



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
GENÉTICOS VEGETAIS**



JANÁIRA LOPES DOS SANTOS CARNEIRO

**CARACTERIZAÇÃO DE ACESSOS DE SISAL USANDO
DESCRITORES DA PLANTA E DA FIBRA**

Feira de Santana - BA
2017

JANÁIRA LOPES DOS SANTOS CARNEIRO

**CARACTERIZAÇÃO ACESSOS DE SISAL USANDO
DESCRITORES DA PLANTA E DA FIBRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientadora: Prof^a Dr^a Adriana Rodrigues Passos

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Lopes Lima

Feira de Santana - BA
2017

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

C289c Carneiro, Janáira Lopes dos Santos

Caracterização de acessos de sisal usando descritores da planta e da fibra / Janáira Lopes dos Santos Carneiro. – Feira de Santana, 2017.
118f.: il.

Orientadora: Adriana Rodrigues Passos.

Coorientador: Paulo Roberto Lopes Lima

Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Feira de Santana,
Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, 2017.

1. Agave sisalana. 2. Sisal (Fibra). 3. Sisal - Diversidade genética. I. Passos, Adriana Rodrigues, orient. II. Lima, Paulo Roberto Lopes, coorient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

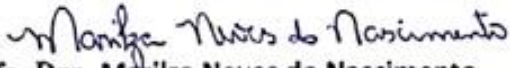
CDU: 582.572.43


BANCA EXAMINADORA


Profa. Dra. Daniela Garcia Silveira
(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano
IF Baiano - Guanambi)


Profa. Dra. Katia Cristina Leão de Magalhães Abreu
(Fundação Luis Eduardo Magalhães - FLEM)


Prof. Dr. Manoel Abilio de Queiroz
(Universidade do Estado da Bahia - UNEB)


Profa. Dra. Marilza Neves do Nascimento
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)


Profa. Dra. Adriana Rodrigues Passos
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)
Orientadora e Presidente da Banca

À **DEUS** toda Honra e Glória

Ofereço...

A minha **Mãe Jaciara**, minha estrelinha no céu.

Dedico...

“Aquele que esta assentado no trono
Toda a glória, e todo louvor
Aquele que reina sobre nós
A Ele a glória, e todo louvor

Toda honra e toda glória
Seja dada a Deus
Pois Ele é digno de louvor e de toda
adoração

Toda honra a Deus
Toda glória a Deus
Que é digno de louvor e adoração
Toda glória a Deus”
(Thiago Martins)

AGRADECIMENTOS

A Deus, **Nosso Pai Celestial**, por tudo que me tem proporcionado em fortaleza e muita determinação, por isso, quero agradecer, pois sei que ainda não é o fim, mas sim, o começo de tudo...

À Universidade Estadual de Feira de Santana, ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, pela oportunidade de cursar o doutorado e executar o presente projeto.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A professora **Adriana Rodrigues Passos**, orientadora desta tese, por todo empenho, sabedoria, compreensão e, acima de tudo, pela exigência que sempre me estimulou a dar este grande passo. Obrigada por ser profissional, correta, dedicada e competente, fonte de apoio e ensino diário.

Ao professor **Paulo Roberto Lopes Lima**, pelo aceite em coorientar o projeto que com uma sabedoria que lhe é peculiar, soube direcionar e orientar nos ensaios mecânicos da fibra vegetal de sisal.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais de modo geral e em especial: **José Raniere Ferreira de Santana** e a **Marilza Neves do Nascimento** pelos ensinamentos durante o curso;

Aos amigos e companheiros que auxiliaram nas coletas de campo e laboratório, em especial a Keylla Souza dos Santos, Pedro Alcântara Abreu e ao professor Ronaldo Simão.

Aos amigos do Horto-Florestal que tornaram meus dias mais leves: **Marcos Luciano Brasileiro, Keylla Souza, Tecla Santos, Flávia Souza** e todos os demais, formamos uma grande família ao longo desses quatro anos e sempre os levarei comigo.

A minha **mãe Jaciara**, *in memoriam*, que nunca mediu esforços para a minha formação pessoal e profissional, a ela Amor Incondicional e Eterno.

À minha família, meu pai, irmã, avós, tios e primos, em especial ao meu **esposo Roger Ramos** pelo seu apoio e amor e a **nossa filha, Mariana**, que mesmo em meu ventre pude contar com sua força e compreensão.

Aos servidores do Horto-Florestal, que marcaram presença em todas as nossas necessidades para a perfeita efetivação deste trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, **meus sinceros agradecimentos!**

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1 - Diferentes partes de <i>A. sisalana</i> : A: Planta adulta; B: inflorescência; C: bulbilhos; D: fruto maduro; E: corte do fruto com sementes	20
Figura 2 - Monossacarídeos presentes no Sisal	21
Figura 3 - Representação da estrutura e composição química da parede celular dos vegetais.....	22
Figura 4 - Produção de Sisal no Brasil.....	23
Figura 5 - Identificação da Região Sisaleira no Estado da Bahia.....	25

CAPITULO I

Figura 1 - Mapa com identificações das regiões localizadas no Semiárido onde foram realizadas as coletas de Sisal.....	50
Figura 2 - Dendrograma de dissimilaridade genética entre 75 indivíduos de Sisal de cinco populações diferentes, resultante do agrupamento pelo método UPGMA estimada a partir da matriz de dissimilaridade com base na distância euclidiana média padronizada, por meio de 12 variáveis quantitativas.....	59
Figura 3 - Dendrograma de dissimilaridade genética entre 75 indivíduos de Sisal de cinco populações diferentes, resultante do agrupamento pelo método UPGMA estimada a partir da matriz de dissimilaridade com base na distância por meio de duas variáveis qualitativas.....	60
Figura 4 - Dendrograma de dissimilaridade genética entre 75 indivíduos de Sisal de cinco populações diferentes, resultante do agrupamento pelo método UPGMA estimada a partir da matriz de dissimilaridade da distância genética, com base no algoritmo de Gower (1971), através de 12 variáveis quantitativas e duas qualitativas.....	63

