



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE
FIBRAS DE BANANEIRA**

Carolina Fonseca e Silva

**Belo Horizonte-MG
2013**



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE
FIBRAS DE BANANEIRA**

Carolina Fonseca e Silva

Monografia apresentada ao Curso de Química Tecnológica do CEFET-MG como parte das exigências da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II).

Orientador: Prof^a. Dr^a. Patrícia Santiago de Oliveira Patrício

Co-orientador: Prof. Lúcio Carlos Magalhães Teixeira

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Patrícia Santiago Patrício (orientadora)

Prof. Lúcio Carlos Magalhães Teixeira (co-orientador)

Prof. Dr. Claudinei Rezende Calado

MSc. Camila Silva Brey Gil

Monografia aprovada em 13 de setembro de 2013

**Belo Horizonte-MG
2013**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por me dar a vida e por sempre iluminar meu caminho.

Aos meus pais, Maria Helena e Luiz, pelo carinho e proteção, tudo devo a vocês.

À minha irmã, Marina, pela amizade e companhia.

Ao meu amado Lucas, pelo amor, pela paciência, pela enorme contribuição e apoio que me deu para a conclusão deste trabalho.

À Patrícia Santiago, pela confiança e paciência na orientação deste trabalho.

Ao Professor Lúcio Magalhães, pela atenção e disponibilidade em providenciar as bananeiras.

Ao Alisson Diniz, pela ajuda na realização das análises.

Aos meus amigos Leonardo, Dani e Ana Elisa, vocês tornaram os dias mais alegres.

Ao pessoal da Geochemical pelo apoio e amizade.

A todos os amigos e familiares que contribuíram para que eu superasse mais este desafio.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Muito Obrigada a todos vocês!!

LISTA DE ABREVIATURAS

FAO – Food and Agriculture Organization

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

nm – nanômetro

Kg – quilograma

cm – centímetro

t – tonelada

°C - Graus Celsius

Å – Angström

µm – micrômetro

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

CEFET – MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

FTIR - Fourier Transform Infrared Spectroscopy

LISTA DE FIGURAS E FLUXOGRAMAS

Figura 1 – Estrutura de uma fibra vegetal.....	4
Figura 2 – Representação da estrutura molecular da celulose.....	4
Figura 3 – Representação da estrutura molecular da hemicelulose.....	5
Figura 4 – Representação da estrutura geral da lignina.....	5
Figura 5 – Tipos de banana.....	7
Figura 6 – Partes da bananeira.....	8
Figura 7 – Pseudocaulos de bananeira.....	9
Figura 8 – Fibras de bananeira.....	9
Figura 9 – Curvas de TG para as fibras de pseudocalue da banana prata, caturra, maçã e ouro.....	18
Figura 10 – Espectro de absorção na região do infravermelho para as fibras de bananeira do tipo maçã, caturra, prata e ouro.....	19
Figura 11 – Imagem do MEV banana (a) prata, (b) ouro, (c) maçã, (d) caturra.....	21

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Resultados de teores de cinza e umidade.....17

Tabela 2 – Perda de massa relativa em cada região de temperatura.....19

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS DE BANANEIRA

SILVA, C. F.; PATRÍCIO, P.S.O.; TEIXEIRA, L. C. M.

A sociedade contemporânea busca soluções sustentáveis para vários aspectos da economia. Esta tendência tem influenciado também a química dos materiais. Neste aspecto, buscou-se avaliar o potencial de fibras provenientes de diferentes tipos de banana para o uso como reforço em materiais poliméricos. Para tal, foram determinadas propriedades destas fibras através de análises termogravimétricas, teores de cinza e umidade, espectroscopia de absorção na região do infravermelho e microscopia eletrônica de varredura.

Os testes realizados apresentaram resultados que permitem inferir que as fibras possuem potencial para serem usadas no reforço da estrutura de materiais. Esta conclusão é obtida devido ao fato destes resultados terem apresentado altos teores de celulose e consideráveis teores de hemicelulose e lignina.

Palavras-chave: testes de caracterização, fibra de bananeira, fibras naturais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVOS.....	02
2.1 Objetivo geral.....	02
2.2 Objetivos específicos.....	02
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
3.1 Fibras.....	03
3.1.1 Fibras de Bananeira.....	06
3.1.1.1 Pseudocaule de bananeira.....	08
3.2 Caracterização de fibras.....	10
3.2.1 Teor de cinzas.....	10
3.2.2 Teor de umidade.....	11
3.2.3 Termogravimetria (TG).....	11
3.2.4 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR).....	13
3.2.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
4.1 Materiais utilizados.....	15
4.2 Métodos.....	15
4.2.1 Teor de cinzas.....	15
4.2.2 Teor de umidade.....	16
4.2.3 Termogravimetria (TG).....	16
4.2.4 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR).....	16
4.2.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5.1 Teores de cinzas e umidade.....	17
5.2 Termogravimetria (TG).....	18
5.3 Espectroscopia no infravermelho (FTIR).....	19
5.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	20
6. CONCLUSÃO.....	22
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1. INTRODUÇÃO

É cada vez mais crescente a busca por materiais mais ambientalmente corretos na sociedade contemporânea, essa busca leva em conta fatores como necessidade, sustentabilidade e impactos que podem refletir na economia, sobre a vida das pessoas e sobre o meio ambiente. Neste aspecto, pesquisas relacionadas com a utilização de materiais biobaseados torna-se um ramo crucial para o desenvolvimento da sociedade.

Uma vertente dos trabalhos atuais é a utilização das fibras naturais na fabricação de compósitos poliméricos, para isto, é de extrema importância o estudo das propriedades físicas e químicas das fibras de interesse.

Muitas variedades de plantas existentes no Brasil já foram utilizadas em pesquisas de materiais biobaseados, tais como o coco (ROSA et. al, 2010), sisal (MORAN et. al, 2008), e bananeira (BARRETO, 2009).

A fibra de bananeira aparece com grande potencial para uso em aplicações diversas. Assim como as demais fibras naturais, elas são de origem renovável, mais econômicas e apresentam baixo impacto ambiental, uma vez que são biodegradáveis e facilmente recicláveis.

Com uma produção atual aproximada de 6,4 milhões de toneladas ao ano, o Brasil é responsável por 8,9% da produção mundial sendo o décimo sexto maior exportador, com 0,7% do total exportado no mundo. Na produção brasileira, 98% destinam-se ao mercado interno para a comercialização da fruta *in natura* e para fins industriais (FAO, 2001).

As variedades de bananas mais difundidas no Brasil são a Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra e D'Angola, utilizadas principalmente para o mercado interno, Nanica (Caturra), Nanicão e Grande Naine, usados principalmente para exportação. Em menor escala são plantadas 'Ouro', 'Figo Cinza', e 'Figo Vermelho' (EMBRAPA,2004). As variedades de banana utilizadas neste trabalho foram Prata, Ouro, Maçã e Caturra, por serem os tipos de bananeira mais abundantes na região de Mocambeiros, Minas Gerais, de onde foram extraídos os pseudocaules para análise.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é o estudo e caracterização das fibras de bananeira de diferentes tipos provenientes da região de Mocambeiros, em Minas Gerais.

