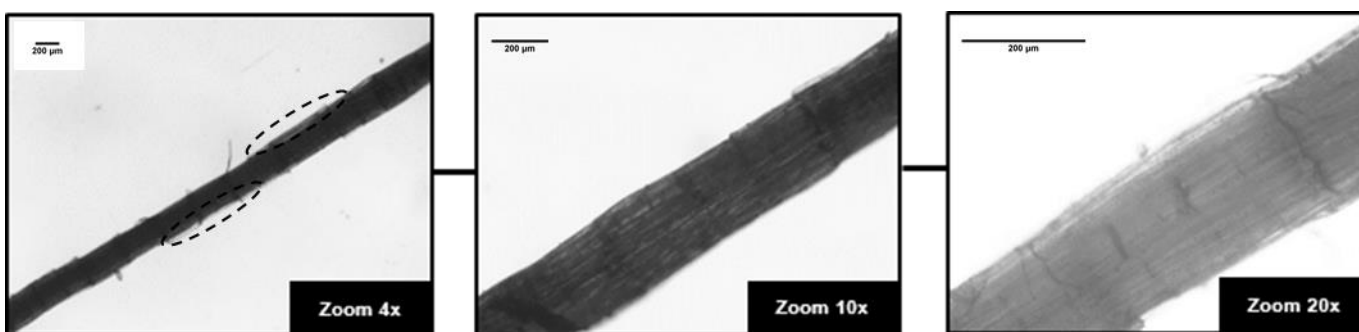


Figura 25. Vista longitudinal da fibra da parte 3 (NBT) do Processo biológico.

A partir das imagens de microscopia ótica da seção longitudinal, percebe-se que há diferenças nas superfícies das fibras (1 NBT, 2 NBT e 3 NBT). Sendo assim, as micrografias da **Figura 23** mostraram que as fibras da parte 1 (1 NBT) do caule do mamoeiro apresentaram significantes irregularidades na superfície da fibra (indicadas pelos círculos tracejados). Isso é esperado, visto que essas fibras são responsáveis por suportar toda a carga do peso do mamoeiro ao longo do tempo. No entanto, essa irregularidade também pode estar à associada a impurezas (material não fibroso) e ceras que não se desprenderam da fibra durante a sua extração (HAN e CHOI, 2010; GONCALVES et al, 2015). A **Figura 24** mostra que a fibra 2 NBT, extraída da parte 2 do mamoeiro, por se tratar de uma fibra localizada na região central do caule, apresenta como característica uma superfície relativamente regular se comparada as fibras da parte 1 (1 NBT). No caso, da fibra 3 NBT, foi obtida característica superficial uniforme, similar a adquirida pela fibra 2 NBT (ver **Figura 24** e **Figura 25**).

Vista da secção transversal

Além das vistas longitudinais, foram realizadas também micrografias das seções transversais (**Figura 26**, **Figura 27** e **Figura 28**).

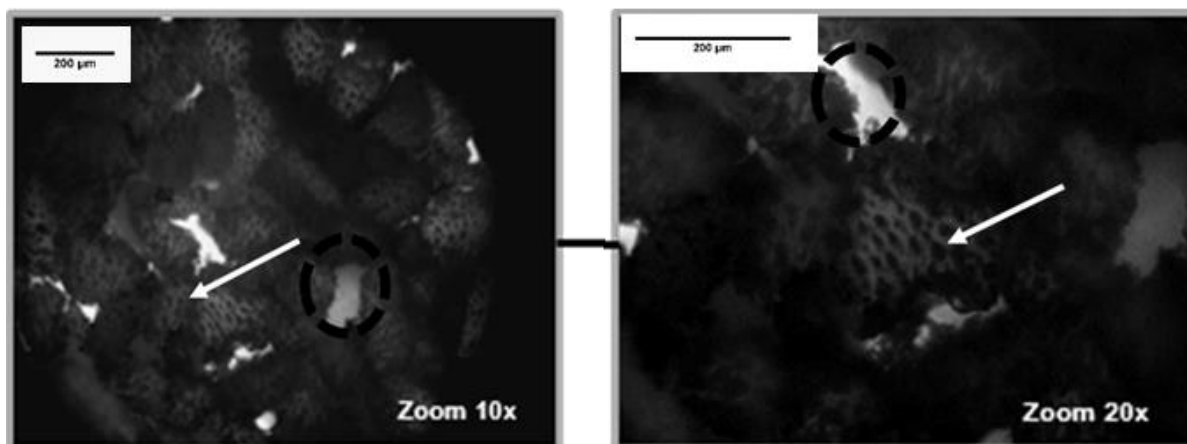


Figura 26. Vista transversal da fibra da parte 1 (1 NBT) do Processo biológico.

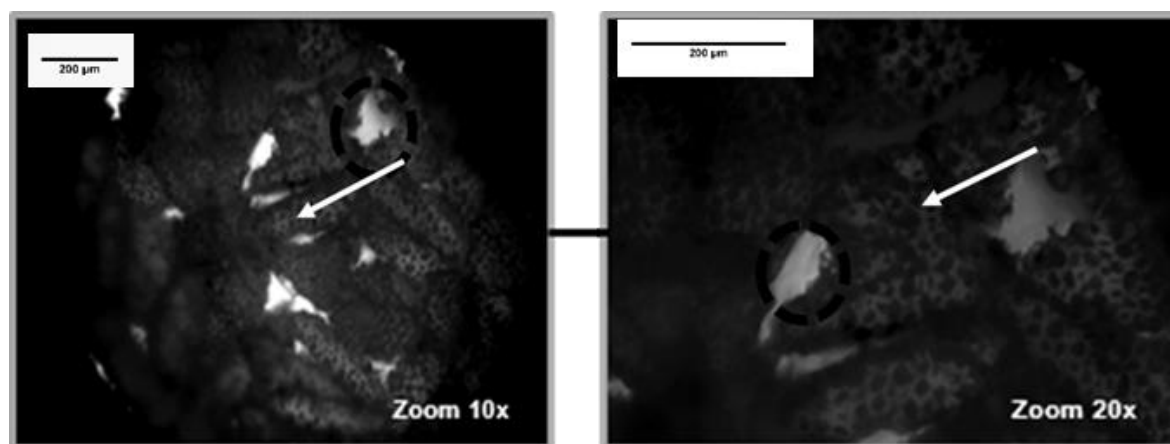


Figura 27. Vista transversal da fibra da parte 2 (2 NBT) do Processo biológico.

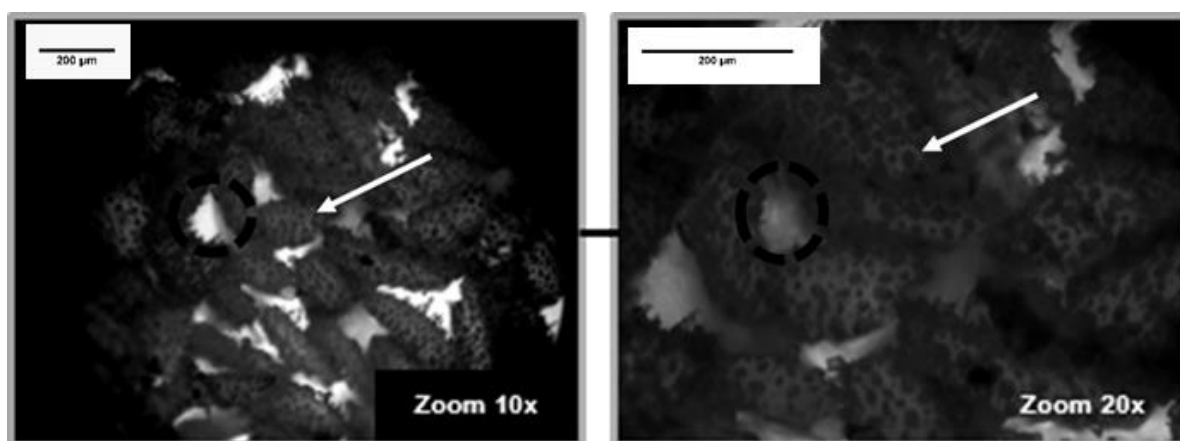


Figura 28. Vista longitudinal da fibra da parte 3 (3 NBT) do Processo biológico.

Nas **Figuras 26, 27 e 28**, os círculos tracejados indicam os espaços vazios entre as fibras e as setas mostram os poros de cada fibra.

Em todos os resultados das seções transversais das fibras do mamoeiro, analisadas por microscopia ótica, foram vistos que estas apresentam muitos poros. Também é possível perceber, como visto nas **Figuras 26, 27 e 28**, que os poros estão presentes nas fibras mamoeiro em qualquer região do caule onde as fibras são extraídas. Tais poros podem estar relacionados a baixa densidade das fibras do mamoeiro.

3.3.4. Caracterização da fibra do mamoeiro por MEV-FEG

As análises das fibras do mamoeiro foram feitas de modo a observar superficialmente as características peculiares de cada amostra (1 NBT, 2 NBT e 3 NBT), como mostram a **Figura 29**, **Figura 30** e **Figura 31**. Nestas imagens, as linhas tracejadas apresentam as impurezas e as linhas pontilhadas mostram as perfurações.

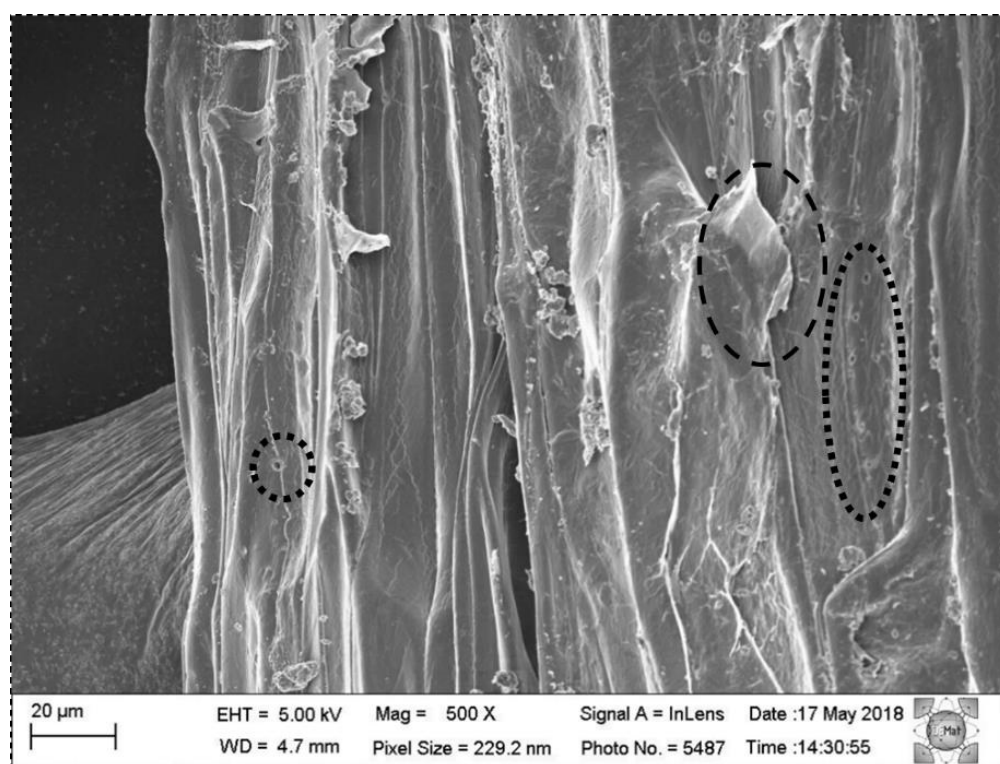


Figura 29. Fibra biológica 1 NBT da parte 1.

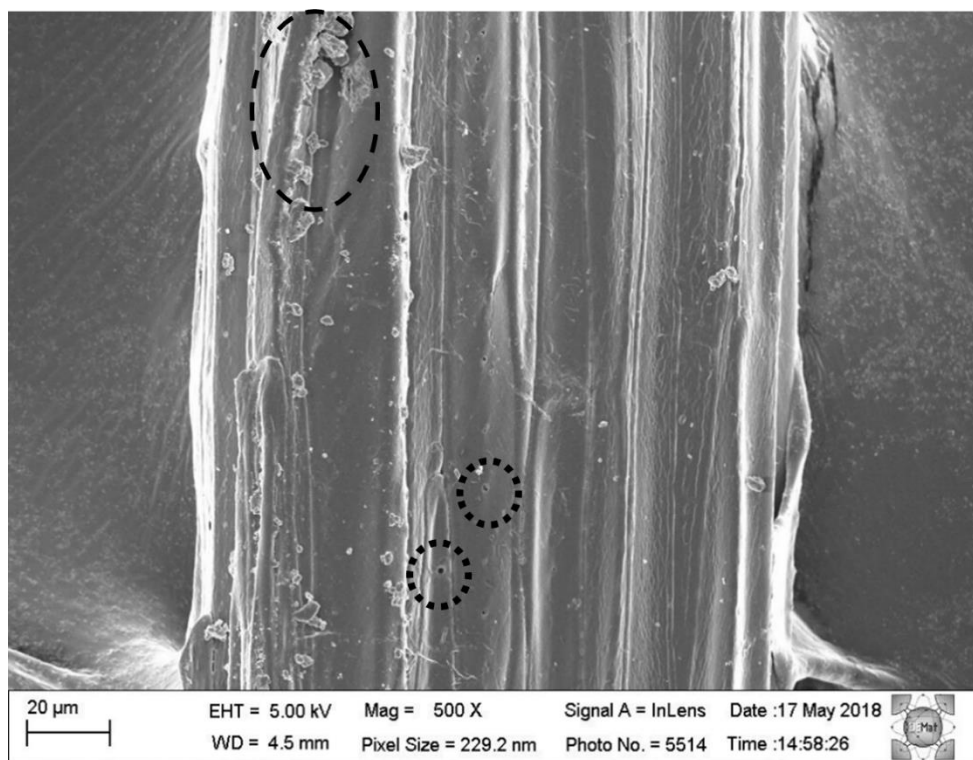


Figura 30. Fibra biológica 2 NBT na parte 2.