CAPITULO II

Figura 1 - Mapa com identificações das regiões localizadas no Semiárido onde foram realizadas as coletas de Sisal.....	76
Figura 2 - A) Prensa Hidráulica (Fonte: O Autor); B) Molde utilizado nos ensaios.....	77
Figura 3 - Gráficos de tensão deformação das fibras de sisal.....	81
Figura 4 - Variação da resistência à tração das fibras de sisal em diferentes áreas.....	85
Figura 5 - Variação do diâmetro de fibras de sisal em diferentes áreas.....	89
Figura 6 - Variação das médias das trações em relação às médias dos diâmetros em fibras de sisal, obtidas de diferentes áreas.....	91
Figura 7 - Variação das médias dos Módulos de Elasticidade em relação às médias dos diâmetros em fibras de sisal, obtidas de diferentes áreas.....	92

CAPITULO III

Figura 1 - Difractogramas de Raios X em fibras de sisal, provenientes de cinco áreas distintas. As fibras foram analisadas diferenciando suas porções de ápice e base.....	106
Figura 2 - Espectro de infravermelho dos ápices das fibras de sisal, FTIR, provenientes de distintas áreas.....	109

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

Tabela 1 - Estatística descritiva e teste de normalidade de Shapiro–Wilk para os caracteres quantitativos.....	52
Tabela 2 - Correlação de Spearman entre as variáveis quantitativas estudadas.....	55
Tabela 3 - Contribuição relativa (%) dos descritores para o estudo da variabilidade com base no critério de SINGH (1981).....	57
Tabela 4 - Coeficientes de correlação (r) entre matrizes de dissimilaridade, a partir de dados de caracteres quantitativos, caracteres multicategóricos (qualitativos) e dados analisados simultaneamente pelo Algoritmo de Gower.....	64

CAPITULO II

Tabela 1 - Localização e Aspectos Fisiográficos dos Municípios em que as expedições de coleta foram realizadas.....	78
Tabela 2 - Propriedades mecânicas das fibras de sisal, provenientes do município de Morro do Chapéu/BA (Área I).....	82
Tabela 3 - Propriedades mecânicas das fibras de sisal, provenientes do município de Morro do Chapéu/BA (Área II).....	82
Tabela 4 - Propriedades mecânicas das fibras de sisal, provenientes do município de Nova Fátima/BA (Área III).....	83
Tabela 5 - Propriedades mecânicas das fibras de Sisal, provenientes do município de São Domingos/BA (Área IV).....	83
Tabela 6 - Propriedades mecânicas das fibras de Sisal, provenientes do município de Lages do Batata (Jacobina)/BA (Área V).....	84
Tabela 7 - Propriedades Mecânicas e os diâmetros das Fibras de sisal, obtidas por diferentes autores.....	87

CAPITULO III

Tabela 1 - Índice de cristalinidade para as dez amostras de sisal provenientes de cinco áreas do semiárido baiano.....	108
Tabela 2 - Resultados da análise de solos das áreas de cultivo de sisal avaliadas.....	110

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1 OBJETIVO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO	17
2.0 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 ORIGEM, EVOLUÇÃO E DISPERSÃO DO GÊNERO <i>AGAVE</i>	17
2.2 A ESPÉCIE <i>AGAVE SISALANA</i> PERR.....	18
2.2.1 Características Fisiológicas e Botânicas	18
2.2.2 Constituição e Composição Química.....	22
2.2.3 Potencial Econômico.....	24
2.3 AGAVEICULTURA NO BRASIL.....	25
2.4 FIBRAS VEGETAIS.....	26
2.4.1 Propriedades Mecânicas da Fibra do Sisal.....	26
2.5 RECURSOS GENÉTICOS E MELHORAMENTO GENÉTICO DO SISAL.....	29
2.6 DESCRITORES MORFOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS	32
2.6.1 Descritores Morfológicos.....	32
2.6.2 Descritores Bioquímicos.....	33
REFERÊNCIAS	35
CAPÍTULO I: DIVERSIDADE GENÉTICA ESTIMADA POR MEIO DE DESCRITORES MORFOLÓGICOS, BIOQUÍMICOS E FÍSICOS EM GENÓTIPOS DE SISAL	45
RESUMO.....	46
ABSTRACT.....	47
INTRODUÇÃO.....	48
MATÉRIAL E MÉTODOS.....	49
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS.....	66
CAPÍTULO II: VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM FIBRAS DE SISAL ORIUNDOS DE AMBIENTES DO SEMIÁRIDO BAIANO	70
RESUMO.....	71
ABSTRACT.....	72
INTRODUÇÃO.....	73
MATÉRIAL E MÉTODOS.....	75
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
CONCLUSÕES.....	92
REFERÊNCIAS.....	93
CAPÍTULO III: ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS FIBRAS DE ACESSOS DE SISAL DE DIFERENTES AMBIENTES DO SEMIÁRIDO BAIANO	97
RESUMO.....	98
ABSTRACT.....	99

INTRODUÇÃO.....	100
MATERIAL E MÉTODOS.....	103
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	105
CONCLUSÕES.....	114
REFERÊNCIAS.....	115

RESUMO

A *Agave sisalana* Perr., pertence à família Agavaceae, e possui centro de diversidade o México. No Brasil, as primeiras mudas foram introduzidas na Região Nordeste, especificamente na Bahia, em 1903. O sisal é uma espécie conhecida por sua produção de fibras lignocelulósicas. O subproduto, resultado do desfibramento das folhas de sisal, é uma fonte alternativa para a geração do biogás, insumo farmacêutico e como compósito utilizado na construção civil. No suco das folhas foi quantificado um alto potencial farmacológico como a inulina e a hecogenina - precursor na síntese de corticoesteróides. Alguns estudos referentes às fibras de sisal e seu insumo com potencial farmacológico são descritos na literatura, entretanto estudos sobre a caracterização da espécie *A. sisalana*, e em particular no que diz respeito as análises morfológicas, bioquímicas e físicas da planta *in natura* são incipientes. Portanto, o presente trabalho procurou identificar novas aplicações para o sisal, por meio de estudos de pré-melhoramento através de análises morfológicas das plantas e, efetuar estudos da morfologia de suas fibras, analisando suas microestruturas, assim como realizar estudos mecânicos da fibra. As análises morfológicas mostraram que existe variabilidade e heterogeneidade entre as populações avaliadas, e que plantas de baixa estatura possuem maior teor em açúcares e máxima resistência mecânica das fibras. As propriedades mecânicas estudadas indicaram que as fibras sofrem variação dentro e entre os genótipos de diferentes áreas. As análises morfológicas e micro estrutural das fibras demonstraram que as áreas avaliadas, assim como as distintas regiões de ápice e base das fibras, possuem pequenas diferenças quanto às características micro estruturais e que distintas condições edafoclimáticas não interferem na constituição química, mas intervêm na quantidade dos compostos orgânicos entre os indivíduos.