2.2 Objetivos específicos

Estudar a composição química das fibras de bananeira através da espectroscopia de absorção na região do infravermelho;

Investigar os teores de umidade e de cinzas das fibras de diferentes espécies de bananeira;

Determinar das propriedades térmicas através da termogravimetria das fibras de bananeira;

Estudar a morfologia das fibras dos diferentes tipos de bananeira por meio da Microscopia eletrônica de varredura;

Os estudos foram realizados com a intenção de encontrar diferenças e semelhanças entre os tipos de bananeira estudados, como forma de contribuir para a avaliação de seu potencial para uso como reforço em compósitos de matriz polimérica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Fibras

Desde os primórdios, os seres humanos utilizam as fibras naturais em suas atividades diárias. Estes materiais possuem uma vasta aplicação, tais como: construção, ferramentas, armas, geração de energia, produtos têxteis, papel, entre outros.

Para a definição do termo fibra pode-se considerar:

Fibra: [Do lat. *fibra*.] *S.f.* 1. Cada uma das estruturas alongadas que, dispostas em feixes, constituem tecidos animais e vegetais e certas substâncias minerais. 2. Qualquer filamento ou fio. [...] (HOLANDA FERREIRA, 1986).

As fibras vegetais são renováveis, degradáveis e não apresentam riscos à saúde. Elas são os elementos que conferem resistência e flexibilidade à estrutura das plantas, sendo algumas delas responsáveis pelo porte ereto das mesmas. São células de esclerênquima, longas, delgadas e constituídas por paredes secundárias espessas, que se depositam sobre as paredes primárias depois destas terem completado o seu processo de crescimento em extensão (ROMÃO, 2003).

De acordo com JAYARAMAN (2003), as fibras vegetais podem ser consideradas compósitos de fibras de celulose mantidas coesas por uma matriz constituída de lignina e hemicelulose, cuja função é agir como barreira natural à degradação microbiana e servir como proteção mecânica. Suas características estruturais estão relacionadas à natureza da celulose e à sua cristalinidade. Entende-se por cristalinidade o grau de ordenação das cadeias de celulose e influenciam diretamente nas características de resistência mecânica das plantas (SILVA, 2009).

Segundo CHERTMAN (2007), as fibras vegetais são compostas basicamente por: celulose, hemicelulose e lignina. A celulose corresponde a aproximadamente 50% da composição química do material orgânico da madeira, é o principal componente da parede celular das fibras. É um polissacarídeo linear composto por um único tipo de monômero, a D-Glicose. As hemiceluloses são polissacarídeos ramificados de cadeias curtas e baixa massa molecular, compostas por vários tipos de unidades de açúcar. Elas correspondem a aproximadamente 20% da matéria orgânica

da madeira, o termo hemicelulose não refere-se a um composto químico e sim a uma classe de polímeros, sendo que em cada qual temos no mínimo dois tipos de unidades de açúcar. A lignina pode variar de 10 a 35% é um polímero de composição química complexa, que confere rigidez às paredes das células dos vegetais, gerando uma estrutura resistente a impactos. Nas Figuras 1, 2, 3 e 4 encontram-se, respectivamente, a estrutura de uma fibra vegetal, representação da estrutura molecular da celulose, representação da estrutura molecular da hemicelulose e representação da estrutura geral da lignina.

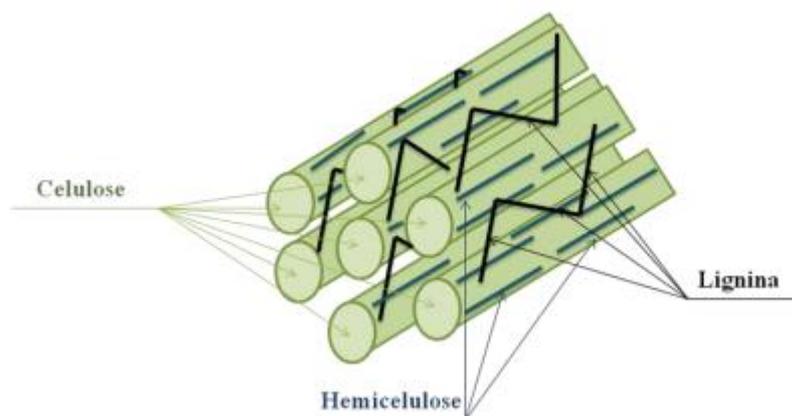


Figura 1 – Estrutura de uma fibra vegetal

Fonte: GONÇALVES FILHO, 2011.

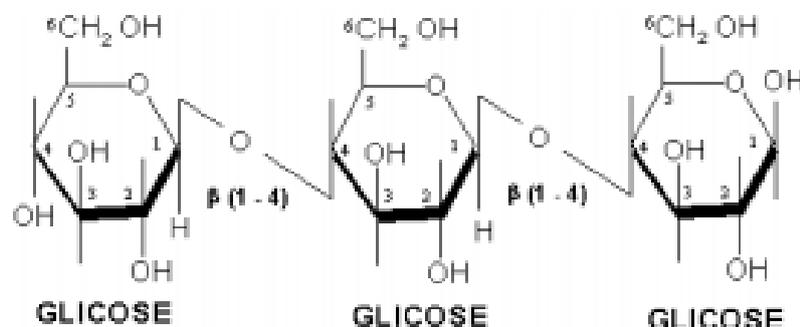
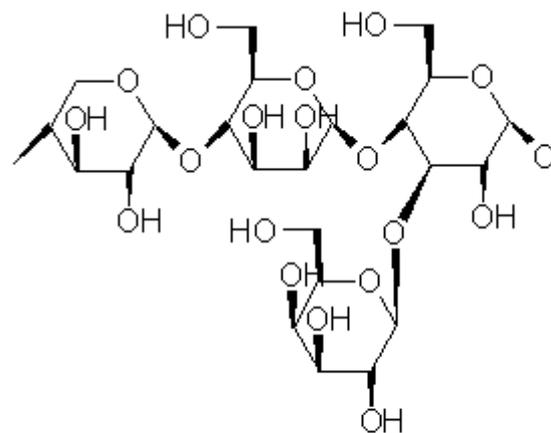


Figura 2 – Representação da estrutura molecular da celulose.

Fonte: GONÇALVES FILHO, 2011.



- Xylose - $\beta(1,4)$ - Mannose - $\beta(1,4)$ - Glucose -
 - $\alpha(1,3)$ - Galactose

Figura 3 – Representação da estrutura molecular da Hemicelulose.

Fonte: www.en.wikipedia.org/wiki/Hemicellulose.com (Acesso em: 20/08/2013)