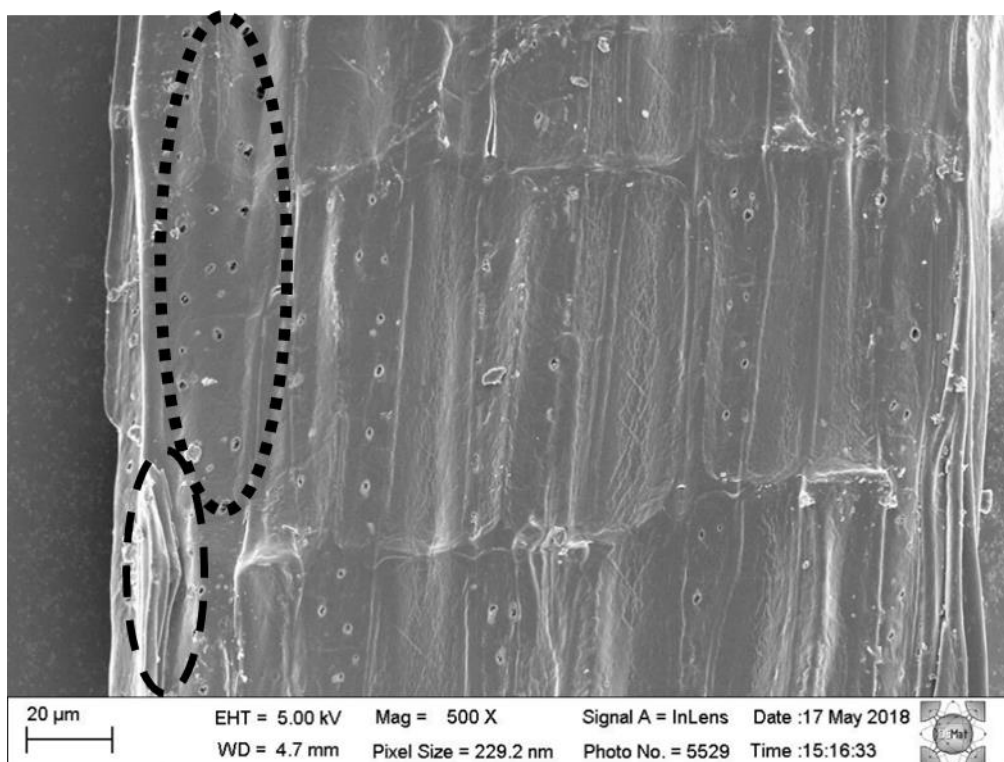


Figura 31. Fibra biológica NBT parte 3.

A **Figura 29** é referente às fibras 1 NBT, e mostra algumas perfurações circulares transversais dispostas aleatoriamente e sulcos na vertical ao longo da fibra. Além disso, é possível identificar também a presença de impurezas na superfície. Como mostra a **Figura 30**, as fibras 2 NBT também apresentam algumas perfurações transversais, presença de impureza e sulcos na vertical, no entanto, apresentam maior uniformidade na superfície do que as fibras 1 NBT (HAN e CHOI, 2010; GONCALVES et al 2015). A **Figura 31** mostra a fibra 3 NBT, nesta as perfurações transversais são mais frequentes do que nas outras amostras (1 NBT e 2 NBT), indicando que a ação das bactérias é maior nesta fibra. Os sulcos na fibra 3 NBT, são uniformes e assim, a fibra apresenta uma superfície mais regular entre todas as fibras biológicas extraídas (1 NBT e 2 NBT). Apenas na fibra 3 NBT foi possível identificar, a presença de pequenos retângulos que se repetem com frequência ao longo da fibra (ver **Figura 31**). Estes retângulos são as células de formação da estrutura da fibra que podem ser vistas devido a um ataque maior biológico na fibra 3 NBT (ARSYAD, 2015; DEFOIRDT et al, 2010).

3.3.5. Análise das fibras por Difração de Raio-X.

Nos resultados obtidos na **Figura 32** pela técnica de DRX, todas as fibras (1 NBT, 2 NBT e 3 NBT) apresentaram picos aproximadamente na região de $2\Theta = 15^\circ$ e $2\Theta = 22,5^\circ$, indicando os respectivos planos cristalográficos (101) e (002). Dessa forma, os planos (101) e (002) apresentados indicam a presença da celulose nativa ou celulose tipo 1, que é a celulose encontrada nas fibras lignocelulósicas. Assim, a celulose da fibra do mamoeiro por extração biológica não sofreu modificação pela ação das bactérias. (SEKI, et al. 2013; SARIKANAT, et al 2014; BELOUADAH, 2015; SPINACÉ, 2009).

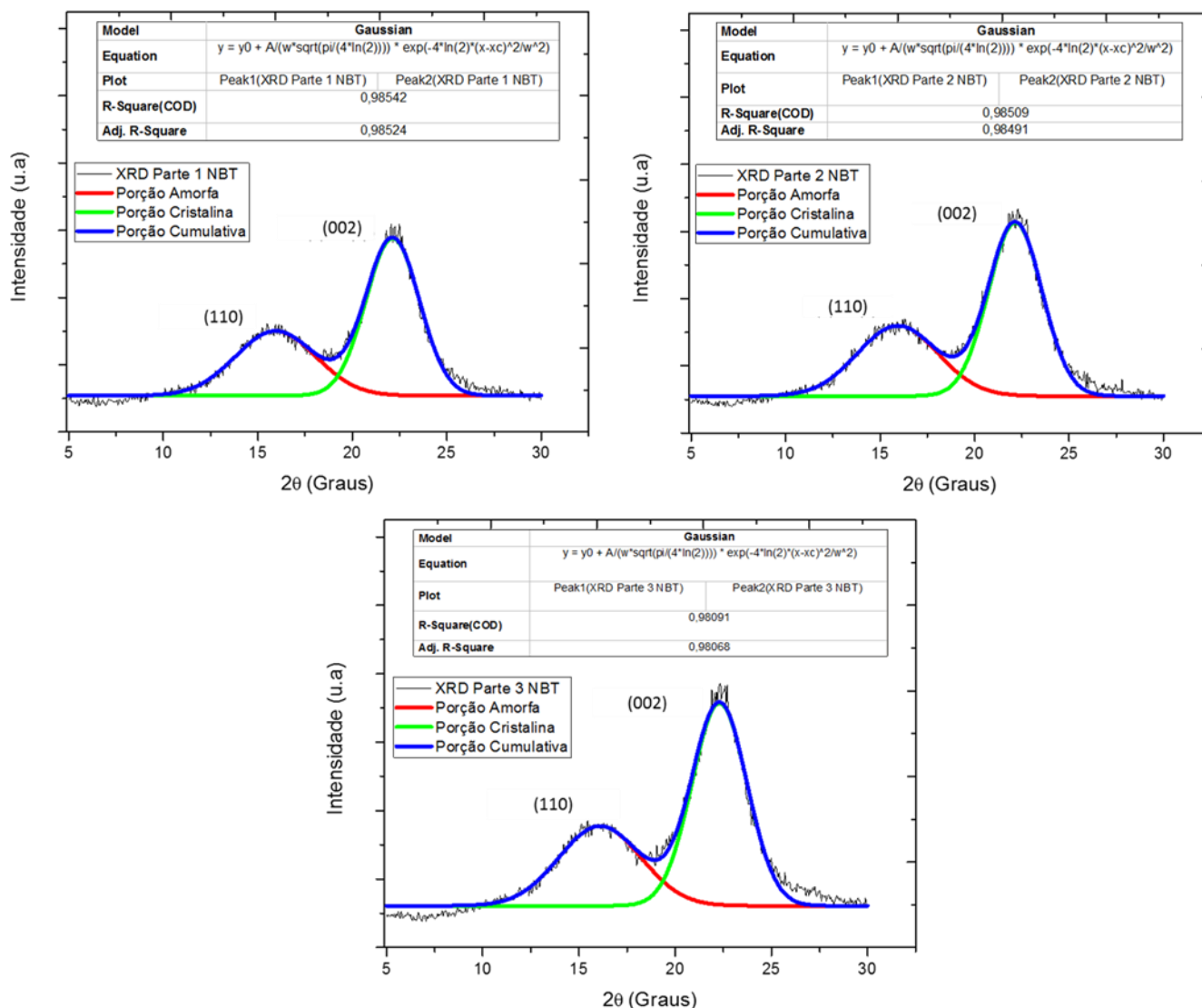


Figura 32. DRX com curvas de deconvolução das fibras de mamoeiro extraídas por processo Biológico. (a) Fibra 1 NBT, (b) fibra 2NBT e (c) fibra 3NBT.

Ainda nesta análise, foram estudadas as cristalinidades das fibras do mamoeiro (1 NBT, 2 NBT e 3 NBT). As fibras 1 NBT obtiveram um resultado menor de cristalinidade (61,9%), pois, esta fibra, como mostrado na **Figura 23** apresenta uma película superficial que altera o grau cristalinidade tornando-a amorfa. Tal característica também pode ser observada na **Figura 29**, na qual a fibra 1 NBT apresenta muitas irregularidades podem ser atribuídas a presença de impurezas, graxa e lignina que também promovem a redução do grau de cristalinidade (GONCALVES, et al 2015). No entanto, as fibras 3 NBT exibiram grau de cristalinidade mais elevado (63,1%) mostrando que quanto mais próxima a fibra for da copa do mamoeiro, maior é o teor de celulose cristalina (celulose tipo 1) e menor o teor de impurezas na superfície (ver **Figura 25** e **Figura 31**), resultados similares foram também obtidos por outros autores (LI, 2004; SINHA, ROUT, 2009). Desta forma, exibindo uma

relação proporcional entre o teor de cristalinidade da fibra e a sua localização no caule do mamoeiro (parte 1, parte 2 e parte 3).

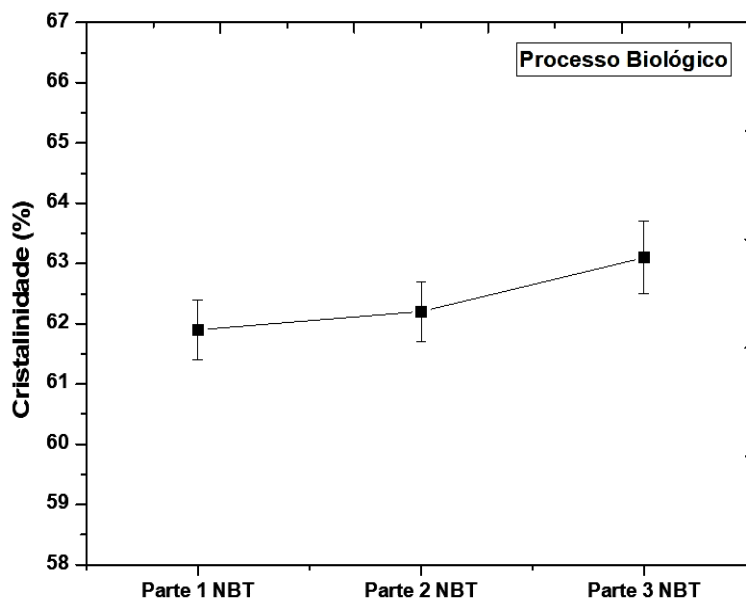


Figura 33. Cristalinidade das fibras do mamoeiro por extração biológica das partes 1 NBT, 2 NBT e 3 NBT.

Tabela 5. Índice de cristalinidade de fibras de caule.

Fonte: Pereira, 2015 (Adaptado).

Fibra de caule	Índice de cristalinidade (%)
Linho	86,1
Banana	39,0
Bambu	59,7

3.3.6. Ensaio de molhabilidade

A partir dos ensaios de molhabilidade, foram obtidos os resultados expostos na **Figura 34**. Os dados mostram uma redução significativa da molhabilidade das fibras extraídas do caule do mamoeiro se comparado a outras fibras extraídas de caule, como mostra a **Tabela 6**.

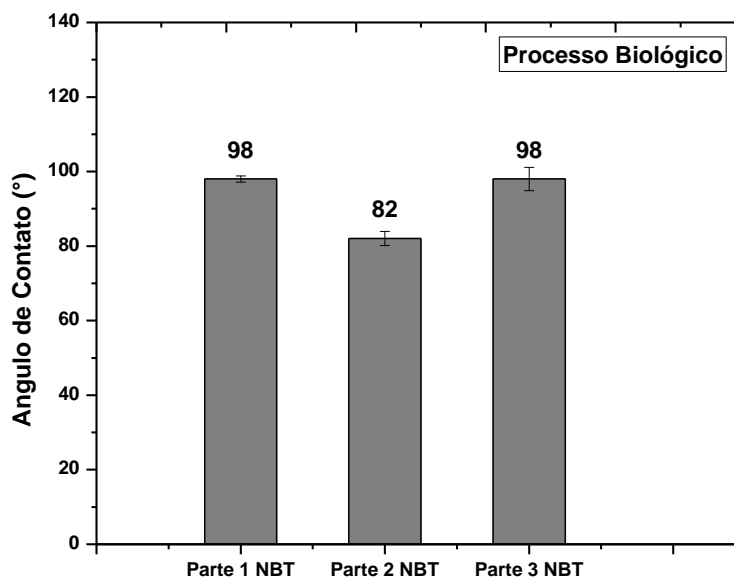


Figura 34. Molhabilidade das fibras de mamoeiro extraídas por processo biológico (1 NBT, 2NBT e 3NBT).

Tabela 6. Angulo de contato de fibras de caule.

Fonte: SCHELLBACH, et al (2016); CHEN (2013); GANAN et al (2004).

Fibra	Ângulo de contato (°)
Sisal	41,0
Bambu	62,5
Banana	45,3

Dentre os resultados apresentados na **Figura 34**, as fibras oriundas da parte 2 do caule do mamoeiro exibiram ângulo de contato relativamente inferior (82°) em relação as outras fibras das partes 1 NBT e 3 NBT. Tal resultado é consistente pois, na **Figura 29** e **Figura 31** as fibras 1 NBT exibiram muitas imperfeições e impurezas em sua superfície, bem como, as fibras (1 NBT e 3 NBT) possuem grau de maturidade diferentes, se comparado com as fibras extraídas da região 2 do caule (parte 2 NBT).

3.3.7. Ensaio de tração

Tenacidade, alongamento, tensão de ruptura e módulo de elasticidade.

Os ensaios de tração foram analisados, observando os valores de alongamento (%) e tenacidade (cN/Tex) como mostram a **Figura 35**.