Palavras-chaves: *Agave sisalana*, fibras lignocelulósicas, potencial farmacológico e mecânico.

CHARACTERIZATION OF SISAL GENOTYPES BY MORPHOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND PHYSICAL DESCRIPTORS

ABSTRACT

Agave sisalana Perr., belongs to the Agavaceae family, and has a center of plant diversity in Mexico. In Brazil, the first seedlings were introduced in the Northeast, specifically in Bahia, in 1903. Sisal is a species known for its production of lignocellulosic fibers. The by-product, result of the defibration of sisal leaves, is an alternative source for biogas production, pharmaceutical input and as composite used in civil construction. In the leaf juice a high pharmacological potential such as inulin and hecogenin was quantified - precursor in the synthesis of corticosteroids. Some studies regarding sisal fibers and their input with pharmacological potential are described in the literature, however studies on the characterization of *A. sisalana*, in particular regards to morphological, biochemical and physical plant in nature is incipient. Therefore, the present work attempt to identify new applications for sisal by pre-breeding studies by morphological analysis of the plants and to study the morphology of their fibers, analyzing their microstructures, as well as mechanical fiber studies. Morphological analyzes showed that there is variability and heterogeneity among populations, and small plants has higher sugar content and maximum mechanical resistance of the fibers. Mechanical properties studied indicate that fibers vary within and among genotypes of different areas. Morphological and microstructural analyzes of fibers showed that evaluated areas, as well as the distinct regions of apex and base of fibers, have small differences in micro structural characteristics and that different edaphoclimatic conditions do not interfere in the chemical constitution, but intervene in the amount of organic compounds among individuals.

Keywords: *Agave sisalana*, lignocellulosic fibers, pharmacological and mechanical potential.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura no Brasil é, historicamente, umas das principais bases da economia do país, desde os primórdios da colonização até o século XXI, evoluindo das extensas monoculturas para a diversificação da produção. No Nordeste brasileiro, a agricultura tem papel de destaque na economia regional, sendo que 82,6% da mão de obra do campo equivalem à agricultura familiar (CASTRO, 2012).

A região Nordeste abrange uma população estimada em mais de 25 milhões de habitantes, que apresenta problemas estruturais quanto à sustentabilidade dos sistemas de produção de alimentos, que associado aos constantes efeitos negativos do clima, como as secas, dificultam sua manutenção e desenvolvimento. Desse modo, observa-se uma maior vulnerabilidade dos sistemas produtivos em áreas de sequeiro, que resulta em deterioração do solo e da água e diminuição da biodiversidade de espécies. Aliado a esses efeitos, tem-se a pobreza da região, em decorrência da inadequada estrutura latifundiária, redução do sistema de crédito agrícola e assistência técnica, dificuldades na comercialização dentre outros fatores (DRUMOND et al., 2000).

Castro (2012) relatou que a agricultura nordestina apresenta problemas e desafios, que vão da reforma agrária às queimadas; do êxodo rural ao financiamento da produção; da infraestrutura de escoamento da produção à viabilização econômica da agricultura familiar que envolve questões políticas, sociais, ambientais, tecnológicas e econômicas.

No sertão nordestino, em condições de sequeiro, predomina a agricultura de subsistência, atividade afetada constantemente pelas estiagens prolongadas, condicionando ao homem do campo a necessidade de utilização de culturas adaptáveis ao clima, o que fez do sisal uma alternativa viável para o sustento de pequenos agricultores em algumas áreas específicas. Em que pese não ser uma cultura alimentícia, constitui fonte de renda e emprego, sendo um importante agente de fixação do homem à região semiárida nordestina, haja vista ser, em algumas áreas, a única alternativa de cultivo com resultados econômicos satisfatórios (AGEITEC, 2015).

O sisal é extensivamente cultivado em algumas áreas na região Nordeste, nos moldes de agricultura familiar, em especial nos Estados da Bahia e Paraíba, nos quais a cultura é responsável por geração de emprego e renda, principalmente em localidades carentes, o que aumenta sua relevância no contexto socioeconômico (ESCAMILLA-TREVIÑO, 2011).

Entretanto, o baixo aproveitamento da planta, problemas fitossanitários, como a podridão vermelha do tronco, causada pelos agentes *Aspergillus niger* e *Lasiodiplodia theobromae*, levou a um significativo declínio da cultura sisaleira, tendo em vista que apenas 5% dos produtos oriundos do desfibramento para a produção da fibra dura são utilizados, sendo os 95% restantes constituídos de resíduos sólidos e líquidos descartados (SANTOS et al., 2009).

A espécie *A. sisalana*, é a principal fonte de fibra dura produzida no mundo, correspondendo a aproximadamente 70% da produção comercial de todas as fibras naturais desse tipo. O subproduto, resultado do desfibramento das folhas de sisal, é uma fonte alternativa para a geração do biogás, construção civil e insumo farmacêutico (DEBNATH et al., 2010; CERQUEIRA et al., 2012; LIU et al., 2013). Dentre as possibilidades de uso dos subprodutos do sisal destaca-se o resíduo utilizado como matéria-prima para produção de enzimas de importância industrial, e também na geração de açúcares redutores (AR) para a fermentação alcoólica que integra, de modo sistêmico, toda a cadeia produtiva.

Embora, na literatura, se encontrem vários estudos de compósitos poliméricos com fibras de sisal (LI et al., 2000; MWAIKAMBO e ANSELL 2002; MARTINS e MATTOSO 2004; BARRETO et al., 2010; BARROS et al., 2012; HOLANDA 2013; SPINACÉ et al., 2013) poucas são as informações sobre caracterização morfológica da planta e mecânica das fibras da espécie *A. sisalana*, e em particular no que diz respeito a análises morfológicas e bioquímicas da planta, e morfológicas da fibra *in natura* avaliando sua microestrutura.