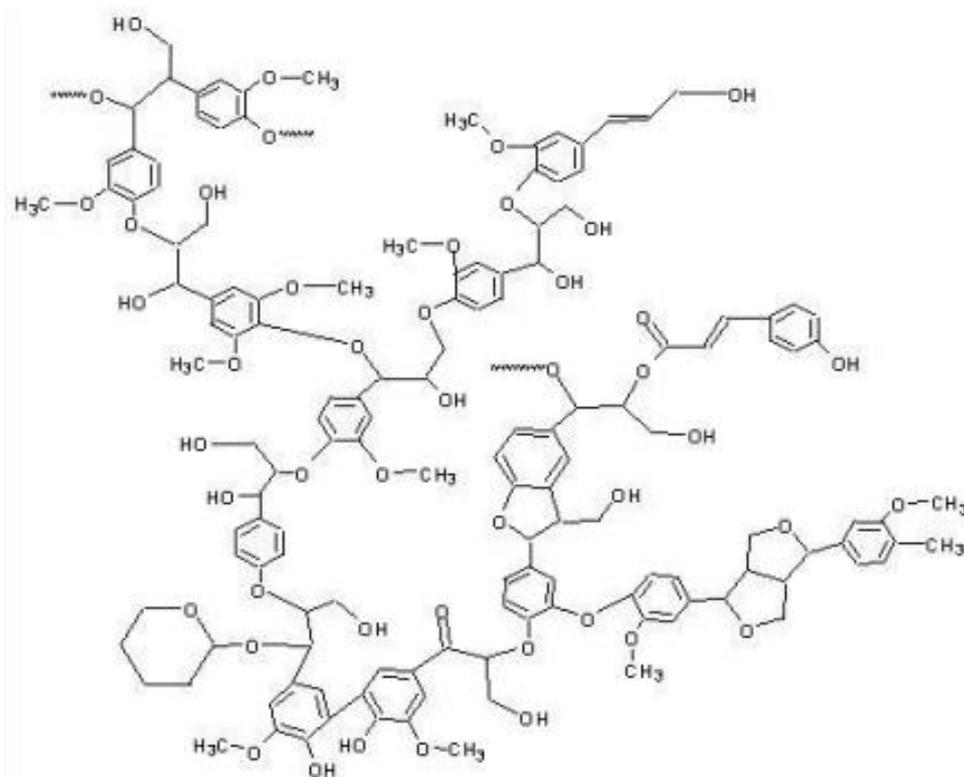


Figura 4 – Representação da estrutura geral da lignina.

Fonte: GONÇALVES FILHO, 2011.

As fibras naturais na atualidade podem ser usadas para a formulação de materiais compósitos de matriz cerâmica, polimérica ou metálica, para aplicações que vão da construção civil à indústria aeronáutica (DEMARCHI, 2010). Entretanto, são relativamente mais difíceis de se misturar com alguns materiais poliméricos convencionais, devido à sua interação molecular com essa matriz. As fibras são capazes de absorver água e possuem baixa resistência térmica.

A nanotecnologia (manipulação de materiais com pelo menos uma dimensão de 100 nm ou menor) e a nanociência (ciência que estuda propriedades da matéria nas mesmas condições) podem ser aplicadas para solucionar esses problemas (KAMEL, 2007).

BALZER et. al. (2007) mostra a utilização de fibras do pseudocaule da bananeira como reforço em materiais termoplásticos, ao avaliarem as propriedades de um composto de PVC reforçado com estas fibras. Os resultados obtidos foram satisfatórios mostrando que a incorporação de fibras de bananeira ao PVC aumentou a resistência do material à tração, discreta redução no alongamento na ruptura e aumento da resistência ao impacto.

O trabalho de SAVASTANO et. al. (2005) apresenta a caracterização da microestrutura e das propriedades mecânicas de cimentos reforçados com fibras naturais, incluindo a fibra da bananeira, os resultados indicam melhor performance para os cimentos que utilizam fibras naturais como reforço em sua estrutura.

POTHAN et. al. (2006) mostra a necessidade de uma melhor compreensão acerca da interação química entre as fibras naturais e as diferentes opções de matrizes poliméricas. Tal interação pode ser incrementada pela aplicação de tratamentos químicos às fibras, bem como, por diferentes formulações para matrizes.

3.1.1 Fibras de Bananeira

A bananeira é uma planta tropical muito cultivada em favor do consumo de seu fruto, que pode ser consumido verde ou maduro, cru ou processado.

A banana é uma das frutas mais importantes do mundo, tanto no que se refere à produção quanto à comercialização. Para muitos países, além de

ser um alimento complementar da dieta da população, a banana apresenta grande relevância social e econômica, servindo como fonte de renda para muitas famílias de agricultores, gerando postos de trabalho no campo e na cidade e contribuindo para o desenvolvimento das regiões envolvidas em sua produção. Para outros países, a banana é um produto de exportação responsável por uma parte muito significativa dos ingressos relativos à exportação agrícola (FIORAVANÇO, 2003).

Em 2005, a banana foi a fruta mais produzida no mundo com a quantidade de 105.699.014 toneladas. Os cinco principais países produtores são Índia, com 17 milhões de toneladas, Brasil, com 6,7 milhões, China, com 6,4 milhões, Equador, com 5,9 milhões, e Filipinas, com 5,8 milhões de toneladas (FAO, 2006).

A bananeira pertence ao gênero *Musa*, da família *Musaceae*, a qual engloba mais de 30 espécies distintas e pelo menos 100 subespécies. Alguns frutos representativos dos tipos de bananeiras estão representados na Figura 5.

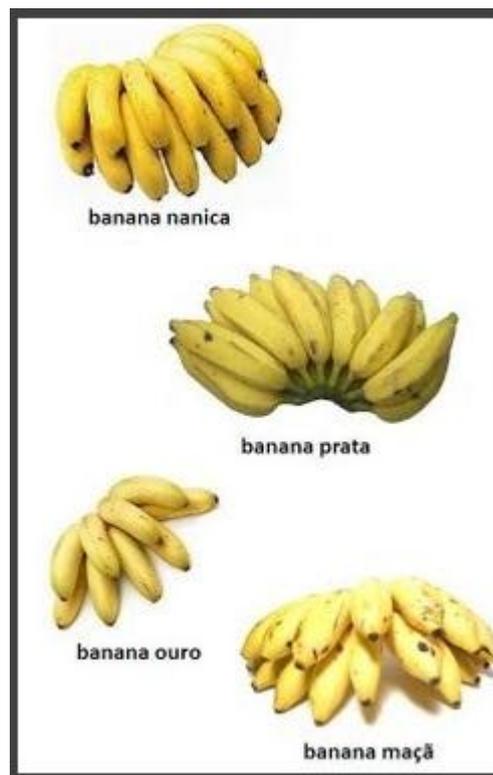


Figura 5 – Tipos de banana

Fonte: www.vitaminasdebananas.blogspot.com.br (Acesso: 25/06/2013)

A bananeira é composta por raiz, rizoma, pseudocaule, bainha foliar, folhas e cacho. O cacho é composto por engaço, ráquis, pencas de bananas e botão floral ou "coração" (GONÇALVES FILHO, 2011). A Figura 6 representa uma ilustração das partes da bananeira.

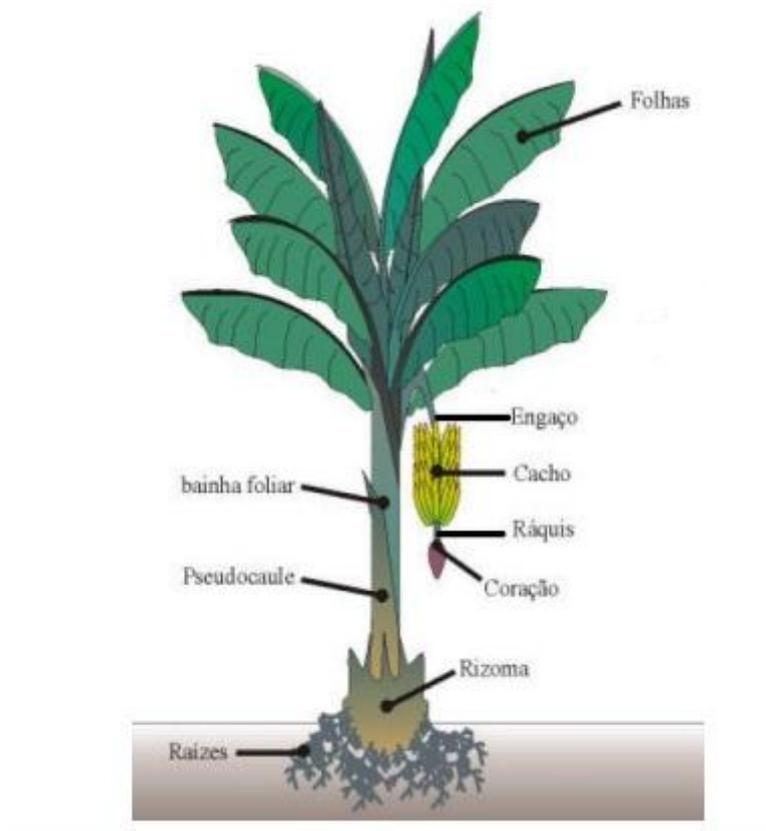


Figura 6 – Partes da bananeira

Fonte: SOFFNER, 2001.