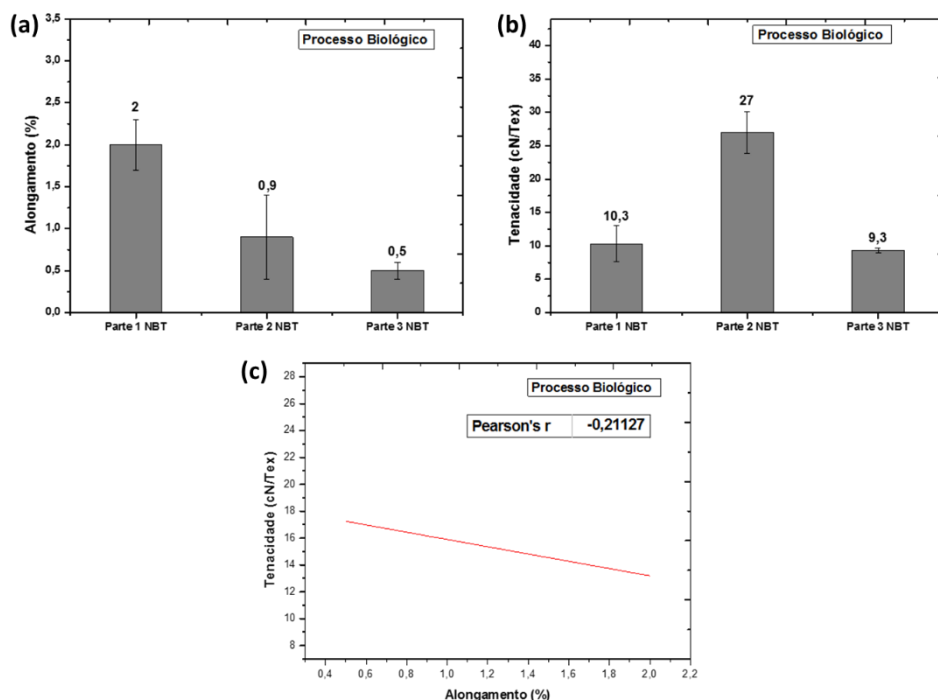


Figura 35. Análises das propriedades mecânicas das fibras do mamoeiro (parte 1, parte 2 e parte 3) por extração biológica: a) alongamento. b) Tenacidade. c) Coeficiente R de Pearson.

A **Figura 35** mostra os resultados das fibras estudadas (parte 1 NBT, parte 2 NBT e parte 3 NBT) após serem submetidas ao ensaio de tração. A partir da **Figura 35-a**, é possível notar que os percentuais de alongamento decrescem em função da região que a fibra foi extraída no caule do mamoeiro (parte 1 NBT, parte 2 NBT e parte 3 NBT). Isso significa que quanto mais próxima à fibra estiver da copa da árvore, menor será o percentual de alongamento obtido. Desta maneira, a fibra extraída da parte 1 NBT apresentou o resultado maior de alongamento (2%), em relação às outras fibras (parte 2 NBT e parte 3 NBT) e a fibra de banana (1,02%-1,67%) e bambu (1,3%) (PREETHI, BALAKRISHNA 2013; LIU, 2012; WAITE, 2010). Enquanto que as fibras extraídas da parte 3 NBT apresentaram o menor resultado (0,5%) dentre as fibras estudadas (1 NBT e 2 NBT). Então, comparando os resultados dos percentuais obtidos de alongamento entre as fibras 1 NBT e 3 NBT, constatou-se que os percentuais de alongamento das fibras extraídas da região 1 são 75% maior que os percentuais de alongamento obtidos na região 3 do caule, pois, como exposto na **Figura 23** e **Figura 29** há uma película superficial na fibra 1 NBT que a auxilia no desempenho desta propriedade (alongamento). Esta película está associada ao material amorfo, como foi mostrado na discussão dos resultados de DRX, e, por causa desse material, a fibra apresenta a propriedade de ter um maior desempenho no alongamento (DEOPURA et al,1977).

A **Figura 35-b** apresenta os resultados de tenacidade das fibras estudadas obtidas por extração biológicas (parte 1 NBT, parte 2 NBT e parte 3 NBT). Dentre os resultados obtidos na **Figura 35-b**, percebeu-se que o maior valor de tenacidade foi atribuído as fibras 2 NBT (27 cN/Tex), enquanto que o menor valor de tenacidade foi obtido nas fibras 3 NBT (9,3 cN/Tex). Ao comparar os dois resultados dessas fibras (2 NBT e 3 NBT), foi visto que as fibras 2 NBT apresentaram uma tenacidade 65,6% maior do que nas fibras 3 NBT. Exibindo um comportamento contrário do que foi observado no gráfico do alongamento (**Figura 35-a**) e como exposto também na **Figura 35-c**. O resultado da baixa tenacidade da fibra 3 NBT está associado aos danos (perfurações) que a fibra sofreu durante a extração como mostrado nos resultados do MEV-FEG (**Figura 31**). Tais danos podem ter provocado um menor resultado na tenacidade (SPINACÉ, 2009; BEHERA, 1997). Apesar da fibra 1 NBT não ter apresentado uma alta tenacidade, como na fibra 2 NBT, é possível compreender este ocorrido, pois a presença de impurezas na superfície da fibra (**Figuras 23 e 29**) aumenta o seu título, mas sem melhorar a sua resistência a tração (LI, 2004). Dessa forma, a sua tenacidade diminui, uma vez que, tenacidade é a medida da resistência à tração em função do título da fibra (NETO et al, 2015).

Visando compreender a correlação entre os resultados dos alongamentos e das tenacidades das fibras do mamoeiro obtidas por extração biológica, foi criado o gráfico de correlação alongamento versus tenacidade (**Figura 35-c**). Sendo assim, pode-se observar que o *Coefficiente de Pearson* obtido a partir do gráfico da **Figura 35-c**, foi negativo exibindo um índice aproximado de -0,21. Então, é possível concluir que a correlação entre os resultados do alongamento (**Figura 35-a**) e de tenacidade (**Figura 35-b**) das fibras do mamoeiro extraídas pelo processo biológico é praticamente inexistente, evidenciando a dificuldade de se obter um controle sobre as propriedades das fibras oriundas deste processo. A literatura cita outras fibras vegetais que também foram extraídas do caule, como a fibra da banana, bambu e linho. A Tabela 7 realiza um comparativo entre os resultados das tenacidades obtidos para cada fibra citada.

Tabela 7. Comparativo entre o alongamento e tenacidade da fibra do mamoeiro e outras fibras vegetais extraídas do caule.

Fibra vegetal	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de Young (calculados MPa)
Banana	1,02-1,67	5,12-13,2	53,7	52,64-32,16
Bambu	1,3	7,39-10,11	140-230	107,69-176,9
Linho	41,35	39,73	300-900	7,25-21,8
Mamoeiro² (extração biológica de outros autores)	1,60-1,64	-	518,8-541,2	324,3-330
Mamoeiro³ (obtido por extração biológica neste trabalho)	0,5-2	9,3-27	2,8-12,2	5,6-6,1

Fonte: GANAN et al,2004; CHEN, 2012; NAIR, 2013; LAKSHMAN, et al 2017; YILDIZHAN, et al 2018; KIM et al, 2015; SARAVANAKUMAAR et al (2018).

Assim, percebe-se que a tenacidade da fibra do mamoeiro é parecida com a da fibra do bambu, bem como o valor do alongamento. Ao se comparar os valores de tensão de ruptura (MPa) com outras fibras de caule, percebe-se que a tensão de ruptura da fibra do mamoeiro é menor do que as demais fibras mencionadas. É importante esclarecer que a existência dos poros na seção transversal, como foi visto anteriormente, permite essa menor resistência à tração da fibra, diferentemente do que acontece nas demais fibras de caule citadas.

Ainda de acordo com a Tabela 7, percebe-se que o módulo de Young (MOE) das fibras do mamoeiro por extração biológica se assemelham aos encontrados na fibra do linho, indicando também que estas possuem rigidez semelhante.

Comparando-se os resultados de tensão da fibra do mamoeiro obtida por extração biológica (tabela 7) com a tensão obtida por Saravanakumaar et al (2018), percebe-se que estas fibras exibiram valores maiores (518,8-541,2 MPa) se comparados a tensão da fibra do mamoeiro nesta investigação (2,8-12,2 MPa). Assim, as tensões encontradas neste trabalho (2,8-12,2 MPa) representam de 0,52% a 2,25% do valor de tensão encontrado por Saravanakumaar et al (2018).

Isto, pois as condições do ensaio de resistência a tração (velocidade e distância entre garras) do autor Saravanakumaar et al (2018) são diferentes da metodologia adotada nesse trabalho que segue a norma **ASTM D3822**. Sendo assim, esses parâmetros influenciam nos resultados do ensaio de tração (LEMOS, 2013; YANG, 1999; PARDINI e MANHANI, 2002)

² Dados da fibra do mamoeiro obtidos de SARAVANAKUMAAR et al, 2015.

³ Dados obtidos a partir desta dissertação.

3.4. Conclusão

Neste estudo investigativo, acerca da extração e caracterização de fibras do mamoeiro por biodigestão, foram expostos os principais parâmetros de controle para a obtenção de fibras com propriedades atrativas. Tais parâmetros incluem a preparação do caule (com e sem polpa e casca), o tempo de imersão, o batimento (NBT e BTD), o tamanho da amostra (pequena e grande) e a região de extração das fibras (parte 1, parte 2 e parte 3). A partir dos resultados, vê-se que essas variáveis são cruciais para o rendimento e qualidade das fibras. Também foi possível perceber que uma boa manipulação destes fatores contribui para a obtenção de fibras qualitativamente e quantitativamente melhores. Dos resultados das fibras, todas apresentaram poros nas seções transversais e planos cristalográficos (101) e (002), que representam a celulose tipo I (celulose nativa) em diferentes intensidades. Sendo assim, as fibras oriundas da parte 2 (2 NBT) apresentaram maior rendimento de fibras extraídas, tenacidade, uniformidade na superfície e hidrofobicidade ($97,7^\circ$). As fibras da parte 1 obtiveram maior alongamento a ruptura, hidrofobicidade ($82,3^\circ$), menor % cristalinidade e superfície rica em impurezas e irregularidades. A parte 3, por sua vez, exibiu a maior % cristalinidade, menor teor de impurezas e irregularidades, hidrofobicidade (98°) e menor densidade (g/cm^3). A partir destes resultados, leva-se a concluir que preparar o caule antes da ação biológica, ou seja, cortar o caule do mamoeiro em tamanhos pequenos e remover a polpa e casca permite uma maior eficiência do processo de extração. Também se conclui que, por se tratar de um processo de biodigestão, não há controle da ação das bactérias sob o substrato, gerando propriedades e características entre as fibras de caráter arbitrário como ocorreu principalmente nas propriedades mecânicas, que não apresentaram nenhuma correlação, ou seja, o R de Pearson próximo de 0.

CAPÍTULO V – PROCESSO FÍSICO

4. EXTRAÇÃO POR PROCESSO FÍSICO DA FIBRA DO MAMOEIRO

4.1.Introdução

As fibras vegetais são estruturas têxteis exploradas quando se deseja obter um material com boa degradabilidade, leveza e resistência. No entanto, nem todas as fibras podem ser obtidas facilmente, como ocorre com o algodão e o kapok que podem ser removidas dos capulhos, sem muito trabalho. Muitas fibras encontram-se nas folhas e nos caules das plantas, como acontece com a fibra do abacaxi, sisal, linho e kenaf, e, por causa e da vontade de se conhecer mais sobre elas, muitos processos de extração de fibras foram criados. A fibra do Agave pode ser citada como uma fibra que impulsionou a pesquisa por causa da economia que girava em torno da sua produção (UDEANI, ANGELA, 2011).

A partir das pesquisas realizadas em torno da extração das fibras, muitas técnicas foram desenvolvidas, como a extração por retificação e por ação de álcalis. A técnica de retificação (ou *retting*) foi utilizada em um trabalho feito por KANT e ALAGH (2015) que extraíram a fibra da folha da *Sansevieria Trifasciata*, num processo que demorou de 7 a 8 semanas. RAO MOHAN E RAO MOHANA (2007), em um experimento de extração de fibras de *Vakka*, também utilizaram o *Retting*, num processo que demorou cerca de 8 a 25 dias de imersão em água. O trabalho de *review* realizado por ZAKIKHANI, et al (2014), mostra que é possível extrair fibras vegetais usando álcali (NaOH), em um tempo menor do que o utilizado no *retting* (apenas 5 horas). No entanto, o uso produtos químicos geram efluentes muito poluentes para o meio ambiente. Diante do problema gerado pelo tempo e pela geração de efluentes químicos, essa fase do trabalho se propõem a desenvolver uma técnica de extração de fibras de caule, que poderá ser usada para a extração da fibra do mamoeiro, que combine tempo hábil e a não utilização de produtos químicos.

4.2.Materiais e métodos

4.2.1. Extração das fibras do mamoeiro por processo físico

A metodologia utilizada para a caracterização da fibra do mamoeiro por processo físico foi semelhante à adotada por Shahinur, et al. 2015 e Li, 2004. Nele, o mamoeiro foi dividido e 3 partes de tamanhos iguais de 1,5 metros cada, como mostrado na **Figura 11**. Após isso, algumas amostras mantiveram a casca e a polpa (**Figura 12-a**), enquanto outras tiveram a casca e a polpa removidas

(**Figura 12-b**). Alguns caules foram batidos antes de serem submetidos a pressão e temperatura presentes na extração por processo físico, sendo denominadas de amostras BTD (**Figura 13**). Outras não foram batidas antes da ação da pressão e da temperatura, sendo denominadas amostras NBT (**Figura 14**). Após isso, os caules foram cortados em tamanhos diferentes pequeno, 15 cm de altura e 8 cm de largura, e grande, 15 cm de altura e 5 cm de largura. Essa preparação dos caules do mamoeiro tem como objetivo desenvolver o melhor método de extração das fibras do mamoeiro por processo físico a partir do resultado do rendimento da fibra.

Dessa forma, o processo de extração das fibras do mamoeiro por processo físico foi realizado em amostras com polpa e com casca, sem polpa e sem casca, não batido antes do processo de ação da pressão e temperatura (NBT), batido antes e depois da ação da temperatura e pressão (BTD), em tamanhos pequeno e grande, como mostrado na **Tabela 1**. Depois dessa preparação, os caules foram levados a um recipiente hermeticamente fechado (desenvolvido neste mestrado e em processo de patente) com água e aquecido por um período máximo de 1 hora e 30 minutos, como mostra a **Figura 36**.