Face ao exposto, a questão central dessa pesquisa é efetivar novas aplicações para a *A. sisalana*, por meio de análises morfológicas das plantas e, efetuar estudos da morfologia de suas fibras, analisando suas microestruturas, assim como realizar estudos mecânicos da fibra, no intuito de obter informações que contribua, assim, para a revitalização do sisal e ampliação de seu uso.

1.1 OBJETIVO GERAL

Coletar e caracterizar genótipos de *Agave sisalana* Perr. para por meio de descritores morfológicos e bioquímicos para a detecção da variabilidade genética, assim como realizar a caracterização de suas fibras por estudos de Difração de Raio-X (DRX), Espectroscopia de Infravermelho (FTIR) e, por fim, estudos mecânicos da fibra visando auxiliar os programas de conservação e melhoramento genético do sisal.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar, documentar e avaliar genótipos de *Agave sisalana* Perrine em municípios do semiárido baiano;
- Quantificar teores de açúcares dos genótipos coletados por meio de descritores bioquímicos;
- Avaliar as microestruturas de materiais cristalinos da fibra por meio da Difração de Raio-X;
- Aferir presença dos compostos orgânicos nas fibras através da Espectroscopia de Infravermelho por Metodologia em Transformada Fourier (FTIR), por meio de análises qualitativas;
- Avaliar as fibras de sisal quanto a sua resistência por meio de ensaios mecânicos;

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ORIGEM, EVOLUÇÃO E DISPERSÃO DO GÊNERO AGAVE.

O gênero *Agave* pertence à família *Agavaceae*, sendo composta por 25 gêneros e 637 espécies, reunindo plantas herbáceas, arbustos rizomatosos e árvores; suas folhas são alternas, espiraladas e dispostas em roseta predominantemente monocárpicas (JUDD et al., 2007; ALMARAZ-ABARCA, 2013). Originada na América do Norte, tem como centro de origem o México (GENTRY, 1982; NOBEL, 1988). Suas espécies são parte de paisagens naturais e antropogênicas de muitas regiões áridas, semiáridas e tropicais do hemisfério ocidental, particularmente o México, Américas Central e Sul e Taiwan. O agave é uma planta tropical por natureza. Ademais, todas as regiões produtoras de suas várias espécies estão localizadas dentro das zonas tropicais e subtropicais, ou melhor, todas as plantações comerciais se situam entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio (23°10' de latitude norte ou sul) (PI YU CHEN et al., 2009).

O México é o centro de origem do gênero *Agave*. Com 125 espécies crescendo principalmente em zonas semiáridas, este é o país com maior riqueza de espécies de *Agave* sendo 74% endêmicas. . Ademais, ressalta-se a capacidade de adequação deste gênero às diversas condições climáticas do país, destacando sua introdução para vários países da África

e Ásia, com fácil adaptação devido ao favorecimento climático (ALMARAZ-ABARCA, 2013). O *Agave* é um gênero de grande relevância, por agregar espécies com diversas propriedades, dentre elas medicinais, alimentícias, farmacêuticas, bioenergéticas e indústrias, o que gerou grande interesse comercial entre diferentes países. Muitas espécies são importantes devido ao seu valor comercial, no entanto somente duas espécies se destacam por sua importância para a produção de fibra, ou seja, a *A. sisalana* e a *A. fourcroydes* (SILVA et al., 2008).

Conforme descrito por Brown e Schlink (2002), a despeito do México destacar-se como, o grande centro de diversidade e domesticação dos Agaves, algumas espécie como, por exemplo, a *Agave Sisalana* Perr. (Sisal), conhecida por sua produção de fibras, não possui uma adaptação favorável às condições climáticas do país, como a espécie *A. fourcroydes*, o que resultou na produção de fibras não satisfatórias pelo México, para o mercado industrial. A *A. sisalana* por sua vez, foi exportado do México no século XIX e transformou-se na base de fibras na Indonésia, Filipinas e Sul da Flórida (EUA), e mais tarde no século XX na África Oriental (NOBEL, 1988; MARTINS, 2001; MARTIN et al., 2009). No Brasil, as primeiras mudas dessa espécie foram introduzidas na Região Nordeste, especificamente na Bahia em 1903, sendo esta a única espécie do gênero *Agave* cultivada comercialmente no país (MARTINS, 2001; MARTIN et al., 2009).

2.2 A ESPÉCIE AGAVE SISALANA PERRINE

2.2.1 Características Fisiológicas e Botânicas

O Sisal (*A. sisalana* Perr.) é uma planta monocárpica, perene, plurianual e semixerófila, o que o torna um vegetal resistente a secas prolongadas e temperaturas elevadas. Ao longo da evolução, desta espécie, diversas características foram adquiridas e preservadas, dentre elas destacam-se: folhas carnosas, cutícula espessa, redução na quantidade de estômatos e manutenção do metabolismo fotossintético do tipo CAM (Metabolismo Ácido Crassuláceo) (MEDINA, 1954; SILVA e BELTRÃO, 1999; ABREU, 2010; TRELIM, 2015), obtendo portanto, uma adaptação favorável à região semiárida do Nordeste brasileiro.

A planta é considerada CAM facultativa, que em condições normais se desenvolve pela via C3, e que sob estímulo de falta de água, salinidade, variações de fotoperíodo ou termoperíodo, passam a apresentar o comportamento CAM (LÜTTGE et al., 1996). Plantas que assimilam CO₂, através do sistema CAM, não permite uma grande acumulação de matéria

seca, porém economiza água, podendo então ser considerado como a única via fotossintética que confere adaptação à seca (OSMOND e HOLTUM, 1981). Segundo Pimentel (19988) plantas CAM facultativas podem atingir alta produtividade, quando funcionando como C3, porém quando apresentam o comportamento CAM, devido a um estresse ambiental, a acumulação de matéria seca é reduzida. No metabolismo CAM as plantas fecham os estômatos durante o dia, prevenindo assim a perda de água. Durante a noite, com pouca transpiração devido ao baixo déficit de pressão de vapor, elas abrem os estômatos, e o CO₂ é fixado. Durante o dia, economizam água com os estômatos fechados, pois já assimilaram o CO₂ da noite. Assim, essas plantas podem permanecer longos períodos, de 100 a 200 dias sem abrir os estômatos durante o dia, economizando água, porém com baixo acúmulo de matéria seca (OSMOND e HOLTUM, 1981; NOBEL, 1991).