3.1.1.1 Pseudocaule de bananeira

Frequentemente chamado de tronco, o pseudocaule da bananeira é formado por superposições das folhas em forma helicoidal. Cada pseudocaule dá uma só inflorescência o que gera um só cacho, que após a colheita é cortado. Possui forma cilíndrica, reta, rígida, podendo chegar até 6 ou 8 metros de altura. Seu diâmetro na base varia de 10 a 50 cm, medidos a 30 cm do solo. O diâmetro na extremidade superior, em geral, equivale a apenas 80% das dimensões da base e seu peso e pode oscilar de 10 a 100 Kg (COELHO, 2001).

Quando comparadas as fibras tradicionais, como o sisal, as fibras provenientes de partes como pseudocaule e folhas de bananeira apresentam maior facilidade de manipulação, pois são constituídas de feixes de fibras que podem ser desfiadas através de um processo mecânico simples e de baixo custo. Na Figura 7 observa-se um pseudocaule de bananeira e a Figura 8 mostra as fibras obtidas de uma bananeira.



Figura 7 – Pseudocaule de bananeira

Fonte: DEMARCHI, 2010.



Figura 8 – Fibras de bananeira

Fonte: BALZER et. al, 2007.

Após a colheita da banana ocorre a geração de resíduos, uma vez que um pseudocaule irá produzir frutos uma única vez. Os três resíduos vegetais formados são o engaço, o pseudocaule e as folhas.

De acordo com GONÇALVES FILHO (2011), para cada tonelada de bananas colhidas, 100 Kg do fruto são rejeitados e aproximadamente 4 t de resíduos lignocelulósicos são gerados, sendo 3 t de pseudocaule, 160 kg de engaços, 480 kg de folhas e 440 kg de cascas.

Os pseudocaules da bananeira são cortados e descartados após a retirada dos cachos, a degradação desse material orgânico leva à geração de dióxido de carbono e gás metano (GONÇALVES FILHO, 2011). Outro fator complicador é o crescimento de pragas, o pseudocaule pode proliferar fungos com difícil controle de tratamento, devido à alta umidade incidente nas plantações (BALZER et. al, 2007). Caso os resíduos gerados na colheita permaneçam na área plantada ocorre o crescimento de um inseto popularmente conhecido como broca (*Cosmopolites sordidus*), que se alimenta dos restos das bananeiras, podendo devastar o plantio, caso se prolifere (CHERTMAN, 2007).

Portanto, a utilização das fibras de banana no desenvolvimento de compósitos promove, além de uma melhoria nas características dos materiais obtidos, uma inteligente solução ambiental para os problemas derivados dos rejeitos da plantação.

Os tipos de bananas comestíveis apresentam-se muito semelhantes, diferindo em nível genético. Em seu trabalho SOUZA (2002), estudou as variações de bananas existentes através de diferenciação genética e obteve resultados que permitem discriminar os cultivares, o que pode auxiliar na proteção de plantações.

3.2 Caracterização de fibras

A caracterização de fibras é muito importante para a escolha de qual será o uso tecnológico da mesma. Alguns métodos de caracterização são:

3.2.1 Teor de Cinzas

As cinzas são constituídas quimicamente por óxidos inorgânicos contendo K, Ca, Mg, sulfatos, fosfatos, silicatos e carbonatos em menor quantidade, em sua composição química.

O teor de cinzas é o teste que possibilita a obtenção de valores de teor de matéria inorgânica presente em um material.

A matéria orgânica presente no material é completamente queimada e é feita uma correlação entre a massa das cinzas restantes e a massa inicial da amostra. Desta correlação matemática é possível obter o valor percentual de cinzas em uma amostra como é possível observar-se a seguir.

$$\text{Teor de cinzas} = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

Onde W_1 e W_2 são o a massa das cinzas e a massa da amostra respectivamente.

O conhecimento do teor de matéria inorgânica presente em uma amostra pode auxiliar no estudo de suas características e das interações químicas entre os grupamentos presentes nas estruturas das fibras.

3.2.2 Teor de Umidade

O teor de umidade é utilizado para obter o teor de água de hidratação presente em uma amostra. Compreender o conteúdo de umidade é importante para projetar e controlar conversões termoquímicos processos e controlar a qualidade final dos produtos (BELLURET, et. al, 2009).

A amostra é aquecida em estufa, até o registro de massa constante. O teor de umidade é obtido através da subtração da massa inicial pela final e transformado em porcentagem segundo a seguinte fórmula.

$$\text{Teor de umidade} = \frac{W_2 - W_1}{W_2} (100)$$

Onde W_1 e W_2 são massa da amostra úmida e massa da amostra seca, respectivamente.

O teor de umidade em uma fibra pode interferir em suas propriedades físico-químicas, uma vez que a presença da molécula de água ocasiona diferenças nas interações químicas entre as moléculas das fibras.

3.2.3 Termogravimetria (TG)

A Termogravimetria (TG) é uma técnica termoanalítica na qual a variação de massa de uma amostra é medida em função da temperatura, enquanto esta é submetida a uma programação controlada de variação em uma atmosfera específica (RODRIGUES et. al, 2012).

Nos experimentos, a amostra é submetida a uma rampa de temperatura controlada, previamente programada. A temperatura do forno aumenta de acordo com a taxa de aquecimento estabelecida, possibilitando a análise do comportamento do material quando sujeito a diversas temperaturas na faixa de interesse (CASTELLÓ, 2009).

Esta técnica é muito utilizada para caracterização do perfil de degradação de diversos materiais, principalmente polímeros. A exposição a temperaturas elevadas pode alterar a estrutura química, graças à ruptura ou formação de ligações, levando a mudanças nas propriedades físicas e químicas e variações de massa. Assim, a curva de degradação térmica, em condições não isotérmicas, mostra o perfil de resistência ou estabilidade térmica que o material apresenta quando submetido a uma variação programada de temperatura (RIBEIRO, 2009).

A estabilidade térmica é definida como a capacidade do material, durante um processamento térmico, de manter suas propriedades o mais próximo possível de suas características originais. Com isso, necessita ser considerada em termos do ambiente imposto à substância e das funções que ela executar (RIBEIRO, 2009).

Os equipamentos utilizados nas análises termogravimétricas variam de acordo com a sensibilidade, precisão, exatidão e qualidade. Podem ser descritos, basicamente, como um acoplamento de um forno, onde fica o cadinho no qual a amostra é colocada, e que através de um suporte ou sistema de suspensão, é acoplado a uma balança que irá medir a massa (CASTELLÓ, 2009).