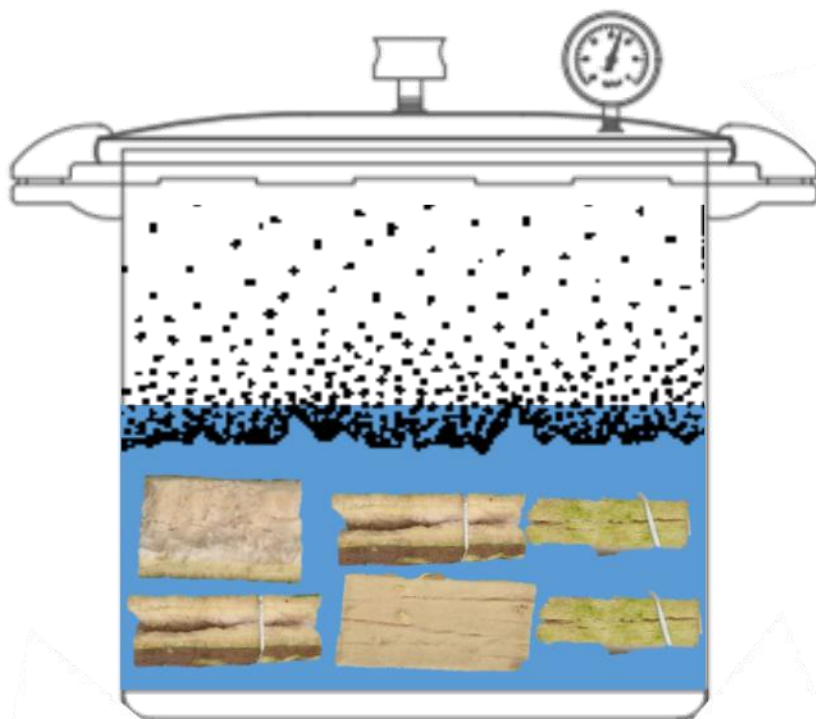


Figura 36. Inserção do caule do mamoeiro no recipiente hermeticamente fechado submetido a alta temperatura e pressão.

Depois desse intervalo, os caules foram batidos e escovados até a máxima remoção dos detritos. Por fim, as fibras foram enxaguadas e secas.

4.2.2. Caracterização das fibras

As fibras foram caracterizadas utilizando diferentes técnicas, tais como: microscopia ótica (já descrito no item 3.2.2), título (já descrito no item 3.3.1), densidade (já descrito no item 3.3.2), resistência à tração (já descrito no item 3.3.3), Molhabilidade (já descrito no item 3.3.4) e Difração de Raios-X (já descrito no item 3.3.5).

4.3. Resultados e discussões

4.3.1. Rendimento dos processos

O processo de extração das fibras do mamoeiro por processo físico foi realizado, inicialmente, em amostras de caule de mamoeiro com casca e com polpa e em amostras sem casca e sem polpa. A **Figura 37** mostra o resultado para a porcentagem de fibra extraída do caule do mamoeiro nessas condições.

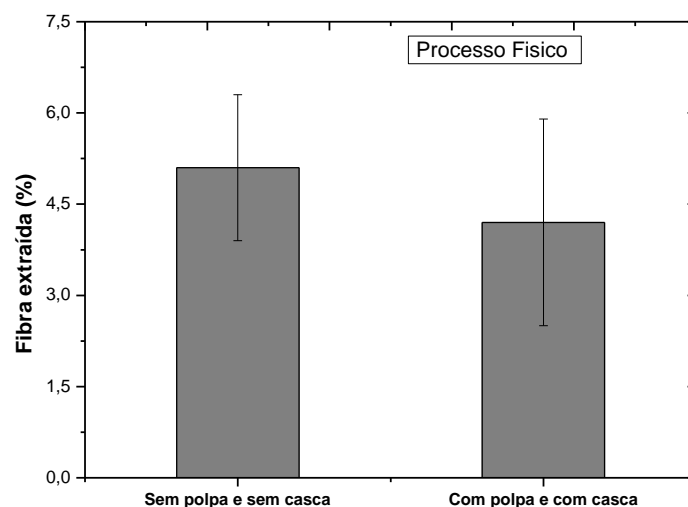


Figura 37. Porcentagem de fibra extraída pelo processo Físico (sem polpa e casca/com polpa e com casca).

A partir do gráfico da **Figura 37**, percebe-se que houve um aumento significativo no rendimento da fibra extraída do caule do mamoeiro sem casca e sem polpa (5,1%) em relação às fibras extraídas com polpa e com casca (4,2%). A diferença de rendimento entre os caules (sem polpa e sem casca e com polpa e com casca) representa um aumento de aproximadamente 17,6% de material fibroso extraído. Esse aumento no rendimento pode estar relacionado à casca e a polpa que são barreiras físicas para o contato das fibras com a água quente e, por causa disso, muitas fibras não conseguem

se desprender do caule, resultando num baixo rendimento de extração das fibras. Por outro lado, ao remover-se a casca e a polpa, essa barreira diminui e as fibras recebem mais umidade e temperatura, facilitando a sua remoção na etapa de batimento e escovagem. Comparando-se o resultado da **Figura 37** com a mesma etapa da extração biológica (**Figura 18**), percebe-se que, em ambos os processos de extração, utilizar o caule com casca e polpa promove menor rendimento na obtenção de fibras de mamoeiro. Já utilizar o caule sem casca e sem polpa promove maior rendimento de extração de fibras, principalmente para a extração biológica.

A **Figura 38** mostra os resultados para a extração das fibras do mamoeiro passando pelas etapas NBT e BTM. A partir desses resultados, percebe-se um aumento significativo no resultado de extração das fibras do mamoeiro para o BTM (12,8%) em relação ao NBT (5%). Esse aumento representa um valor de 60,9% do BTM sobre o NBT. Esse resultado está associado a remoção de casca e polpa no caule do mamoeiro, que representam barreiras físicas para a ação da água quente associada a pressão sobre o caule. Portanto, a inexistência dessas barreiras permite um maior contato da água com as fibras, facilitando a sua remoção. Esses valores são muito animadores quando se trata de uma produção industrial, no entanto, é importante lembrar que essa etapa demanda tempo de produção e que realizar o processo de batimento antes da ação da pressão e da temperatura no caule provoca um maior índice de fibras curtas, que são indesejáveis para a indústria têxtil, em alguns casos.

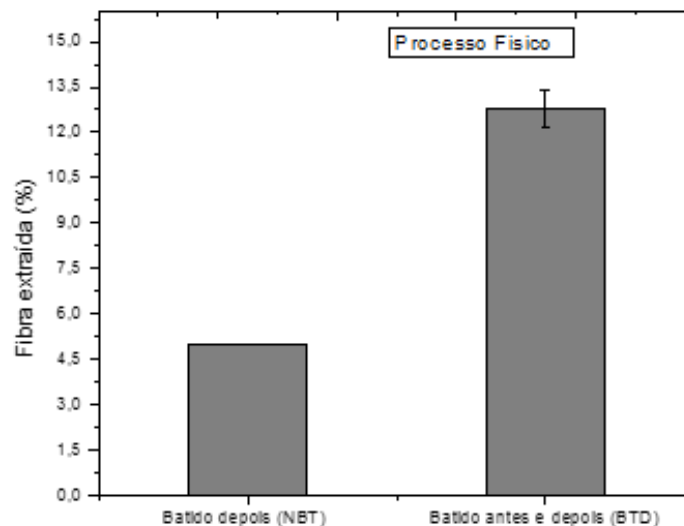


Figura 38. Porcentagem de fibra extraída pelo processo Físico (NBT e BTM)

A partir dos resultados encontrados na **Figura 37** e na **Figura 38**, conclui-se que para se obter uma boa produção de fibras do mamoeiro e que elas tenham um comprimento relativamente bom, é

necessário remover a casca e a polpa do caule do mamoeiro. No que se refere a etapa BTD e NBT, percebe-se maior rendimento para as fibras que passaram pela etapa BTD (**Figura 38**), como também foi verificado para a extração biológica. Esse aumento na extração de fibras está relacionado às fissuras que são criadas no caule do mamoeiro e que facilitam, por sua vez, a entrada de água tanto no processo físico quanto no processo biológico, facilitando a extração das fibras do mamoeiro. Ainda no processo biológico, as fissuras atuam também como porta de entrada para a ação das bactérias, promovendo maior extração de fibras. No entanto, é importante ressaltar que o processo BTD gera mais de fibras curtas do que o processo NBT e que essas fibras são indesejáveis na indústria têxtil. Portanto, para as demais análises de extração de fibras, são consideradas apenas as amostras de caule sem casca e sem polpa e que são NBT.

A **Figura 39** mostra os resultados para os rendimentos de extração de fibras do caule do mamoeiro nas amostras pequena e grande. É possível perceber que a amostra pequena apresenta um maior valor de extração (6,8%) em relação à amostra grande (6,0%). Essa variação representa um aumento de 11,8% para a amostra pequena em relação à amostra grande. Esse aumento está associado ao aumento da área superficial do caule, permitindo que uma grande área da amostra esteja em contato com a água quente e a pressão. Assim, o material não fibroso consegue ser amolecido com maior eficiência, permitindo maior desprendimento das fibras. Em termos de produtividade, a amostra pequena permite ainda que mais caule do mamoeiro seja colocado dentro do extrator de fibras do mamoeiro. Assim, a produção poderá aumentar ao longo do tempo.

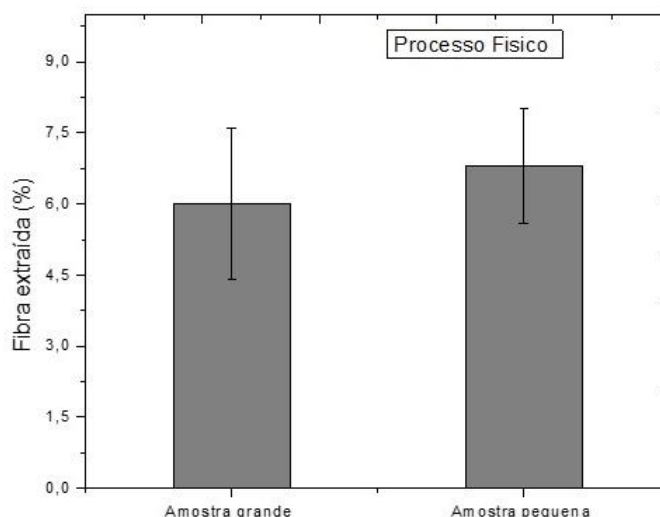


Figura 39. Porcentagem de fibra extraída pelo processo Físico (amostra pequena/amostra grande)

A **Figura 39** mostra que o tamanho das amostras de caule não influencia na extração de fibras de mamoeiro, uma vez que, o desvio padrão mostra que os resultados não são estatisticamente significativos. Assim, os resultados de extração para as amostras pequenas e grandes são praticamente iguais. Por outro lado, ao se colocar os caules pequenos no recipiente hermético, percebe-se que estes possuem maior empacotamento no recipiente, promovendo mais extração de fibras em função do tempo, o que é benéfico para uma produção em larga escala.

Ao se comparar os resultados da **Figura 39** com os resultados da extração biológica na mesma etapa (**Figura 21**), percebe-se que o tamanho do caule do mamoeiro influencia mais na extração biológica devido a ação dos microorganismos que atuam melhor numa maior área superficial (amostra de caule pequena).

A **Figura 40** mostra que cada região do caule do mamoeiro (parte 1, parte 2 e parte 3) tem um rendimento específico. Assim, a região 2 apresenta o maior teor de fibras (6%) em relação as outras partes, 1 e 3 com 5,7% e 3,3% respectivamente. Essa diferença é significativa ao se comparar as fibras da região 2 e 3, pois o rendimento da região 2 equivale o dobro da região 3.

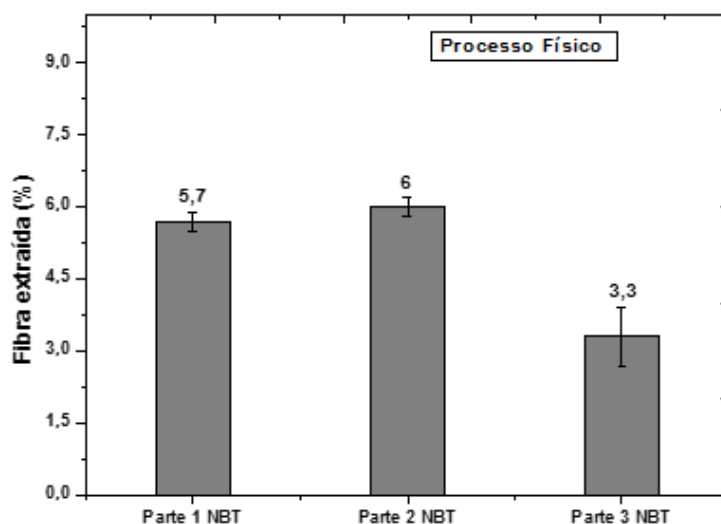


Figura 40. Porcentagem de extração de fibra pelo processo Físico (parte 1, parte 2 e parte 3)

A porcentagem de extração de fibras de mamoeiro em função da localização na fibra do caule (**Figura 40**) mostra que a região 2 é a que mais obtém fibras. Esse mesmo fenômeno é observado na extração biológica mostrada na **Figura 22**.

4.3.2. Determinação dos títulos e das densidades das fibras

Os resultados obtidos acerca do título (**Tabela 8**) e da densidade específica das fibras (**Tabela 9**) mostram a sua influência no rendimento da extração de fibras em diferentes regiões do caule (**Figura 40**), uma vez que, interferem nos valores da massa fibrosa.

Tabela 8. Títulos das fibras (tex) extraídas de diversas partes do caule do mamoeiro pelo processo físico.

Parte 1 (NBT)	Parte 2 (NBT)	Parte 3 (NBT)
19,4±2,1	19,4±2,1	15,8±2,1

Tabela 9. Densidade das fibras extraídas (g/cm³) de diversas partes do caule do mamoeiro pelo processo físico.

Parte 1 (NBT)	Parte 2 (NBT)	Parte 3 (NBT)
1,15 ± 0,04	0,78 ± 0,02	0,89 ± 0,01

Os resultados das densidades das fibras do caule do mamoeiro extraídas por processo físico podem ser comparados com outras fibras (**Tabela 3**). A partir dessa comparação, é possível perceber que as fibras do caule do mamoeiro têm a densidade menor que as das fibras do linho e da banana. No entanto, a densidade das fibras do caule do mamoeiro pelo processo físico pode ser maior que os valores da fibra do bambu, em alguns casos. Já as fibras do mamoeiro por extração biológica obtiveram uma densidade menor (**Tabela 2**) em relação às fibras do mamoeiro por extração física. Isso devido à ação das bactérias que diminuíram a massa das fibras por extração biológica, diminuindo assim a sua densidade.

4.3.3. Caracterização visual da fibra por micrografia ótica.

Vista da seção longitudinal

As micrografias foram realizadas da seção longitudinal (**Figura 41, Figura 42 e Figura 43**), para conhecer a superfície dessa fibra.