A duração do ciclo vegetativo do sisal corresponde ao período de 8 a 10 anos. O sistema radicular é típico das monocotiledôneas, fasciculado, fibroso e em forma de tufo, sem a presença de uma raiz principal possuindo, assim, dois tipos de raízes, uma para fixação da planta ao substrato e outra para absorção de nutrientes. É acaulescente, e no lugar do caule há um pseudocaule suculento e com uma espessa camada de lignina, onde as folhas e o broto terminal se inserem e armazenam água e nutrientes (SILVA et al., 2008).

As folhas são rígidas, com forma linear lanceolada, sem pecíolo, de cor verde escuro e comprimento entre 120 cm a 160 cm, com 10 cm a 15 cm de largura na sua porção mediana (Figura 1). A superfície é côncava, desprovida de espinhos na borda, possuindo um único acúleo na extremidade da folha. Sua epiderme é composta por uma cutícula cerosa, que repele a água facilmente; nesta camada encontram-se numerosos estômatos distribuídos de maneira contínua, realizando as trocas gasosas. A inserção da folha no pseudocaule ocorre em forma de espiral ascendente, formando rosetas. Uma planta produz entre 200 a 250 folhas durante o ciclo, com peso médio variando entre 400 g e 700 g, e cada folha contém de 1000 a 1200 fios de fibras (BELTRÃO, 2006; SILVA et al., 2008).

A flor é hermafrodita e acha-se agrupada em cachos situados no final de cada ramo da panícula (Figura 1); primeiro, abrem-se as flores dos ramos inferiores e, quando os seus estigmas estão receptivos, os estames dos ramos superiores imediatamente abrem-se, vertem o pólen para fertilizar as flores inferiores e, assim, realiza-se a fecundação, até os ramos da inflorescência superior. A frutificação ocorre quando há decapitação do pedúnculo floral, antes da emissão dos ramos floríferos, sendo que os frutos e as sementes são viáveis quando

obtidos a partir dos ramos originados das gemas inferiores do escapo floral (GONDIM e SOUZA, 2009).

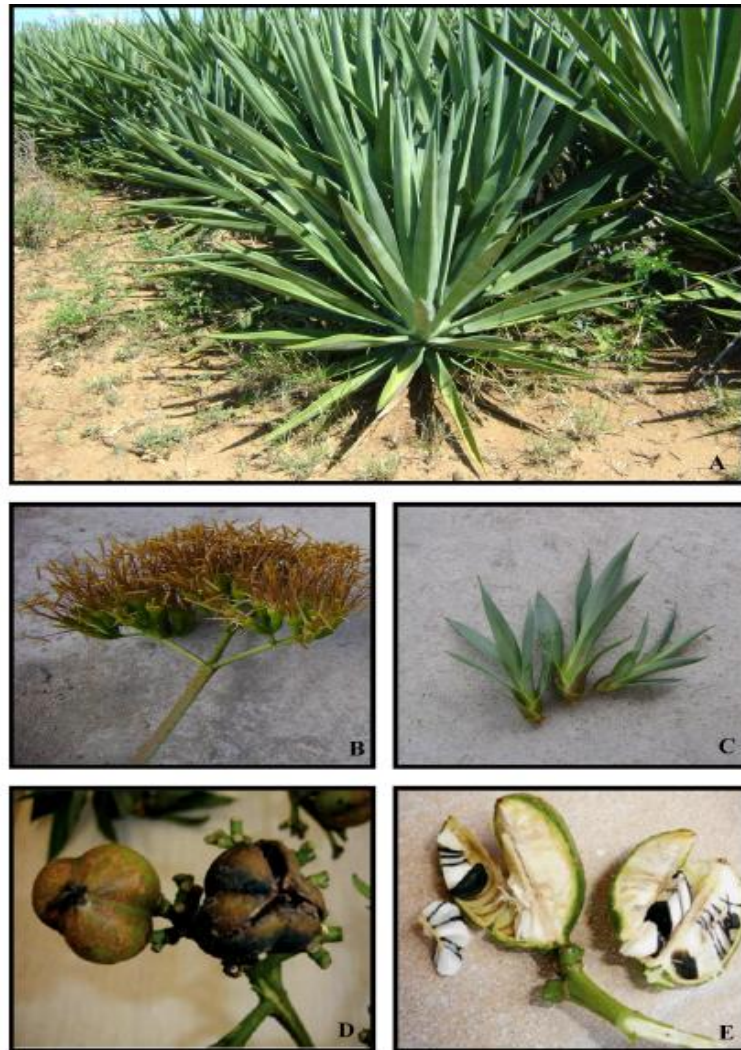


Figura 1. Diferentes partes de *A. sisalana*: A: Planta adulta; B: inflorescência; C: bulbilhos; D: fruto maduro; E: corte do fruto com sementes (GONDIM e SOUZA, 2009).

2.2.2 Constituição e Composição Química

O gênero *Agave* constitui uma importante fonte de saponinas esteroidais (JUDD et al., 2007), compostos utilizados para a síntese de corticoesteróides e o extrato hidrolisado de *A. sisalana*, que apresenta atividades anti-inflamatória e analgésica, sendo largamente utilizado como fitoterápico para o controle de inflamações. As folhas são ricas em sapogeninas, porção não glicosídica de saponinas, designadas ligogenina, diosgenina e hecogenina, sendo esta última encontrada em concentrações superiores às demais (DUNDER et al., 2010; SHARMA et al., 2011). As saponinas são metabolitos secundários compostos por esteróides ou triterpenóides glicosídeos, com um componente terpenóide aglicona (SUYENAGA et al.,

2007). A hecogenina, substância resultante da hidrólise das saponinas, é uma das principais substâncias utilizada na síntese de corticosteróides, como por exemplo, cortisona, cortisol, prednisona, prednisona, dexametasona, betametasona, entre outros (ZULLO et al., 1989).