O resultado da análise termogravimétrica, em geral, é representado por uma curva, na qual a abcissa contém os registros de temperatura (ou de tempo) e a ordenada, o percentual de massa ganho ou perdido. A curva termogravimétrica derivativa (DTG) é obtida a partir da curva de TG, derivando-se a variação de massa em relação ao tempo e à temperatura (LUCAS, 2001).

As curvas de TG e DTG podem ser apresentadas em um mesmo diagrama, de modo a facilitar as comparações e as determinações dos pontos de interesse (CASTELLÓ, 2009).

PEREIRA, et. al. (2010), utilizou a termogravimetria em seu trabalho para verificar o comportamento das fibras diante de um aumento progressivo de

temperatura e também caracterizou sua composição química através da curva termogravimétrica.

3.2.4 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR)

A espectroscopia na região do infravermelho (IR) é uma técnica de inestimável importância na análise orgânica qualitativa, sendo amplamente utilizada nas áreas de química de produtos naturais, síntese e transformações orgânicas (LOPES et. al, 2004). Essa técnica também pode ser usada para obter informações quantitativas em relação à estrutura química dos materiais, se realizados os procedimentos experimentais adequados.

No espectro eletromagnético, a radiação infravermelha corresponde à parte entre as regiões do visível e das micro-ondas. No estudo dos grupos funcionais orgânicos os comprimentos de onda de maior utilidade estão entre 4000 e 400 cm^{-1} .

A radiação infravermelha interage com moléculas e átomos gerando vibrações que são características de cada ligação ou grupo de átomos, dessa forma a espectroscopia no infravermelho é capaz de evidenciar a presença de vários grupos funcionais na estrutura orgânica.

Nas moléculas orgânicas as ligações covalentes estão em constantes movimentos axiais e angulares. Em contato com a radiação infravermelha átomos e grupos de átomos de compostos orgânicos vibram com amplitude aumentada ao redor das ligações covalentes que os ligam. Apesar de o processo ser quantizado, o espectro vibracional aparece como uma série de bandas. Elas ocorrem devido ao fato de que cada mudança de nível de energia vibracional corresponder a outras mudanças de níveis de energia rotacional. Por esse motivo, as linhas se sobrepõem, originando as bandas presentes no espectro. As posições das bandas no espectro são apresentadas em número de onda e como unidade utiliza-se o centímetro inverso (cm^{-1}).

A radiação no infravermelho fornece energia da ordem de 2 a 15 Kcal. As vibrações moleculares podem ser de dois tipos: deformações axiais e deformações angulares. Deformações que ocorrem na direção do eixo da molécula fazendo com que a distância interatômica aumente e diminua alternadamente são denominadas estiramento ou deformação axial. O

movimento de um grupo de átomos em relação ao resto da molécula, sem que as posições relativas dos átomos do grupo se alterem, é chamado deformação angular. Essas deformações podem ser ainda deformações angulares simétricas e assimétricas no plano e deformações angulares simétricas e assimétricas fora do plano.

É possível analisar uma infinidade de compostos orgânicos através das informações fornecidas pelos espectros infravermelhos. As fibras vegetais podem ter sua estrutura avaliada pelas bandas de absorção quando submetidas a esse tipo de ensaio.

3.2.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um instrumento usado frequentemente para a análise micro estrutural de materiais sólidos.

O aumento de ampliação máximo conseguido pelo MEV fica entre o microscópio ótico (MO) e o Microscópio Eletrônico de Transmissão (MET). Em relação ao microscópio ótico o MEV apresenta a vantagem de possuir alta resolução, na ordem de 2 a 5 nm (20 - 50 Å), enquanto que no ótico é de 0,5 µm. Quando comparado ao MET a grande vantagem do MEV está na facilidade de preparação das amostras.

Não somente estas características fazem do MEV uma ferramenta muito importante e muito usada na análise dos materiais. A elevada profundidade de foco e a possibilidade de combinar a análise micro estrutural com a microanálise química são fatores que contribuem para o amplo uso desta técnica. O microscópio eletrônico de varredura também possibilitou o avanço da observação e análise de fratura.

O princípio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) consiste em utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície da amostra. Através de um sistema de bobinas de deflexão, o feixe pode ser guiado de modo a varrer a superfície da amostra segundo uma malha retangular. O sinal de imagem resulta da interação do feixe incidente com a superfície da amostra. O sinal recolhido pelo detector é utilizado para modular o brilho do monitor, permitindo a observação (DEDAVID, 2007).

Para serem detectadas, as partículas e/ou os raios eletromagnéticos resultantes da interação do feixe eletrônico com a amostra devem retornar à superfície da amostra e daí atingirem o detector. A imagem formada a

partir do sinal captado na varredura eletrônica de uma superfície pode apresentar diferentes características, uma vez que a imagem resulta da amplificação de um sinal obtido de uma interação entre o feixe eletrônico e o material da amostra (DEDAVID, 2007).

O uso da microscopia eletrônica de varredura auxilia no estudo das fibras naturais uma vez que possibilita a visualização detalhada de sua estrutura o que pode revelar peculiaridades na morfologia destes materiais.

No trabalho de DEMARCHI (2010), foi realizado o estudo da absorção de ondas sonoras pelas fibras de bananeira a microscopia eletrônica de varredura foi usada para determinar algumas medidas no intuito de se caracterizar os vãos, entre as fibras, por onde o som permeia ele constatou que as dimensões levantadas são bastante diversificadas, característica que favorece a questão da absorção.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados para a realização de todos os testes foram as fibras provenientes de pseudocaulis de bananeiras da região de Mocambeiros, Minas Gerais. O único tratamento dado as fibras foi a secagem em estufa a 40°C (por aproximadamente 10 horas) antes da realização dos testes.

4.2 Métodos

4.2.1 Teor de Cinzas

A determinação do teor de cinzas presentes nas fibras de bananeira estudadas foi realizada no Laboratório de Análise Química do CEFET-MG. Seguiu-se a as especificações da norma TAPPI T 413 om -11 para a realização do ensaio (norma anexa).

Foram separados quatro cadinhos de porcelana, devidamente identificados (um para cada tipo de banana), e posteriormente pesados. Após, colocou-se nos cadinhos uma massa próxima a 0,5g de fibra, mediu-se novamente a massa dos cadinhos agora já com as respectivas fibras.

Os cadinhos foram colocados em estufa a 900 °C, durante cinco horas. Após este período foi medida novamente a massa dos cadinhos, que neste momento continham apenas as cinzas, e posteriormente foi realizado o cálculo seguindo a norma TAPPI T 413 om -11, para a obtenção dos valores percentuais de cinzas.

4.2.2 Teor de Umidade

O teor de umidade presentes nas fibras, após a secagem do pseudocaule, foi realizado no CEFET-MG no laboratório de Análise Química. Para a realização do ensaio foi utilizada como base a norma TAPPI T 550 om-03.

Foi medida a massa dos recipientes vazios e depois dos recipientes com amostras (fibras) até a obtenção de massa constante, para isso foram realizadas 3 medidas de massa.

As fibras foram secas em estufa à temperatura de 200 °C, durante 4 horas.

4.2.3 Termogravimetria (TG)

A análise por termogravimetria foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais do Departamento de Química do CEFET-MG. Utilizou-se o equipamento TG/TGA 60 da marca Shimadzu e o protocolo de medida foi o aquecimento da temperatura ambiente até 600°C, com rampa de aquecimento de 10°C/min sob atmosfera de nitrogênio.