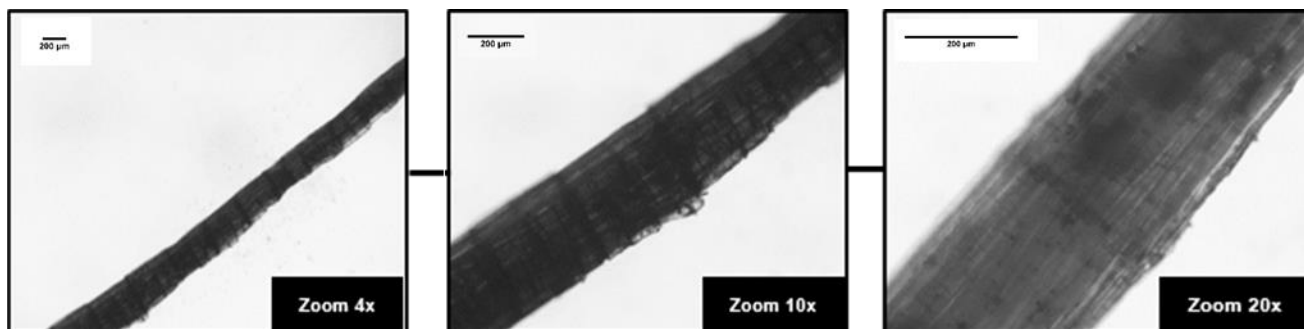


Figura 41. Vista longitudinal da fibra da parte 1 (NBT) pelo processo físico.

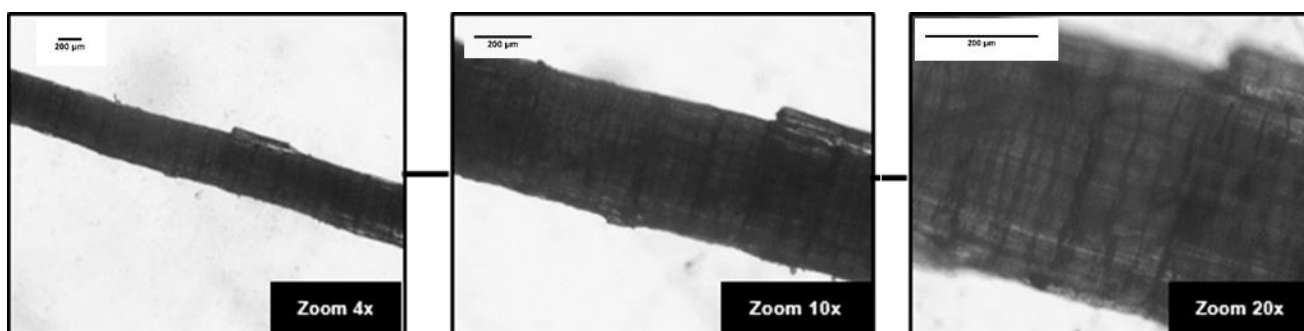


Figura 42. Vista longitudinal da fibra da parte 2 (NBT) pelo processo físico.

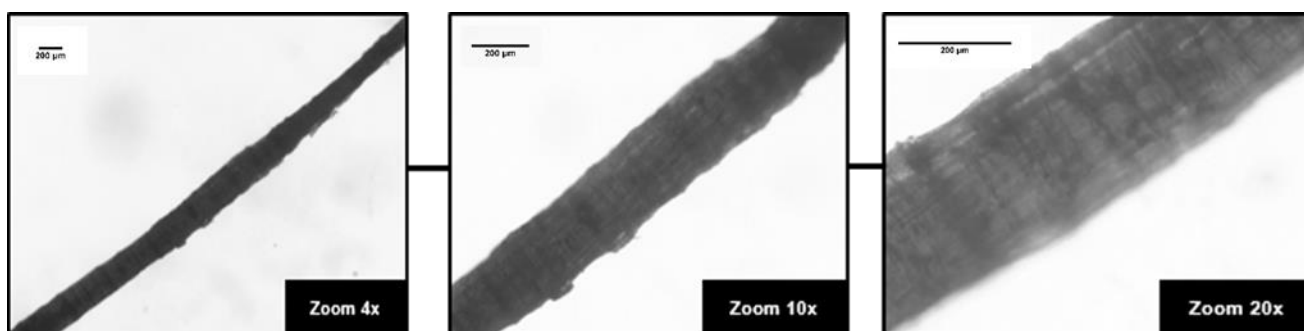


Figura 43. Vista longitudinal da fibra da parte 3 (NBT) pelo processo físico.

As imagens das microscopias óticas (**Figura 41**, **Figura 42** e **Figura 43**) mostram que há algumas diferenças entre as superfícies da seção longitudinal das fibras (1 NBT, 2 NBT e 3 NBT). Pode-se perceber que as fibras 1 NBT e 2 NBT apresentam superfícies parecidas na rugosidade superficial. A **Figura 43** mostra que a fibra 3 NBT, extraída da parte 3 do mamoeiro também apresentou uma superfície uniforme, semelhante à das fibras 1 NBT e 2 NBT, como mostram as **Figuras 41 e 42**.

A partir das imagens de microscopia ótica da seção longitudinal, é possível ver que todas as fibras se mostraram uniformes em termos de pontos grossos e finos (diâmetros), os quais praticamente não

existe. Isso é muito interessante, pois a indústria têxtil valoriza as fibras uniformes, pois elas tendem a não variar as suas propriedades mecânicas. Tal característica não foi observada nas fibras obtidas por extração biológica, que apresentaram fibras mais irregulares como mostraram as **Figuras 23, 24 e 25**.

Vista da seção transversal

A microscopia ótica foi utilizada para visualizar também as seções transversais das fibras (**Figura 44, Figura 45 e Figura 46**).

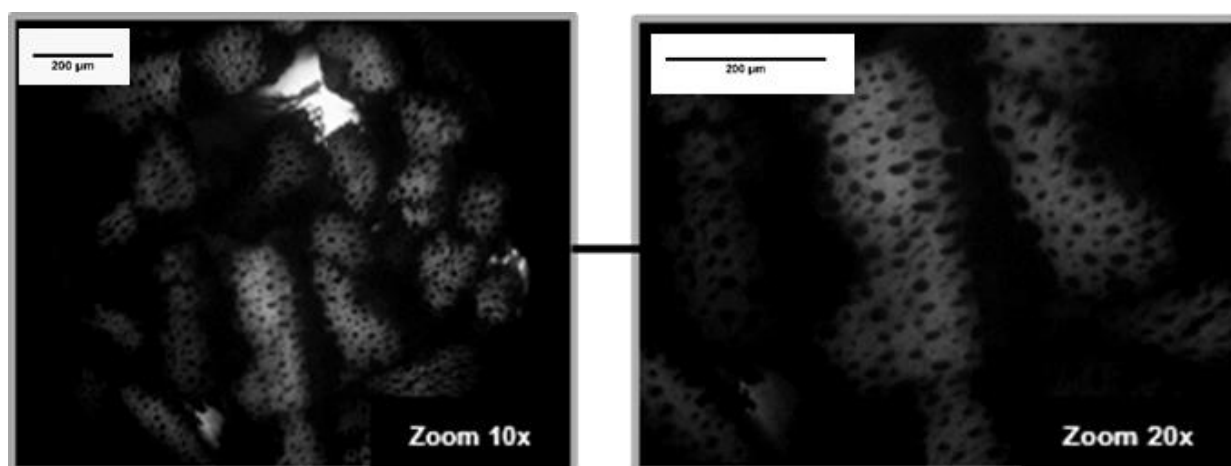


Figura 44. Vista transversal da fibra da parte 1 (NBT).

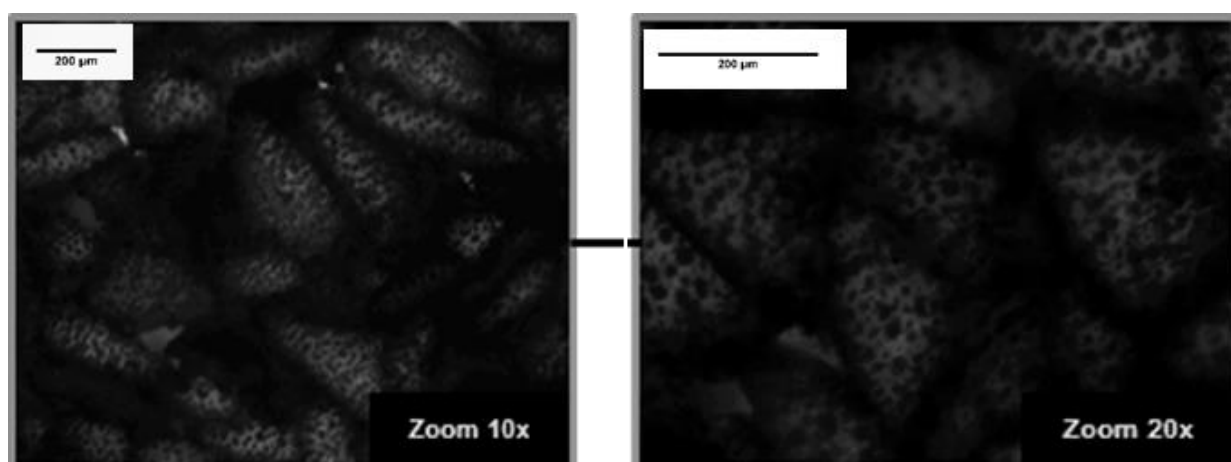


Figura 45. Vista transversal da fibra da parte 2 (NBT)

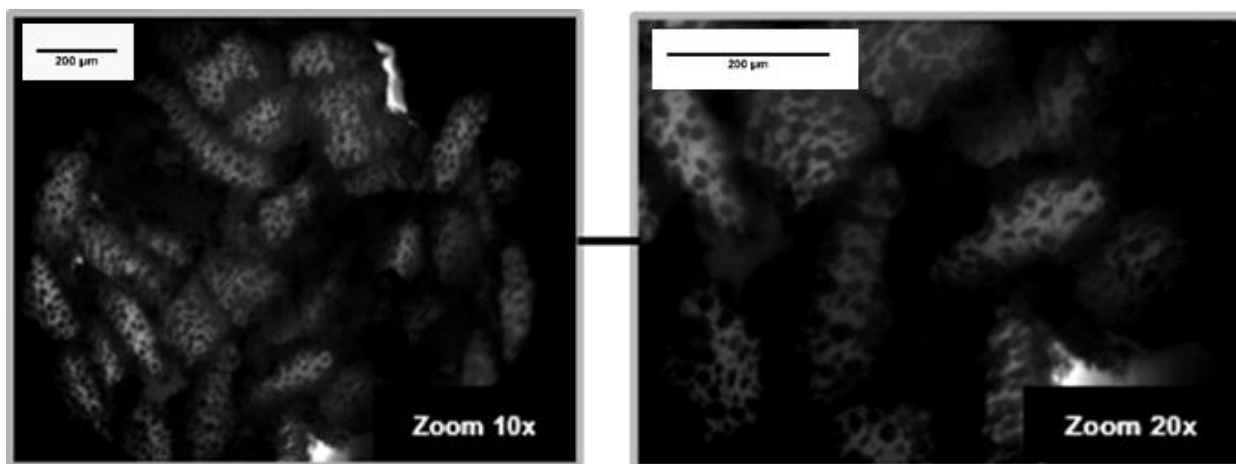


Figura 46. Vista transversal da fibra da parte 3 (NBT)

Em todos os resultados das seções transversais das fibras do mamoeiro, analisadas por microscopia ótica, foi visto que estas apresentam muitos poros. Portanto, os poros são uma característica predominante nas fibras do mamoeiro e estão presentes em qualquer região do caule em que as fibras são extraídas. Além disso, percebe-se que a geometria dos poros das fibras também é semelhante entre as partes do caule do mamoeiro 1, 2 e 3. Os poros também foram observados na extração biológica da fibra do mamoeiro (**Figuras 26, 27 e 28**), mostrando trata-se de uma característica intrínseca da fibra e não depende do tipo de extração.

4.3.4. Análise de Difração de raio-X (DRX)

Os resultados obtidos na análise das fibras do mamoeiro (1 NBT, 2 NBT e 3 NBT) pela técnica de DRX são mostrados na **Figura 47**. Todas as fibras apresentaram picos nas regiões $2\theta = 15^\circ$ e $2\theta = 22,5^\circ$, aproximadamente, indicando os respectivos planos cristalográficos (101) e (002). Esses planos indicam a presença da celulose nativa ou celulose tipo I (SEKI, et al. 2013; SARIKANAT, et al 2014; BELOUADAH, 2015; SPINACÉ, 2009). A celulose nativa é aquela encontrada nas fibras naturais lignocelulósicas que não passaram por nenhum processo químico, ou seja, não teve sua estrutura mudada, transformando-se em celulose II (NETO et al, 2013). Dessa forma, o processo de extração físico não provoca a mudança no tipo de celulose da fibra do mamoeiro. Isso também foi observado na extração biológica da fibra do mamoeiro, como mostrou a **Figura 32**.