O sisal tem em sua composição química celulose, hemicelulose, lignina, pectina e ceras (ANSELL e MWAIKAMBO, 2002; MEGGIATO JR., 2007; MARTIN et al., 2009). A hemicelulose que predomina é constituída de xiloses. De fato, elas constituem cerca de 68% do total das poliooses do sisal. A glicose, também, é um dos monossacarídeos presente no sisal, mas representa apenas 2% do total dos sacarídeos, sendo encontrados, também, outros monossacarídeos, como a galactose em maior quantidade (17%). Outras poliooses, como manose, arabinose e celobiose são encontradas em menor proporção (Figura 2) (MEGGIATO JR., 2007).

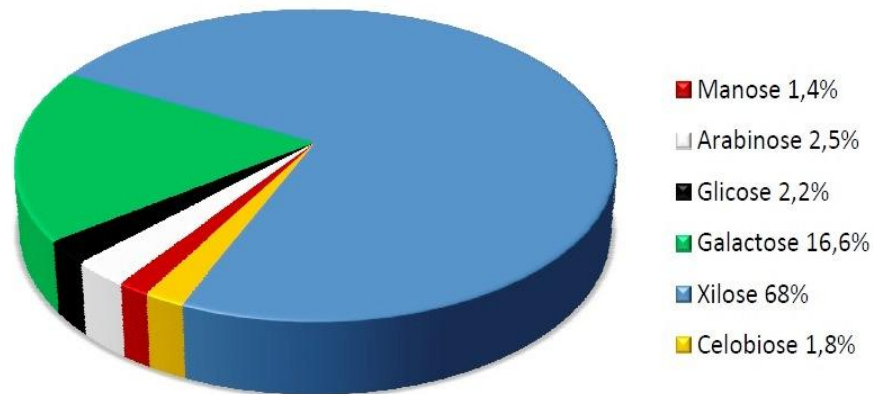


Figura 2. Monossacarídeos presentes no sisal (MEGGIATO JR., 2007).

As fibras de sisal aparecem em formas de feixe, com comprimentos que variam de 50 cm a 180 cm. Como a fibra provem das folhas do sisal sua constituição química é basicamente formada pelos mesmos compostos presentes nas folhas, o que as tornam lignocelulósicas (HOLANDA, 2013). Diversos autores estimaram a porcentagem da composição da fibra do sisal, e de acordo com Medina (1954), a fibra é constituída por 65,8% de celulose, 12% de hemicelulose, 9,9% de lignina e 0,8% de pectina. Já para Ansell e Mwaikambo . (2002), os valores encontrados foram: 73% de celulose, 13% de hemicelulose, 11% de lignina e 2% de pectina. Conforme Gutiérrez e al. (2008) da fibra do sisal pode ser obtido um extrato lipofílico que apresenta 0,5% do seu peso total, sendo constituído especialmente de ácidos graxos e, em menores proporções hidrocarbonetos, esteróides, cetonas, monoglicérides, aldeídos e diacilgliceróis.

2.2.3 Potencial Econômico

As folhas do sisal são rígidas, lisas e de cor verde, sendo que 3% a 5% do seu peso é representado por fibras. Os 97% a 95% restantes constituem os denominados resíduos do beneficiamento. A fibra extraída é atualmente a principal fibra dura produzida no mundo, resultando em aproximadamente 70% da produção comercial de todos os filamentos desse tipo (HOLANDA, 2013). São constituídas de fibrilas ou fibras elementares que tem de 1,5 mm a 4,0 mm de comprimento e, sua parede celular apresenta várias camadas, que diferem uma das outras em relação à sua estrutura e composição química (Figura 3).

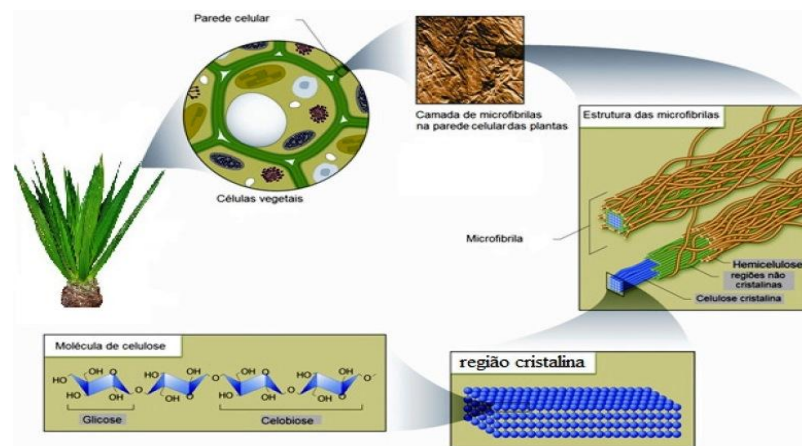


Figura 3. Representação da estrutura e composição química da parede celular dos vegetais (GENOMICS, 2005).

O aumento da preocupação com a sustentabilidade resultou em união de forças e definição de estratégias que possibilitassem a mitigação e apreensão das emissões de dióxido de carbono (CO₂) que, aliados a outros fatores ambientais, reforçaram a utilização das fibras naturais de origem vegetal. As fibras vegetais estão sendo utilizadas, em larga escala, na substituição de compostos reforçados por fibra sintética, gerando benefícios ambientais e retornos econômicos. Essas mudanças ocorreram em função das fibras serem naturais, biodegradáveis, recicláveis e de baixo custo, aspectos que levaram alguns setores a utilizarem as fibras vegetais em compósitos reforçados como, por exemplo, a indústria automotiva, indústria de tapeçaria e o setor da construção civil (MORAES, 2010).

A utilização da fibra do sisal proporcionou um resgate das atividades ecologicamente corretas. Ademais, percebe-se que o mercado do sisal tem um futuro promissor, e isso pode ser percebido pelos novos levantamentos registrados acerca da sua produção em escala

nacional e regional. Na safra de 2015, o Brasil teve uma produção de 181.785t de fibras. Os estados da Bahia, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, foram os maiores produtores (GCEA/IBGE, 2015) (Figura 4) (CONAB, 2014) O recente crescimento foi importante para destacar a qualidade da fibra e a sua versatilidade de usos. Essas fibras possuem grande quantidade de água, tecidos parenquimatosos, fibras curtas, polissacarídeo, compostos inorgânicos (SHARMA e VARSHNEY 2012) e metabolitos secundários, tais como saponinas esteroidais (ZHANG et al., 2014). Esses compostos até poucos anos atrás eram desconsiderados sendo, portanto apenas 3% a 5% do sisal comercializado.