4.2.4 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR)

A análise espectrométrica na região do infravermelho foi também realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais do Departamento de Química o equipamento utilizado foi da marca Shimadzu modelo IR Prestige 21 acoplado com acessório ART. A faixa de número de onda considerada para análise foi de 4000 a 400 cm^{-1} , foram efetuados 60 scans e a resolução usada foi de 4 cm^{-1} .

4.2.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no Departamento de Engenharia de Materiais do CEFET-MG. Foram realizadas imagens com várias ampliações para a análise da estrutura das fibras de bananeira. O equipamento utilizado é da marca Shimadzu.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teores de cinzas e umidade

Baseando-se nas normas TAPPI T 413 om -11 para teor de cinzas e TAPPI T 550 om-03 para teor de umidade, os dados obtidos para os testes de teor para os quatro tipos de banana estudados estão relacionados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados de teores de cinzas e umidade.

Nome Científico	Tipo de Banana (Cultivar)	Teor de cinzas	Teor de umidade
<i>Musa spp.</i>	Caturra	5,10%	13,3%
<i>Musa spp.</i>	Maçã	3,62%	15,1%
<i>Musa spp.</i>	Ouro	3,92%	13,4%
<i>Musa spp.</i>	Prata	2,63%	10,6%

Com os dados fornecidos pela Tabela 1 é possível observar alterações nos valores dos teores de cinzas e umidade dos diferentes tipos de fibras.

A fibra da banana maçã apresenta o maior valor de teor de umidade.

A fibra de banana caturra apresenta maior teor de cinzas, este fator mostra que este tipo de banana possui maior quantidade de matéria inorgânica que as outras bananas estudadas.

Alguns fatores podem afetar o teor de cinzas: tipo de lignocelulose, origem do material residual, o tipo de solo, o tamanho e idade da árvore e até mesmo a técnica utilizada na colheita (ANGLÈS et. al, 1996).

O teor de umidade médio das fibras de banana utilizadas neste trabalho é de 13,1%, este valor está coerente com os valores reportados na literatura, em torno de 10% (GASSAN et. al, 1999; DE PAULA et. al, 1996).

O teor de cinzas médio é de 3,8% também está próximo aos valores encontrados na literatura para os materiais lignocelulósicos (LI et. al, 2000; SYDENSTRICKER et al., 2003).

5.2 Termogravimetria (TG)

Os resultados da análise termogravimétrica para as fibras analisadas podem ser observados na Figura 9.

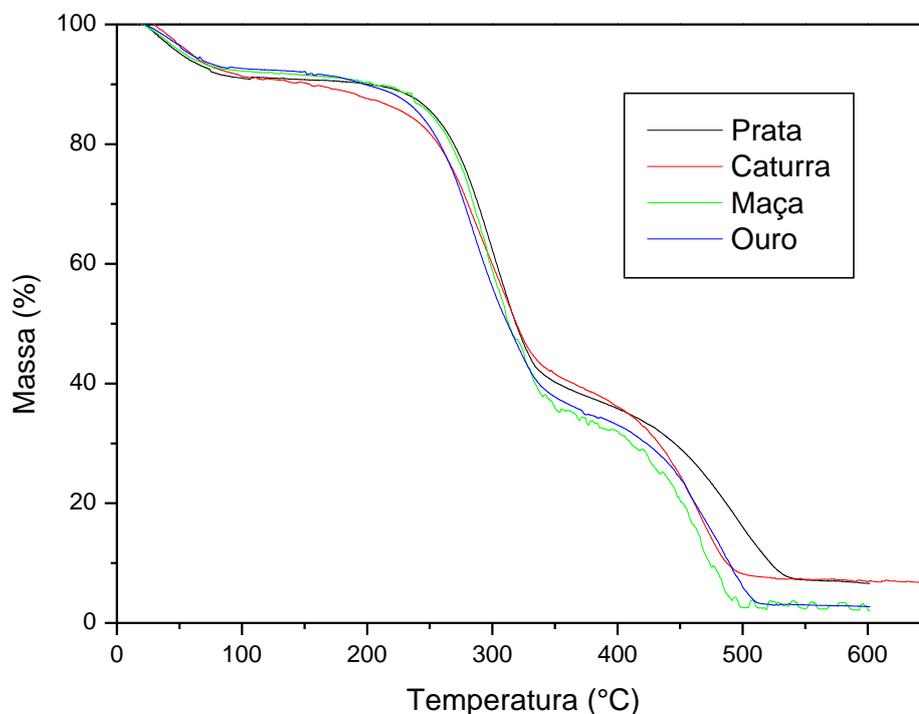


Figura 9 – Curvas de TG para as fibras de pseudocaule da banana prata, caturra, maçã e ouro.

Os dados obtidos através da curva de TG mostram três regiões de perda de massa, a primeira até 108 °C, em torno de 10% de perda de massa, pode ser atribuída à evaporação da água absorvida (umidade). A segunda região de 230-339 °C, com perdas em torno de 60%, são referentes à degradação da celulose e hemicelulose (YANG et. al, 2007). A terceira região com decomposição que ocorre de 413-507 °C mostra perdas de 15% em massa é relacionada à degradação da lignina.

Os resultados encontrados para a análise termogravimétrica são condizentes com os valores segundo DEKKER (1985), as porcentagens desses componentes na maioria das fibras vegetais podem variar de 40 a 50% m/m para a celulose, 15 a 30% m/m para a hemicelulose e 10 a

30%*m/m* para a lignina. A Tabela 2 relaciona as perdas de massa em cada região de temperatura para os tipos de fibras estudados.

Tabela 2: Perda de massa relativa em cada região de temperatura.

Tipo de Bananeira (Cultivar)							
Caturra		Maçã		Ouro		Prata	
Faixa de Temp. (°C)	Perda de massa (%)	Faixa de Temp. (°C)	Perda de massa (%)	Faixa de Temp. (°C)	Perda de massa (%)	Faixa de Temp. (°C)	Perda de massa (%)
90 °C	10%	108 °C	9%	104 °C	9%	104 °C	10%
230-338 °C	55%	251-339 °C	56%	242-327 °C	56%	259-335 °C	52%
413-490 °C	36%	422-495 °C	21%	414-507 °C	20%	422-532 °C	20%

5.3 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR)

Os resultados da análise da absorção na região do infravermelho podem ser observados na Figura 10.

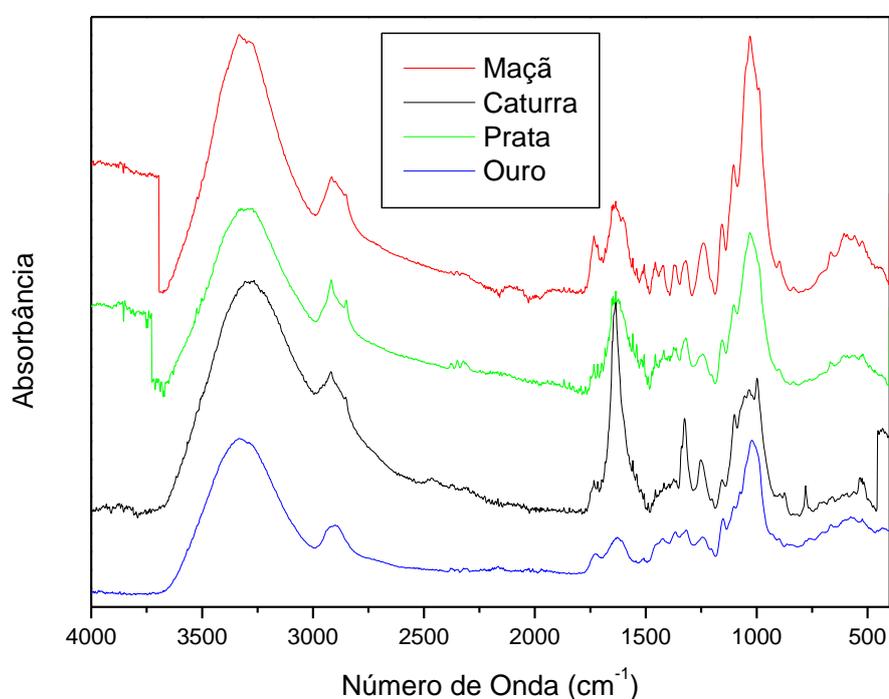


Figura 10 – Espectro de absorção na região do infravermelho para as fibras de bananeira do tipo maçã, caturra, prata e ouro.