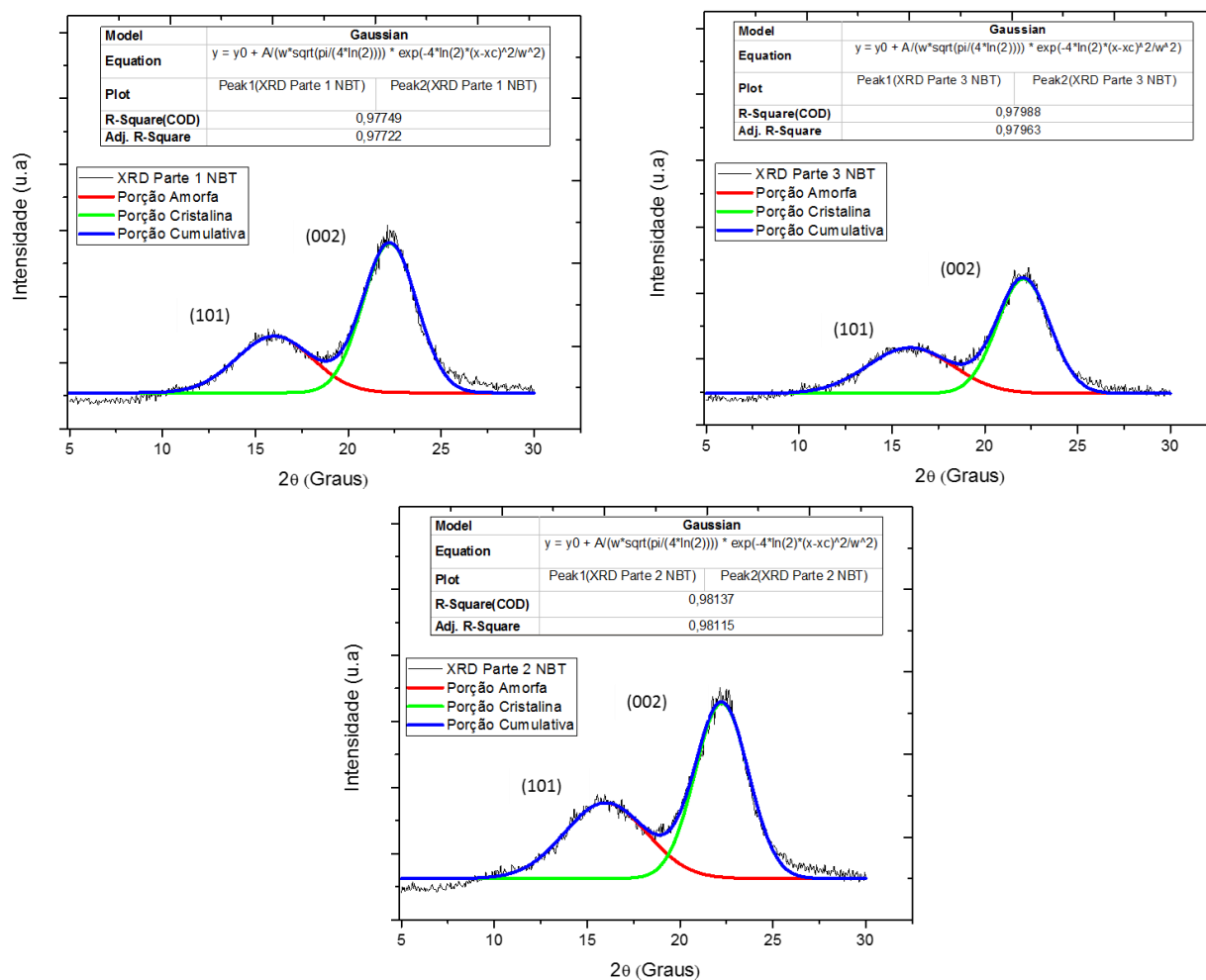


Figura 47. DRX com curvas de deconvolução das fibras de mamoeiro extraídas por processo Físico. **(a)** Fibra 1 NBT, **(b)** Fibra 2NBT e **(c)** Fibra 3NBT.

A partir dos gráficos de DRX, foram construídos os gráficos de cristalinidade das fibras do mamoeiro, como mostra a **Figura 48**.

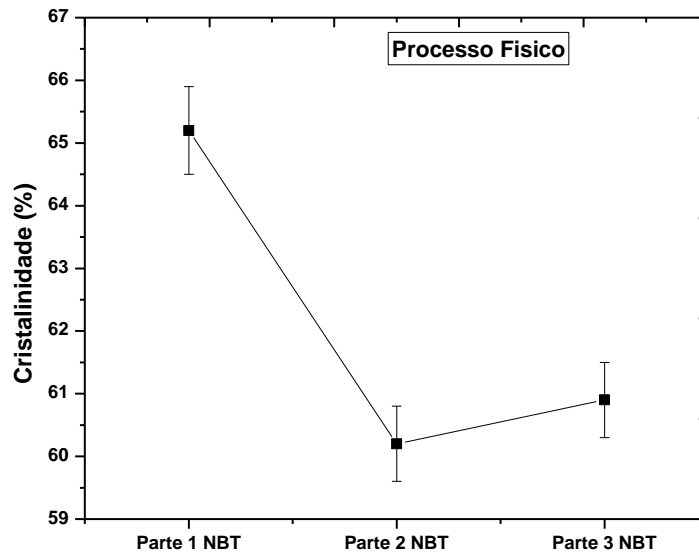


Figura 48. Cristalinidade das fibras-Processo Físico

A partir da comparação do gráfico de cristalinidade (**Figura 48**) com os resultados da **Tabela 5** (cristalinidade de outras fibras de caule), é possível perceber que as fibras do mamoeiro mostram uma cristalinidade superior às das fibras da bananeira (39%) e do bambu (59,7%), mas não para as fibras do linho (86,1%). Sabe-se que quanto maior a presença dessa celulose cristalina (**Figura 47 e 48**), maiores são as propriedades mecânicas das fibras celulósicas e, portanto, estas fibras podem ser usadas como reforço em compósitos (NETO et al, 2015). Além disso, a presença de estruturas cristalinas tende a aumentar a sua temperatura de degradação (GUIMARÃES, et al). A **Figura 48** mostra que cristalinidade da fibra do mamoeiro 1 NBT é superior à das outras fibras e que a fibra 2 NBT obteve o menor resultado de cristalinidade do que as demais. Os valores dessa cristalinidade não parecem estar relacionados à região da fibra, pois não há proporcionalidade entre os valores da cristalinidade com a posição das fibras no caule do mamoeiro. No entanto, se esses valores forem comparados com as cristalinidades obtidas no gráfico da **Figura 33** (fibras do mamoeiro por extração biológica), fica claro que houve variação significativa entre os resultados. A fibra 1 NBT aumentou a sua cristalinidade (3,3%), a fibra 2 NBT diminuiu (2%) e que a fibra 3 NBT também decresceu (2%). Esses valores representam uma variação de 5,1%, 3,2% e de 3,5% para as fibras 1 NBT, 2 NBT e 3 NBT, respectivamente.

Esses valores estão relacionados ao processo de extração, que utiliza temperatura e pressão. As variáveis do processo físico, ou seja, a temperatura e a pressão provocam uma resposta que depende também das propriedades das fibras, mudando a cristalinidade de cada uma (STEINMANN, et al, 2013). Dentre todas as fibras, a 1 NBT foi a que apresentou maior variação de cristalinidade (5,1%).

No entanto isso não está relacionado apenas ao processo de extração, que provoca mudança na cristalinidade das fibras do mamoeiro, mas isso também pode ser resultado da remoção da película amorfa (**Figura 23** e **Figura 29**), tornando a fibra 1 NBT do processo físico mais cristalina do que a 1 NBT do processo biológico (HAN e CHOI, 2010; GONCALVES et al, 2015).

4.3.5. Caracterização das fibras por MEV-FEG

As análises das fibras do mamoeiro foram feitas de modo a observar as superfícies das fibras (1 NBT, 2 NBT e 3 NBT) com maior detalhamento como mostram a **Figura 49**, **Figura 50** e **Figura 51**, respectivamente. Nestas imagens, as linhas tracejadas mostram as células das fibras.

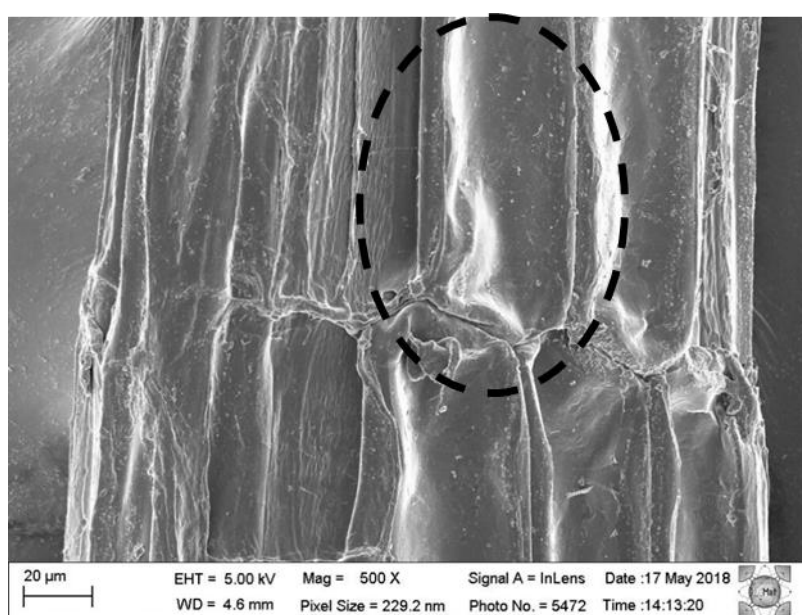


Figura 49. Fibra processo físico NBT parte 1.

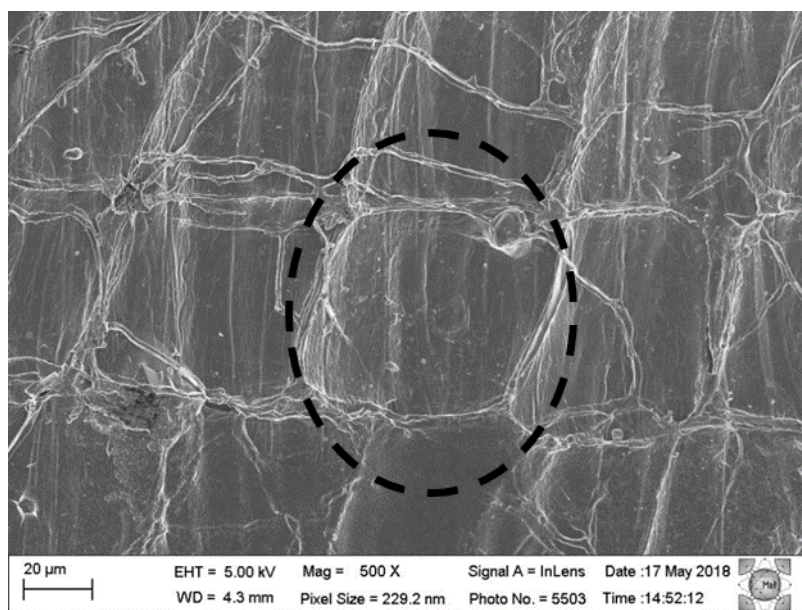


Figura 50. Fibra processo físico NBT parte 2.

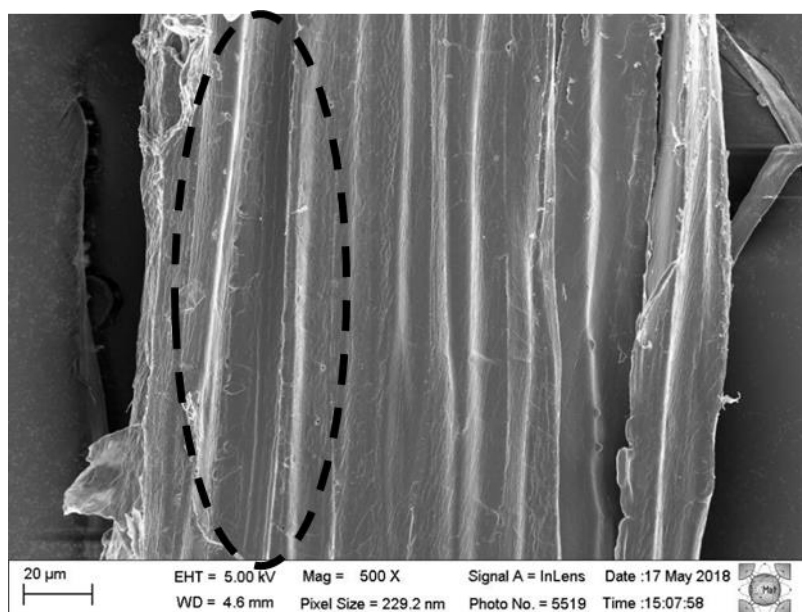


Figura 51. Fibra do processo físico NBT parte 3.

Nas **Figuras 49, 50 e 51** observa-se a presença de uma estrutura repetitiva bem parecida com pequenos retângulos que se unem, formando a fibra. Esses retângulos são justamente as células de formação da estrutura das fibras do mamoeiro que podem ser vistas devido à remoção do material não fibroso e ceras da superfície da fibra (DEFOIRDT et al, 2010; ARSYAD, et al 2015). Portanto, torna-se claro que o processo de extração físico remove muito bem as impurezas das superfícies das fibras do mamoeiro, como mostram as imagens do MEV-FEG (**Figura 49, Figura 50, Figura 51**). É

possível perceber também diferenças na rugosidade superficial das fibras, na qual a fibra 2 NBT parece ter menos sulcos do que as demais fibras. Portanto, as fibras 1 NBT e 3 NBT parecem ser mais apropriadas para uso em materiais compósitos, onde a rugosidade superficial é desejada (YAO, CHEN, 2013).

No que se refere ao MEV-FEG realizado nas fibras obtidas por extração biológica (**Figuras 28, 29 e 30**), é possível perceber que as fibras por extração física (**Figuras 49, 50 e 51**) apresentam-se quase sem danos, uma vez que, nesse processo não são utilizados microorganismos, que por sua vez, podem ser responsáveis pela degradação de partes da fibra. É possível observar também que as fibras por extração física apresentam poucas impurezas na sua superfície, em relação às fibras por extração biológica, mostrando que este processo também promove uma fibra com menor quantidade de material não-fibroso na sua superfície.

4.3.6. Ensaio de molhabilidade

A partir dos ensaios de molhabilidade, foram obtidos os resultados expostos na **Figura 52**.

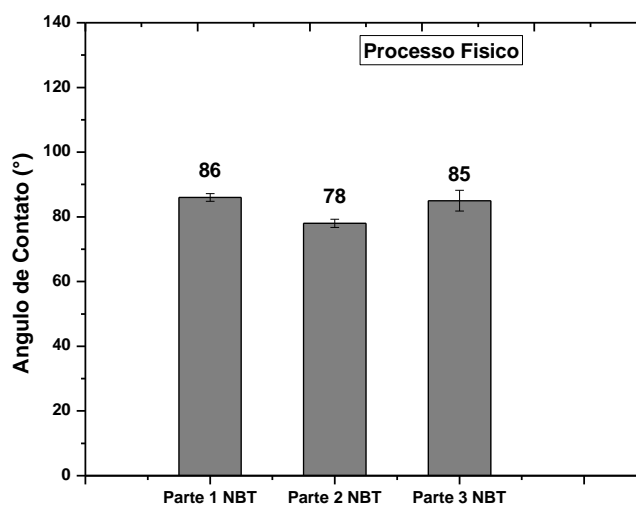


Figura 52. Molhabilidade das fibras de mamoeiro extraídas pelo processo Físico (1 NBT, 2 NBT e 3 NBT).

A partir da **Figura 52**, vê-se que as fibras do mamoeiro por extração física são classificadas como hidrofílicas, pois o ângulo de contato, entre a água e a superfície da fibra, foi inferior a 90° . Se esses resultados forem comparados com aqueles obtidos na **Tabela 5**, referente a outras fibras de caule, percebe-se que as fibras de sisal, bambu e banana são ainda mais hidrofílicas do que a fibra do mamoeiro extraído por processo físico.