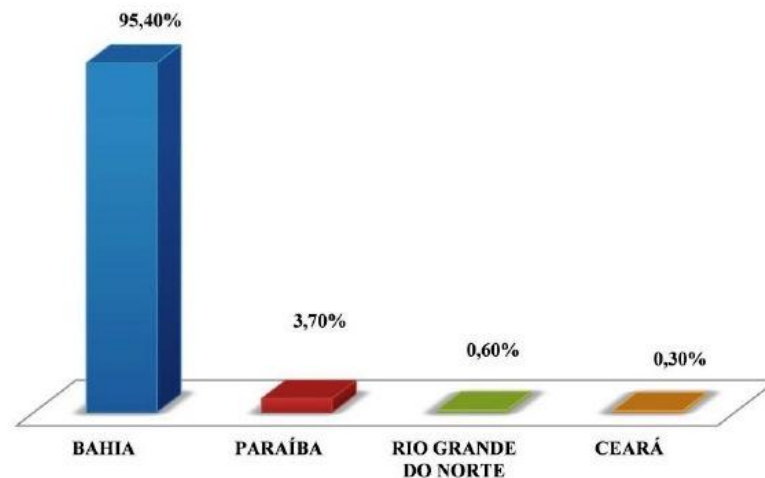


Figura 4. Produção de Sisal no Brasil (CONAB, 2014).

O subproduto, resultado do desfibramento das folhas de sisal, é uma fonte alternativa para a geração do biogás, insumo farmacêutico e como compósito utilizado na construção civil. A biomassa obtida, após a extração da fibra, representa 98% da planta e pode ser utilizada, como fertilizante, assim como para alimentação animal. No suco das folhas foi quantificado o alto teor de açúcar composto por glicose, frutose e sacarose ($11,02 \text{ gL}^{-1}$, $28,37 \text{ gL}^{-1}$ e $1,73 \text{ gL}^{-1}$, respectivamente) substâncias com alto potencial farmacológico como a inulina (FAO, 2015) e a hecogenina - precursor na síntese de corticoesteróides (CALLOW et al., 1951; ZULLO et al., 1989).

A presença de alto teor de carboidratos no resíduo do sisal justifica a pretensão de utilizá-lo na fermentação, uma vez que o vegetal apresenta potencial de gerar bioprodutos e biocombustíveis, tais como: butanol, biodiesel, metanol, fenol, detergentes, ésteres, adoçantes saldáveis, dentre outros produtos, a partir dos derivados dos açúcares presentes em sua biomassa. Essa planta, devido a sua versatilidade torna-se uma alternativa ideal de matéria-

prima para biorrefinarias onde são produzidos os bioproductos, biocombustíveis e eletricidade (LIU e HU 2008).

2.3 AGAVEICULTURA NO BRASIL

O sisal tornou-se a principal fonte de extração de fibras vegetais do mundo. No Brasil, o seu cultivo ocupa uma extensa área na região semiárida dos Estados da Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte, principalmente nas áreas onde os solos se caracterizam pelo baixo teor nutricional (SILVA et al., 2006). Os Estados da Bahia e Paraíba, são os dois maiores produtores dessa cultura no Nordeste. Na Paraíba, o sisal é um componente importantíssimo por tratar-se de produto de exportação, gerador de divisas. Destaca-se, também, pela capacidade de geração de empregos, baseados na mão-de-obra familiar, extração e processamento da fibra para o beneficiamento, até as atividades de industrialização de diversos produtos, bem como seu uso para fins artesanais (OASHI, 1999).

Na Bahia, o sisal é o décimo produto da pauta de exportação. O Estado, por sua vez, é o maior produtor, contribuindo com aproximadamente 94% da produção nacional. A cultura do sisal gera renda para aproximadamente 700.000 pessoas, distribuídas entre 20 municípios do semiárido baiano (Figura 5) (JESUS JR., 2014).

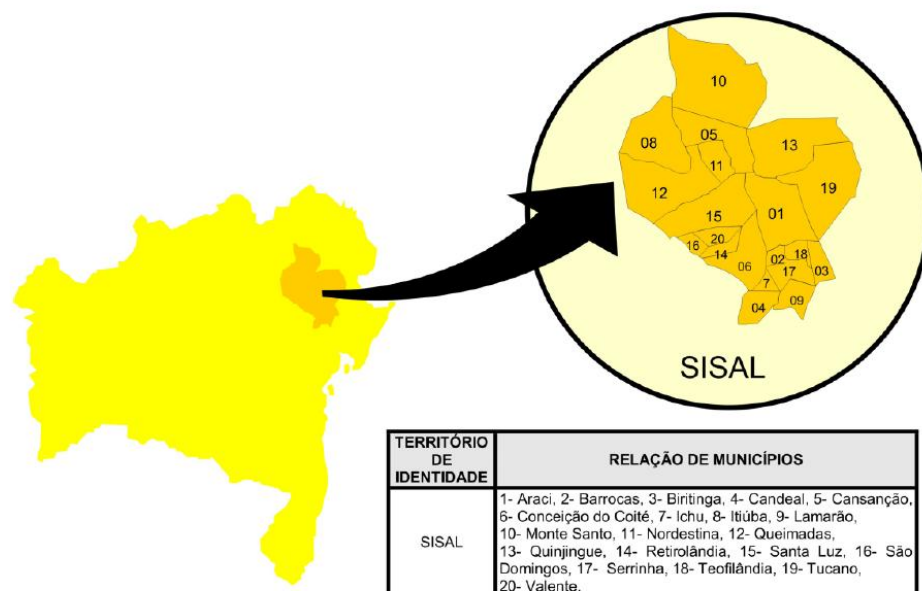


Figura 5. Identificação da Região Sisaleira no Estado da Bahia. Fonte: SEAGRI (2013).