O perfil dos espectros de FTIR das fibras de bananeira é muito semelhante, diferindo apenas para a espécie caturra. As bandas de absorção típicas de grupos funcionais foram observadas nos espectros de todas as amostras. A região entre 3.700 a 2.700 cm^{-1} apresentaram bandas de absorbância associadas às vibrações de estiramento dos grupos O-H (cerca de 3.700-2.990 cm^{-1}) e os grupos C-H (cerca de 2.990-2.700 cm^{-1}) na estrutura das fibras. Grupos O-H estão presentes na celulose, hemicelulose, lignina e água adsorvida (MOTHÉ E MIRANDA, 2009).

A região do espectro entre 1800 e 1680 cm^{-1} corresponde às bandas de absorção dos grupos carbonila presentes nas estruturas da hemicelulose e lignina. Vibrações de estiramento dos grupos C=C de anéis de benzeno (em torno de 1.649 cm^{-1}) e no esqueleto aromático (cerca de 1.595 cm^{-1}) indicam a presença de lignina (MORÁN et al, 2008). A comparação das intensidades relativas das bandas em aproximadamente 1649 cm^{-1} e 1160 cm^{-1} , mostrou-se diferente para as fibras de bananeira. A intensidade da primeira banda é maior para todas as fibras, com exceção da de banana caturra. Isso indica que o teor de lignina é maior nessa fibra.

As bandas de absorção em aproximadamente 1.236 cm^{-1} são atribuídas aos grupos de C-O-C funcionais presentes nas estruturas de celulose, e aqueles em cerca de 1.160 cm^{-1} estão associados com as deformações assimétricas de C-O-C em celulose e hemicelulose. As bandas observadas no espectro de fibra de banana, na região de 1.100-800 cm^{-1} são atribuídas à sobreposição das vibrações de estiramento do grupo C-O em celulose e lignina e deformações no plano dos grupos aromáticos C-H da lignina.

5.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

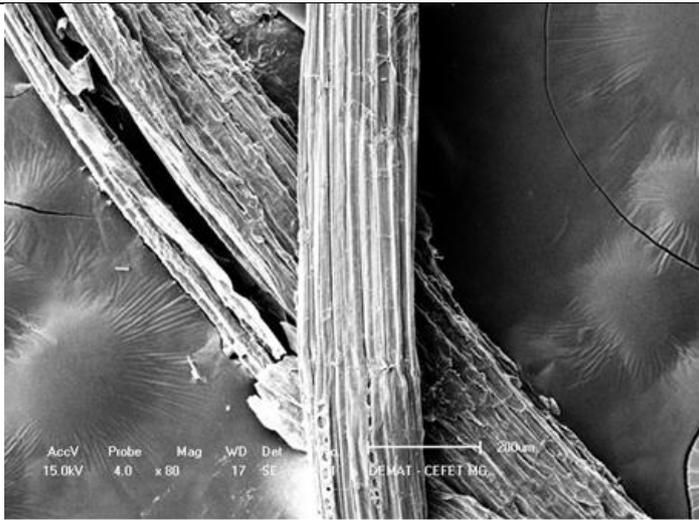
A análise das fibras através da Microscopia Eletrônica de Varredura possibilitou a obtenção das imagens apresentadas na Figura 11.

As imagens do MEV mostram semelhanças na morfologia das fibras. Em todas as imagens é possível observar os feixes de fibras.

Os pseudocaulos das bananeiras estudadas apresentaram algumas diferenças estruturais que puderam ser observadas no momento em que as fibras eram retiradas para a realização das análises. Dentre os pseudocaulos trabalhados o da banana prata apresentou maior diâmetro, e possuindo a estrutura mais rígida, já o pseudocaulo da banana maçã

apresentou o menor diâmetro e a estrutura mais frágil. Os aspectos dos pseudocaules das bananas ouro e caturra eram bastante semelhantes e estavam em diâmetro intermediário entre a banana prata e maçã.

DEMARCHI (2010), concluiu através de imagens de microscopia eletrônica de varredura que os elementos que compõem os pseudocaules da bananeira se repetem em várias escalas, por várias vezes e em tamanhos diferentes, dando uma ideia de estrutura polimérica. Esta observação também pode ser feita quando se analisa as imagens da Figura 11.



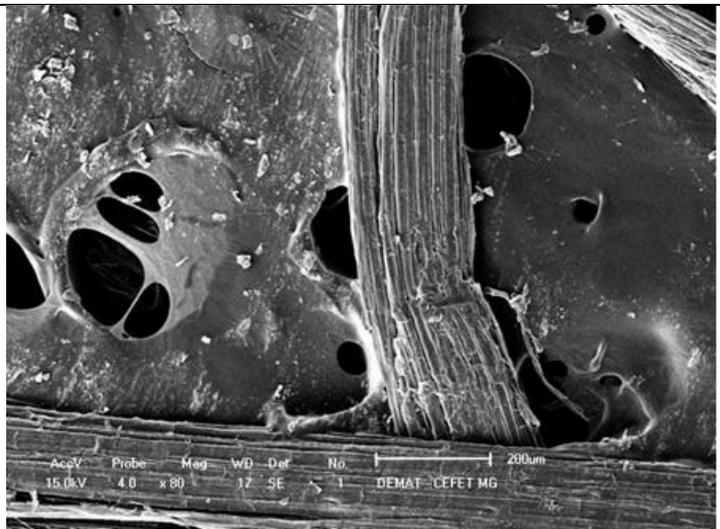
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 11 – Imagem do MEV banana (a) prata, (b) ouro, (c) maçã, (d) caturra.

6. CONCLUSÃO

As análises de teor de umidade e teor de cinzas mostram que as fibras de banana, possuem uma quantidade considerável de matéria inorgânica e água de hidratação, valores estes que são capazes de influenciar as propriedades das ligações químicas entre as estruturas das fibras e matrizes poliméricas.

A Análise Termogravimétrica mostrou as temperaturas de degradação que podem ser relacionadas às estruturas da celulose, hemicelulose e lignina.

A Análise de Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho mostrou estiramentos e deformações dos principais grupos funcionais presentes na celulose, na hemicelulose e na lignina, revelando novamente a predominância destas estruturas nas fibras. Mostrou ainda que as fibras provenientes da banana caturra possuem uma pequena elevação na quantidade de lignina quando comparada aos outros tipos estudados. Este fato pode garantir a esta fibra maior resistência e estabilidade mecânica.