A **Figura 52** mostra ainda que a fibra 2 NBT (78°) se mostrou mais hidrofílica do que a 1 NBT (86°) e a 3 NBT (85°). Esses resultados são diferentes do que foi encontrado pelas fibras do mamoeiro extraídas pelo processo biológico (**Figura 34**), pois as fibras pelo processo físico obtiveram um ângulo de contato menor, o que confere a elas um caráter mais hidrofílico. Esse resultado está relacionado à remoção das impurezas, como material não fibroso e ceras (ARSYAD, et al 2015), tornando a fibra mais hidrofílica. Apesar das fibras por extração física tem um caráter hidrofílico e as fibras por extração biológica serem hidrofóbicas, o comportamento do gráfico de molhabilidade é semelhante entre os dois métodos de extração, pois em ambos os casos a fibra 2 NBT foi a que obteve o menor ângulo de contato.

4.3.7. Ensaio de tração

Tenacidade, alongamento, tensão de ruptura e modulo de Young.

Os ensaios de tração foram analisados, observando-se os valores de alongamento e tenacidade como mostra a **Figura 53**.

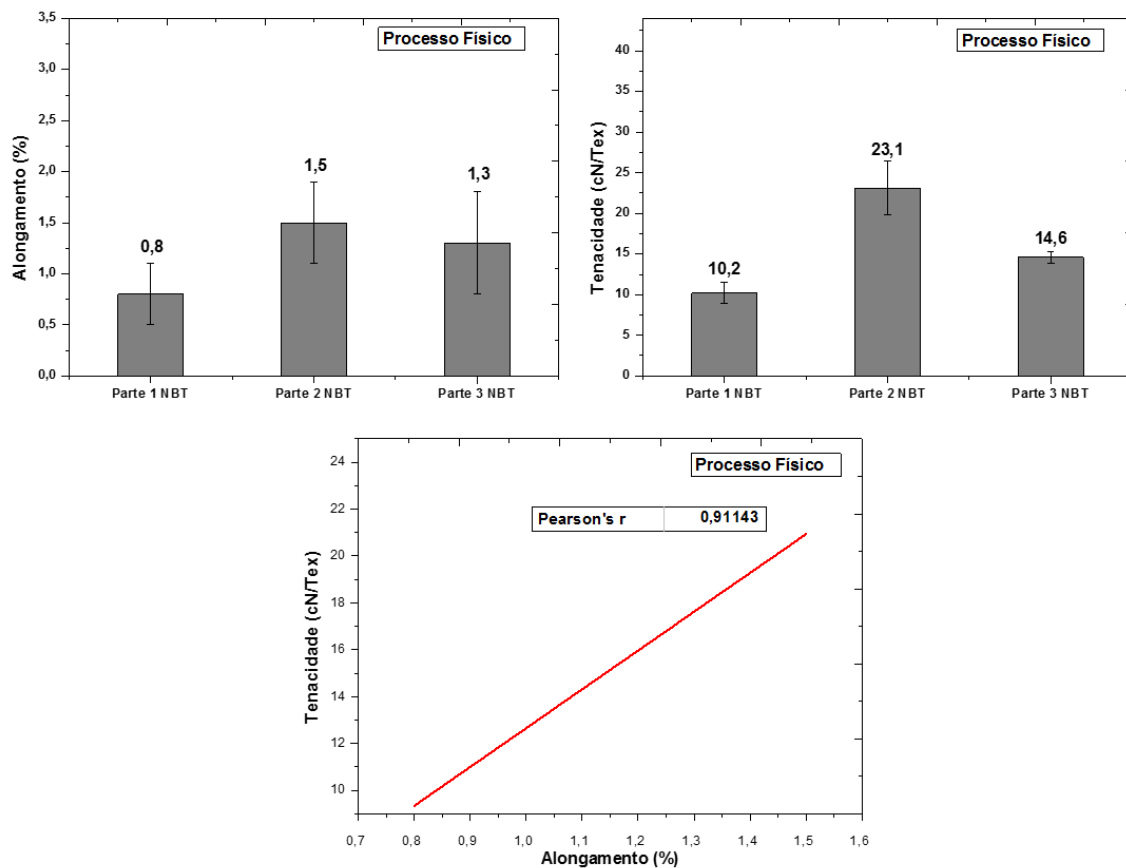


Figura 53. Análises das propriedades mecânicas das fibras do mamoeiro (parte 1, parte 2 e parte 3) por extração biológica: a) alongamento. b) Tenacidade. c) Coeficiente R de Pearson.

A **Figura 53** mostra que o resultado do alongamento não tem proporcionalidade com a localização da fibra no mamoeiro. No entanto, há uma relação proporcional entre os resultados de alongamento e tenacidade (**Figura 53-c**), que apresenta um *R de Pearson* de 0,92, ou seja, há muita correlação entre os resultados de tenacidade e alongamento para as fibras do mamoeiro extraídas pelo processo físico. Isso significa dizer que é possível controlar as variáveis desse processo de extração, como a temperatura e pressão, por exemplo. Dos resultados de tenacidade e alongamento, é possível concluir também que a fibra 2 NBT apresentou os maiores valores (23,1 cN/tex e 1,5%, respectivamente). Já a fibra 1 NBT teve os menores valores (10,2 cN/tex e 0,8%) para a tenacidade e alongamento, respectivamente.

Considerando que o processo físico remove muito bem as impurezas das fibras, tais como material não fibroso e ceras, pode-se perceber que os resultados da tenacidade e alongamento da fibra estão mais relacionados às propriedades das fibras. Como foi mostrado no gráfico da **Figura 48**, a fibra 1

NBT possui o maior porcentual de cristalinidade, característica que poderia aumentar a resistência à tração dessa fibra, uma vez que, a cristalinidade tende a ser proporcional a resistência a tração. No entanto, é importante ressaltar que a fibra 1 NBT tem a maturação mais alta do que as demais fibras (2 NBT e 3NBT) e essa maturação excessiva contribui para um baixo valor da tenacidade. A fibra 2 NBT, por sua vez, é que possui a maturação ideal, em relação as demais (2 NBT e 3 NBT) e, sendo assim, esta se mostra com o maior valor da tenacidade (23,1 cN/Tex) (SHAHINUR, et al, 2015). Como foi visto no gráfico da **Figura 53-c**, a alongamento das fibras do mamoeiro segue a tendência de crescimento ou decréscimo da tenacidade. Portanto, a fibra 2 NBT possui também o maior valor de alongamento dentre todas as fibras do mamoeiro extraídas por processo físico.

Ao se comparar as propriedades mecânicas das fibras de caule com a fibra do mamoeiro por extração física, obteve-se a tabela 10.

Tabela 10. Comparação das propriedades mecânicas de fibras de caule

Fibra vegetal	Alongamento (%)	Tenacidade (cN/tex)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de Young (calculados MPA)
Banana	1,02-1,67	5,12-13,2	53,7	52,64-32,16
Bambu	1,3	7,39-10,11	140-230	107,69-176,9
Linho	41,35	39,73	300-900	7,25-21,8
Mamoeiro⁴	1,60-1,64	-	518,8-541,2	324,3-330
Mamoeiro⁵ (obtido por extração biológica)	0,5-2	9,3-27	2,8-10,8	5,6-6,1
Mamoeiro⁶ (obtido por extração física)	0,8-1,3	10,2-23,1	4,4-7,8	5,5-6,0

Fonte: GANAN et al,2004; CHEN, 2012; NAIR, 2013; LAKSHMAN, et al 2017; YILDIZHAN, et al 2018; KIM et al, 2015; SARAVANAKUMAAR et al (2018).

A partir da Tabela 10, percebe-se que, para a tensão à ruptura, os resultados para a fibra do mamoeiro com extração física variaram de 4,4 MPa a 7,8 MPa, diferentemente da extração biológica que alcança uma tensão de até 10,8 MPa. No entanto, é nessa extração onde também se obtém o menor valor de tensão (2,8 MPa). Isso mostra que os resultados de tração da fibra do mamoeiro por extração biológica não são tão consistentes e depende diretamente da ação dos microorganismos que podem danificar a fibra durante a extração.

⁴ Dados da fibra do mamoeiro obtidos de SARAVANAKUMAAR et al, 2015.

⁵ Dados obtidos a partir desta dissertação.

⁶ Dados obtidos a partir desta dissertação.

Quando os resultados das fibras de mamoeiro por extração física são comparados com os resultados obtidos pelas demais fibras de caule da Tabela 10 (banana, bambu e linho), percebe-se uma diferença notória entre os valores das propriedades mecânicas. Isso, devido à presença de muitos poros na seção transversal da fibra do mamoeiro, que diminuem a sua resistência à tração. Já, ao se comparar a fibra do mamoeiro por extração física com a fibra do mamoeiro estudada por Saravanakumaar et al (2018), pode-se perceber diferença entre os resultados. Pelo mesmo motivo discutido anteriormente **no tópico 3.4.7**, as condições do ensaio de resistência a tração (velocidade e distância entre garras) do autor Saravanakumaar et al (2018) são diferentes da metodologia adotada nesse trabalho que segue a norma **ASTM D3822**. Sendo assim, esses parâmetros influenciam nos resultados do ensaio de tração (LEMOS, 2013; YANG, 1999; PARDINI e MANHANI, 2002).

4.4. Conclusão

Este estudo científico teve como objetivo a extração e caracterização das fibras do mamoeiro por processo físico. Para isso, foram expostos os principais parâmetros de controle para a obtenção de fibras com propriedades atrativas. Tais parâmetros incluem a preparação do caule como foi descrito nos materiais e métodos dessa dissertação. A partir dos resultados da extração, percebe-se que essas variáveis são cruciais para o rendimento e qualidade das fibras, pois contribuem para a obtenção de fibras qualitativamente e quantitativamente melhores. Portanto, foi concluído que remover a polpa e casca do caule do mamoeiro antes de submetê-la ao processo de temperatura e pressão, bem como cortar o caule em tamanhos pequenos, aumenta o rendimento de extração de fibras longas do mamoeiro. Dos resultados das propriedades das fibras, todas apresentaram poros nas seções transversais e tiveram planos cristalográficos (101) e (002), na análise de DRX, que representam a celulose tipo I (celulose nativa) em diferentes intensidades. Sendo assim, as fibras oriundas da parte 2 (2 NBT) apresentaram resultados mais significativos no rendimento de fibras extraídas, tenacidade, alongamento, uniformidade na superfície, boa hidrofílicidade e densidade mediana. As fibras da parte 1 tiveram um rendimento semelhante ao da fibra 2 NBT, baixo alongamento a ruptura e tenacidade, moderada hidrofílicidade, maior cristalinidade, superfície rica em irregularidades e a maior densidade. A parte 3, por sua vez, exibiu moderada cristalinidade, moderada irregularidade e hidrofílicidade e moderada densidade (g/cm^3). A partir destes resultados e principalmente da relação encontrada entre a tenacidade e alongamento das fibras do mamoeiro, leva-se a concluir que o processo de extração físico mostra alta segurança no controle das variáveis do processo, pois o R de Pearson estava próximo do valor de 1. Assim, as fibras do mamoeiro oriundas desse processo apresentam

propriedades influenciadas pela sua maturidade além de apresentarem poucas impurezas na sua superfície, influenciando na sua hidroflicidade.

CAPÍTULO V – CONCLUSÃO DA DISSERTAÇÃO

A partir dos resultados dos obtidos, é possível concluir que os processos de extração biológico e físico estão aptos para a extração das fibras do mamoeiro. Ambos processos não utilizam produtos químicos para a extração, como foi proposto nessa dissertação. Como pode ser visto nos ensaios de caracterização, cada processo e região do caule do mamoeiro produzem fibras com propriedades distintas. O processo físico produz excelente limpeza superficial da fibra, como foi mostrado no resultado de MEV-FEG. Também é nesse processo que se obtém as melhores propriedades mecânicas (1,5 % de alongamento e tenacidade 23,1 cN/tex), pois é possível controlar melhor as variáveis e, portanto, não há risco de obter fibras com menor desempenho do que foi previsto. É no processo físico onde encontra-se a fibra de maior cristalinidade e esta localiza-se na região 1 do caule do mamoeiro (65,2%). Além disso, esse processo produz também as fibras mais hidrofílicas. Já o processo biológico é excelente para obter fibras de baixa densidade (entre 0,64 e 0,74 g/cm³), como foi mostrado nessa dissertação. É no biológico que há o maior teor de extração de fibras e esta localiza-se na região 2 do caule do mamoeiro (14,5%). As fibras hidrofóbicas também são obtidas nesse processo. Com tudo o que foi apresentado, então é possível perceber a ampla variedade de propriedades que é possível obter diferentes fibras do mamoeiro de acordo com a região do caule e o tipo de extração adotado.

CAPÍTULO VI – LITERATURA CITADA

AKIL, H.M et al. Kenaf fiber reinforced composites: A review. **Materials & Design**. V. 32, p. 4107-4121, 2011.

ALI, Muhammad Adnan; SARWAN, Muhammad Imran. Sustainable and Environmental Friendly Fibers in Textile Fashion: A Study of Organic Cotton and Bamboo Fibers. 2010. Thesis (Master in Applied Textile Management). Borås.

AMICO, S.C.. Vegetable fibers as multifunctional materials. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 355-363, 2010.

ARSYAD, Muhammad et al. The morphology of coconut fiber surface under chemical treatment. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 169-177, 2015.

BABALOLA, Olubukola Oluranti. Beneficial bacteria of agricultural importance. **Biotechnology Letters**, V. 32, n 11, p.1559–1570. 2010.

BEHERA, B. K. et al. Effect of different blending methods and blending stages on properties of Milange yarn. 1997.

BELOUADAH, Z.; ATI, A.; ROKBI, M. Characterization of new natural cellulosic fiber from *Lygeum spartum* L. **Carbohydrate polymers**, v. 134, p. 429-437, 2015.

BISMARCK, A et al. Plant fibers as reinforcement for green composites. In: Mohanty AK, Mishra M, Drzal LT, editors. Natural fibers, biopolymers and biocomposites. Boca Raton (FL): CRC Press, 2005. p. 37-108. 1ª edição.

CAIN, A.J. Taxonomy. [s.l],2017. Disponível em:<<https://www.britannica.com/science/taxonomy#accordion-article-history>>. Acesso em: 19 de março de 2018.

CARNEIRO, Cláudia Elena; CRUZ, Jailson Lopes. Caracterização anatômica de órgãos vegetativos do mamoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.918-921, 2009.

CAROLINO, Adriano de Souza. Estimativa do percentual de cristalinidade de polímeros semicristalinos derivados da anilina através dos padrões de difração de raios-x. 2017. Dissertação (mestrado em Física). Manaus.

CATLING, Dorothy; GRAYSON, John. Identification of vegetable fibres. 1ª edição. New York: Chapman and Hall, 1982.