A análise das imagens do MEV mostraram semelhanças nos perfis morfológicos das fibras, todas as imagens apresentam estruturas de celulose unidas formando um feixe de fibras. Considerando-se os resultados obtidos, as fibras de banana dos tipos estudados, apresentam-se com forte potencial para uso em novos materiais biobasedos, pois possuem estruturas que podem reforçar compósitos de matriz polimérica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 544. **State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI 544. 1R-82)**. Detroit. 22p. 1986.
- ANGLÈS, M. N.; REGUANT, J.; MARTINEZ, J. M.; FARRIOL, X.; MONTANÉ, D.; SALVADÓ, J. **Influence of the ash fraction on the mass balance during the summative analysis of high-ash content lignocellulosics**. Bioresource Technology. V.59, 185-193, 1997.
- BALZER, P. S.; VICENTE, L. L.; BRIESEMEISTER, R.; BECKER, D.; SOLDI, V.; JUNIOR, A. R.; FELTRAN, M. B. Estudo das propriedades mecânicas de um composto de PVC modificado com fibras de bananeira. **Polímeros**. v.17, n.1, p. 1-4, 2007.
- BARRETO, A. C. H. **Modificações químicas em fibras lignocelulósicas para aplicação na elaboração de biocompósitos de matriz fenólica derivada do LCCe na biossorção de metais**. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- BELLUR, S.R.; CORONELLA, C.J.; VASQUEZ, V.R. **Analysis of biosolids equilibrium moisture and drying**. Environmental Progress and Sustainable Energy 28 (2), 291–298. 2009.
- CASTELLÓ, M. L. **Estudo da glicerina por análises térmicas**. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologias de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- CHERTMAN, M. **Secagem de papel produzido a partir do pseudocaule de bananeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

- COELHO, R.R.P.; MATA, M.E.R.M.; BRAGA, M.E.D. **Alterações dos componentes nutricionais do pseudocaule da bananeira visando sua transformação em palmito** – Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.3, n.1, 2001.
- DE PAULA, C. M. S. S.; BITTENCOURT, E.; SILVA, J. L. G.; AMICO, S. C. **Influência do tratamento químico em fibras de sisal**. XII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, p. 1214 – 1217, 1996.
- DEAVID, B.A., GOMES, C. I.; MACHADO, G.; **Microscopia eletrônica de varredura: Aplicações e preparação de amostras**. IDEA PUCRS. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br>> Acesso em 18 de maio de 2013.
- DEKKER, R.F.H. **Biodegradation of the hemicelluloses**. In: Higuchi, T. (Ed.) Biosynthesis and biodegradation of wood components. Tokyo: Academic Press, p. 505-533, 1985.
- DEMARCHI, C. A. **Aplicabilidade de placas de fibra de bananeira: Produção, caracterização e absorção sonora**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.
- EMBRAPA. **O cultivo da bananeira**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. 279p. Cruz das Almas, Bahia, 2004.
- FIORAVANÇO, J.C.; **Mercado mundial da Banana: Produção, comércio e participação brasileira**. Informações econômicas, v. 33, nº10, São Paulo, 2003.
- GASSAN, J.; BLEDZKI, A.K. **Composites reinforced with cellulose based fibres**. Progress in Polymer Science, v. 24, p. 221 – 274, 1999.
- GONÇALVES FILHO, L. C. G. **Utilização do pseudocaule de bananeira como substrato da fermentação alcoólica: avaliação de diferentes processos de despolimerização**. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2011.

- HOLANDA FERREIRA, Aurélio Buarque de. **Novo dicionário Aurélio**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.
- KAMEL, S. **Nanotechnology and its applications in lignocellulosic composites: A Mini Review**. EXPRESS Polymer Letters, v.1, n.9, p. 546–575, 2007.
- LI, Y.; MAI, YIU-WING; YE, LIN. **Sisal fibre and its composites: a review of recent developments**. Composites Science and Technology. v. 60, p. 2037 – 2055. 2000.
- LOPES, W.A., FASCIO, M.; **Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho**. Química Nova, Vol.27, Nº 4, 670-673, 2004.
- LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. **Caracterização de Polímeros: Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica**. Rio de Janeiro: E-papers, 2001.
- MORAN, J.I.; ALVAREZ, V.A.; CYRAS, V.P.; VÁZQUEZ, A. **Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers**. Cellulose, v. 15, p. 149–159, 2008.
- MOTHÉ, C.G.; MIRANDA, I.C. **Characterization of sugarcane and coconut fibers by thermal analysis and FTIR**. Journal Thermal Analysis Calorimetry 97, 661–665. 2009.
- PEREIRA, A. L. S.; CORDEIRO, E. M. S.; NASCIMENTO, D. M.; MORAIS, J. P. S.; SOUSA, M. S. M.; ROSA, M. F. **Extração e caracterização de nanocelulose de fibras do pseudocaule da bananeira**. V CONNEPI - Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, Maceió, 2010.
- POTHAN, L.A.; THOMAS, S.; GROENINCKX; G. The role of fibre/matrix interactions on the dynamic mechanical properties of

chemically modified banana fibre/polyester composites. **Composities**, Part A 37, 2006.

- RIBEIRO, M. P. **Aplicação de termogravimetria acoplada à espectrometria de massas para caracterização de petróleo e determinação da curva de evolução de gás sulfídrico.** Dissertação (Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.
- RODRIGUES, G. V.; MARCHETTO, O. **Análises Térmicas.** 2012. Disponível em: <<http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas/EMC5733/Apostila.pdf>> Acesso em 04 de fevereiro de 2013.
- ROMAO, C. M. N.; **Estudo do comportamento mecânico de materiais compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras naturais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Porto – Porto, Portugal, 2003.
- ROSA, M. F.; MEDEIROS, E.S.; MALMONGE, J.A.; GREGORSKI, K.S.; WOOD, D.F.; MATTOSO, L.H.C.;, GLENN, G.; ORTS, W.J.; IMAM, S.H. **Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: Effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior.** Carbohydrate Polymers, 2010.
- SAVASTANO Jr., H.; WARDEN, P.G.; COUTTS, R.S.P. **Microstructure and mechanical properties of waste fibre-cement composites.** Cement & Concrete Composities, v. 27, 2005.
- SILVA, G.G.; SOUZA, D.A.; MACHADO, J.C.; HOURSTON, D.J. **Mechanical and thermal characterization of native Brazilian coir fiber.** Journal of Applied Polymer Science 76 (7), 1197–1206. 2000.
- SILVA, V. F. N. **Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico.** 116p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial na Área de Conversão de Biomassa) - Escola

- de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.
- SILVERSTEIN, R.M., Webster, F.X.; **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**, 6a. Ed., LTC Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, 2000.
 - SOFNNER, M. L. A. P.; **Produção de polpa celulósica a partir de engaço de bananeira.** 2001. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11149/tde13122001114259/publico/soffner.pdf>> Acesso em 15 de maio de 2013.
 - SOUZA, S. A. C. D.; **Avaliação da variabilidade genética em *Musa* spp. Utilizando marcadores microssatélites.** Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
 - SYDENSTRICKER, T. H. D; MOCHNAZ, S.; AMICO, S. C. **Pull-out and other evaluations in sisal-reinforced polyester bio composites.** Polymer Testing, v. 22, p.375 – 380, 2003.
 - YANG, H., YAN, R.; CHEN, H., LEE, D.H.; ZHENG, C. **Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis.** Fuel 86, 1781–1788. 2007.