CESARINO, Igor. An overview of lignin metabolism and its effect on biomass recalcitrance. **Brazilian Journal of Botany**, v.35, no.4, p.303-311, 2012

CHEN, Hong et al. Contact angle of singles bamboo fibers measured in different environmental and compared with other plant fiber and bamboo strips. **Bioresources**. V. 8, n.2. p. 2827-2838. 2013.

CHEN, Lung-Hua; POTE, Jonathan; FULLER, Marty. Decorticating machine with variable speed feed and beater rollers. United States patente US5465464A. 1994.

- COLE, Matthew et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 12, p. 2588-2597, 2011.
- COSTA, Célia Regina da, et al. Product development using vegetable fibers. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 9, n. 3, p. 237-244, 2014.
- DANTAS, Jorge Luiz Loyola et al. Mamão: O produtor pergunta, a Embrapa responde. 2ª edição. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 170 p.
- DANTAS, Jorge Luiz Loyola; OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes. Exigências climáticas. In: O cultivo do mamão. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura. p. 8. 1999.
- DHAKAL, Hom Nath; ZHANG, Zhong. The use of hemp fibres as reinforcements in composites. In: **Biofiber Reinforcements in Composite Materials**. 2015. p. 86-103.
- DEFOIRDT, Nele et al. Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre. **Composites Part A: applied science and manufacturing**, v. 41, n. 5, p. 588-595, 2010.
- DEOPURA, B.L et al .Dependence of Mechanical Properties on Crystalline, Intermediate, and Amorphous Phases in Poly(Ethylene Terephthalate) Fibers. **Textile Research Journal**. Vol 47, Issue 4, pp. 267 – 271, 1977.
- DEVAKI C.S, et al. A Review on Composition, Processed Products and Medicinal Uses of Papaya (Carica Papaya L.) **International Journal of Food, Nutrition and Dietetics**. v. 3, n. 3, 2015.
- DRIS, Rachid. et al., Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?, **Marine Pollution Bulletin**, v. 104, n. 1-2, p. 290-293, 2016.
- DUPRAT,C. et al. Wetting of flexible fibre arrays. **Nature**. v. 482, p. 510–513. 2012.
- EDER, Michaela; BURGERT, Ingo. Natural Fibres – Function in Nature. In: MUSSIG, Jorg. Industrial Applications of Natural Fibres Structure, Properties and Technical Applications. Alemanha, 2010. Cap. 2, p. 23-29.
- FRAUNHOFER, Joseph Anthony Von. Adhesion and Cohesion. **International Journal of Dentistry**, vol. 2012, 2012.
- GAMBOA, Carla Muniz. Proposta de indicadores de desempenho ambiental aplicados à indústria têxtil de fibras sintéticas. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental). 2005.
- GANAN, Piedad et al. Stem and Bunch Banana Fibers from Cultivation Wastes: Effect of Treatments on Physico-Chemical Behavior. **Journal of Applied Polymer Science**, vol. 94, 1489 – 1495. 2004.
- GONCALVES, Ana Paula Bispo et al. Physicochemical, Mechanical and Morphologic Characterization of Purple Banana Fibers. **Materials Research**, São Carlos, v. 18, supl. 2, p. 205-209. 2015.
- GUIMARÃES, J.L, et al. Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 30, p. 407–415, 2009.
- GUERRA, Amilton Gurgel; MENDONÇA, Vander. Manual De Fruticultura Tropical. Clube de Autores, 2009. 375 p.

- KROMER, K.H. Physical properties of flax fibre for non-textile-use. **Research in Agricultural Engineering**, v. 55, n.2, p. 52–61, 2009.
- LAMOUR, Guillaume, et al. Contact Angle Measurements Using a Simplified Experimental Setup. **Journal of Chemical Education**, v. 87, N. 12, 2010.
- HAN, Seong Ok; CHOI, Hae Young. Morphology and surface properties of natural fiber treated with electron beam. **Microscopy: Science, Technology, Applications and Education**, v. 3, p. 1880-1887, 2010.
- HEWITT, Hermi et al. The use of papaya on pressure ulcers: a natural alternative. **American Journal of nursing**, vol. 102, n 12, p. 73-77, 2002.
- HONG, Seokjin et al. Controlling the wettability and adhesion of carbon fibers with polymer interfaces via grafted nanofibers. **Composites Science and Technology**, v. 117, p. 130-138, 2015.
- HUFFMAN, F.G. URONIC ACIDS. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2^a edição. 2003.
- KANT, Rita; ALAGH, Preeti. Extraction of Fiber from Sansevieria Trifasciata Plant and its Properties. **International Journal of Science and Research**. V.4. 2015.
- KEITH F. Chater. Streptomyces inside-out: a new perspective on the bacteria that provide us with antibiotics. **Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci**. v. 361, n 1469, p. 761–768. 2006.
- KEMPE, Andreas et al. Evaluation of Bast Fibres of the Stem of Carica papaya L. for Application as Reinforcing Material in Green Composites. Annual Research & Review in Biology. V 6, p. 245-252, 2015.
- KIM, Joo-Hyung et al. Review of Nanocellulose for Sustainable Future Materials. V.2, p.197-213, 2015.
- KIM, Jun Tae; NETRAVALI, Anil N. Mercerization of sisal fibers: Effect of tension on mechanical properties of sisal fiber and fiber-reinforced composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v.41, p.1245–1252, 2010.
- KU, H et al. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. **Composites Part B: Engineering**, Volume 42, Issue 4, p. 856-873. 2011.
- LAKSHMAN, C et al. Mechanical Performance and Analysis of Banana Fiber Reinforced Epoxy. Composites. International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET), V. 6, 2017.
- LEMOS, Guilherme Vieira Braga et al. O efeito da velocidade de deformação no ensaio de tração em um aço SAE 4340. In: **Congresso Anual da ABM**. São Paulo, 2013.
- LI, Xiaobo. Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. Thesis (Master) 2004.
- LIMA, Paulo RL et al. Characterization and treatment of sisal fiber residues for cement-based composite application. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 812-825, 2014.
- LIU, Dagang. Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties. **Cellulose**. Volume 19, Issue 5, p. 1449–1480, 2012.

- LIU, Ming, et al. Comparison of traditional field retting and *Phlebia radiata* Cel 26 retting of hemp fibres for fibre-reinforced composites. **AMB Express**. v. 7, n 58, 2017.
- LOPES, Sônia. Introdução à Biologia e origem da vida. 1ª edição. Editora Saraiva. São Paulo. 2006.
- MORESCHI, João Carlos. Biodegradação e preservação da madeira. 4ª edição. 2013.
- NAIR, Gopu Raveendran. Comparative Evaluation of Physical and Structural Properties of Water Retted and Non-retted Flax Fibers. **Fibers**. V. 1, p. 59-69. 2013.
- NETO, Alfredo R. Sena et al. Comparative study of 12 pineapple leaf fiber varieties for use as mechanical reinforcement in polymer composites. **Industrial Crops and Products**. V. 64, p.68–78. 2015.
- NETO, Alfredo R. Sena, et al. Characterization and comparative evaluation of thermal, structural, chemical, mechanical and morphological properties of six pineapple leaf fiber varieties for use in composites. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 529– 537, 2013.
- OLIVEIRA, Mayron Augusto Borges de. Caracterização da cor do estádio de maturação e influência do 1-MCP na pós colheita do mamão (*Carica papaya* L.). Tese (Doutorado), Rio de Janeiro, 2002.
- ÖZDİL, Nilgün et al. A study on the moisture transport properties of the cotton knitted fabrics in single jersey structure. **Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon**, v. 19, n. 3, 2009.
- PAIVA, Emmanuela Prado de, et al. Pectina: Propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação. **Revista Iberoamericana de Polímero**. Vol 10, nº4. 2009.
- PARK, Sunkyoo, et al. Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance. **Biotechnol Biofuels**. v.3, n.10. 2010.
- PEREIRA, Paulo Henrique Fernandes et al. Vegetal fibers in polymeric composites: a review. **Polímeros**. vol.25 no.1 . 2015
- POLETTO, Matheus et al. Native Cellulose: Structure, Characterization and Thermal Properties. **Materials (Basel)**. V 7, n 9, p. 6105–6119. 2014.
- PREETHI, P; BALAKRISHNA Murthy G. Physical and Chemical Properties of Banana Fibre Extracted from Commercial Banana Cultivars Grown in Tamilnadu State. **Agrotechnol S11**. 2013.
- RAO, K. Murali Mohan; RAO, K. Mohana. Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo. **Composite structures**, v. 77, n. 3, p. 288-295, 2007.
- REBOUILLAT, S et al. Wettability of single fibers – Beyond the contact angle approach. *Intl.J.Adhes.Adhesives*, v.19, n.4, p.303-314. 1999.
- RITZINGER, Cecília Helena Silvino Prata; SOUZA, José da Silva. Fitossanidade na exportação de mamão. p.9-11. In: Mamão. Fitossanidade. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, BA. 1ª edição. 91 p. 2000.
- SALIT, Mohd Sapuan. Tropical Natural Fibre Composites: Properties, Manufacture and Applications. Springer, 2014.

- SAMPATH, M. B; SENTHILKUMAR, M. Effect of Moisture Management Finish on Comfort Characteristics of Microdenier Polyester Knitted Fabrics. **Journal of industrial textiles**, vol. 00, n 0, 2009.
- SANCHES, Nilton Fritzon; DANTAS, Jorge Luiz Loyola. coords. O cultivo do mamão. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 105 p. 1999.
- SANGOI, Luiz. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**. Vol.31 no.1. Santa Maria, 2001.
- SARIKANAT, M et al. Determination of properties of *Althaea officinalis* L. (Marshmallow) fibres as a potential plant fibre in polymeric composite materials. **Composites: Part B**, v. 57 180–186. 2014.
- SARAVANAKUMAAR, A. et al. Impact of alkali treatment on physico-chemical, thermal, structural and tensile properties of *Carica papaya* bark fibers. **IJPAC**, p. 1563-5341, 2018.
- SCHELLBACH, Sara L. et al. A novel method for contact angle measurements on natural fibers. **Materials Letters**. V.164, p.599–604. 2016.
- SEBRAE. O cultivo e o mercado do mamão. 2016. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-mamao,937a9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- SEKI, Yoldas et al. Extraction and properties of *Ferula communis* (chakshir) fibers as novel reinforcement for composites materials. **Composites Part B: Engineering**, v. 44, n. 1, p. 517-523, 2013.
- SERRANO, L.A.L; CATTANEO, L.F. O cultivo do mamoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de fruticultura**, v. 32, n.3, 2010.
- SHAHINUR, Sweety et al. Characterization on the properties of jute fiber at different portions. **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, 2015.
- SILVA, M. M, et al. Vegetative and fruit characteristics of papaya trees obtained by mass selection. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 29-38, 2010.
- SINHA, E.; ROUT, S. K. Influence of fibre-surface treatment on structural, thermal and mechanical properties of jute fibre and its composite. **Bulletin of materials science**, v. 32, n. 1, p. 65, 2009.
- SISTI, L. et al. Retting Process as a Pretreatment of Natural Fibers for the Development of Polymer Composites. **Lignocellulosic Composite Materials**. 2018. p. 97-135.
- SKENDEROVIC, Ibro, et al. Environmental pollution and waste management. **Balkan Journal of Health Science**. Vol.3, Nº 1. 2015.
- SOUZA, Girlene Santos de. Manual prático de anatomia vegetal. Selbach e autores associados. Jaraguão. P. 66, 2015.
- SPINACÉ, Márcia A.S. Characterization of lignocellulosic curaua fibres. **Carbohydrate Polymers**. V. 77, p.47–53. 2009.

- STEINMANN, W. et al. Thermal analysis of phase transitions and crystallization in polymeric fibers. In: *Applications of Calorimetry in a Wide Context-Differential Scanning Calorimetry, Isothermal Titration Calorimetry and Microcalorimetry*. InTech, p. 277-306, 2013.
- SUARDANA, Ngakan Putu Gede et al. Mechanical properties of HEMP fibers and HEMP/PP composites: Effects of chemical surface treatment. **Materials Physics and Mechanics**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2011.
- TRINDADE, Aldo Vilar et al. *Mamão produção: aspectos técnicos*. Embrapa Mandioca e Fruticultura. 1 edição. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000.
- UDEANI; NKEMDILIM Angela. Extraction and Textile Qualities of Fibers from Some Xerophytic Plants. **Asian Journal of Textile** 1, v.1, p.35-41, 2011.
- USDA. National Nutrient Database for Standard Reference. Revised May, 2016.
- WADA, M.; OKANO, T. Localization of I α and I β phases in algal cellulose revealed by acid treatments. **Cellulose**. V. 8, p.183–188. 2001.
- WADE, Chute; HENRY, Deb; ROLHEISER, Dean. Decortication process. United States patent US7669292B2. 2007.
- WAINBERG, Rodrigo. Molhabilidade e rugosidade de superfícies: Caracterização interferométrica e sua correlação com a rugosidade. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Física-Pesquisa Básica) - Instituto de Física, Porto Alegre, 2014.
- WAITE, Marilyn. Sustainable Textiles: the role of bamboo and a comparison of bamboo textile properties (parte II). **JTATM**. V. 6, 2010.
- WILLIAMS, George I.; WOOL, Richard P. Composites from natural fibers and soy oil resins. **Applied Composite Materials**, v. 7, n. 5-6, p. 421-432, 2000.
- YAN, Liban et al. Flax fibre and its composites - A review. *Composites Part B Engineering*, v. 56, p. 296-317, 2014.
- YANG, S. M. et al. Influence of loading speed on tensile strength characteristics of high tensile steel. In: **ECF13, San Sebastian 2000**. 1999.
- YAO, Yin; CHEN, Shaohua. The effects of fiber's surface roughness on the mechanical properties of fiber-reinforced polymer composites. **Journal of Composite Materials**, v. 47, n. 23, p. 2909-2923, 2013.
- YILDIZHAN, Şafak et al. Bio-composite materials: a short review of recent trends, mechanical and chemical properties, and applications. *European Mechanical Science*. V.2, p.83-91, 2018.
- YUHAZRI, M.Y; DAN, M.M.P. High impact hybrid composite material for ballistic armor. **J. Adv. Manuf. Technol**. V. 2, n.1, p.1-10. (2008).
- ZAKIKHANI, Parnia et al. Extraction and preparation of bamboo fibre-reinforced composites. **Materials & Design**, v. 63, p. 820-828, 2014.
- ZHANG, Hongjie et al. Advances in the Performance and Application of Hemp Fiber. **International Journal of Simulation--Systems, Science & Technology**, v. 17, n. 9, 2016.