Apesar da sua relevância, tem-se constatado um declínio contínuo na Agaveicultura, expresso em reduções da área cultivada, produção e produtividade. Vários fatores têm

contribuído para esta decadência, dentre os quais, o baixo índice de aproveitamento da planta de sisal (somente 4% das folhas colhidas se convertem em produto rentável), a ausência de práticas adequadas de plantio, o corte inadequado das folhas, os problemas fitossanitários, a utilização de máquinas com tecnologias ultrapassadas para o desfibramento e, também, pela inexistência de variedades geneticamente adaptadas (OASHI, 1999; SILVA et al., 2006).

2.4 FIBRAS VEGETAIS

Temas relacionados às questões ambientais, de desequilíbrio de ecossistemas e alterações climáticas têm trazido preocupações e despertado interesse da comunidade científica, bem como da sociedade (MARINELLI et al., 2008). Por conseguinte, tem gerado interesse na utilização de fontes renováveis e sustentáveis a partir de uma interação mais profunda, entre o homem e a natureza, de modo que haja equilíbrio no uso dos recursos naturais. Diante disso, vê-se a necessidade de investir em novas tecnologias a fim de produzir um material de alto desempenho a partir de fontes renováveis (SOUZA, 2010).

A utilização de fibras vegetais, como reforço, tem se constituído como uma alternativa interessante, por ser uma fonte natural, biodegradável e, portanto, sustentável. Devido a sua grande disponibilidade, principalmente em países de clima tropical, as fibras vegetais apresentam baixo custo, aliado a grande vantagem de serem renováveis (FERREIRA et al., 2012). Considerados ecologicamente corretos, os compósitos com fibras vegetais têm-se mostrado uma alternativa viável, em muitas aplicações, na substituição de polímeros reforçados com fibra de vidro, dentre outros (SANTOS et al., 2009).

Dentre as fibras vegetais utilizadas (materiais lignocelulósicos) como reforço em compósitos de matriz termofixa e/ou termoplástica, podem ser citadas as de sisal, juta, coco, banana e curauá. Esses compósitos são utilizados em diversos segmentos da indústria, desde o automobilístico, com peças de carros, até o da construção civil, com telhas, vigas, vigotas e outros produtos (MARINELLI et al., 2008). As fibras vegetais apresentam propriedades e características que são peculiares, como baixo custo, baixa densidade, flexibilidade no processamento e uso de sistemas simples quando o tratamento de superfície é necessário. Ademais, são amplamente distribuídas, disponíveis, moldáveis, não abrasivas, porosas, viscoelásticas, biodegradáveis, combustíveis e reativas (TITA et al., 2002).

Dentre as fibras vegetais utilizadas, as de sisal é uma alternativa de extremo valor, devido, principalmente, as suas excelentes propriedades mecânicas. A fibra beneficiada é

destinada, principalmente, à indústria de cordoaria (para confecção de cordas, cordéis, tapetes, capachos e outros); constituindo-se, também, em excelente matéria-prima para a obtenção de celulose e produção de papeis finos (AGOPYAN, 2005).

2.4.1 Propriedades mecânicas da fibra do sisal

As fibras de sisal destacam-se, dentre as demais fibras naturais, por serem rígidas e inflexíveis, apresentando, portanto, uma maior resistência e durabilidade (HOLANDA, 2013). Os compósitos reforçados com fibras de sisal se sobressaem por apresentarem alta resistência ao impacto e boas propriedades de resistência à tração e flexão (MARTIN, 2009), uma vez que essa fibra apresenta melhores condições físicas e mecânicas, como a resistência e o módulo de elasticidade (E), sendo este último uma grandeza proporcional à rigidez de um material, quando este é submetido a uma tensão externa de tração ou compressão. Basicamente, é a razão entre a tensão aplicada e a deformação sofrida pelo corpo, quando o comportamento é linear. Essa grandeza é importante, pois ela caracteriza a rigidez da fibra (MELO FILHO, 2012).

Do ponto de vista anatômico, as fibras extraídas do sisal, se inserem no grupo de fibras denominadas estruturais cuja função é dar sustentação e rigidez às folhas. As fibras são rígidas, inflexíveis, apresentam superior resistência em comparação às demais fibras naturais, além de boa durabilidade (SAPUAN, 2006).

O baixo módulo de elasticidade (E) das fibras de sisal é devido à existência de forças intermoleculares entre as cadeias de celulose, exibindo, portanto, uma elevada resistência à tração, podendo, assim, substituir a fibra de vidro empregada como reforço ao plástico na fabricação de peças, produzidas pelo processo de moldagem por injeção, como botões do painel de carros, maçanetas e dobradiças de quebra-sol, entre outras utilidades. Ademais, podem ser alternativas como material substituto para as vigas de ferro, usadas no lugar de concreto em países como o Japão, que enfrentam problemas de tremores de terra de alta intensidade, pela sua alta resistência mecânica e leveza (AGOPYAN, 2005; ERENO, 2007).

2.4.2 Difração de raios-X (DRX)

A difração de raio-X é uma técnica empregada, para a caracterização de polímeros, proporcionando informações sobre a estrutura cristalina em materiais celulósicos. Esta análise é utilizada como um método comparativo (TAKAI et al., 1985), podendo determinar a razão

relativa entre as intensidades do pico correspondente à região cristalina e da curva correspondente à região amorfa (SOLENZAL; PLANES, 1987). Segundo Gomes (2010) é utilizada para determinar o tamanho dos cristais, orientação cristalográfica para quantificar a cristalinidade e para avaliar a morfologia de materiais celulósicos. O método se baseia na interferência construtiva e destrutiva do feixe de raios-X por meio do material. Os feixes difratados em planos adjacentes refletem de forma construtiva resultando em picos que representam um padrão de difração.

Devido ao caráter cristalino das fibras naturais, a difração de raios-X é uma importante técnica para avaliação da estrutura destes materiais. Os espectros de raios-X das fibras naturais são muito semelhantes. O pico correspondente da α -celulose está presente em $24,7^\circ$. A cristalinidade e o ângulo helicoidal das fibras podem ser determinados através desta técnica. A cristalinidade da amostra é calculada através da seguinte fórmula (TANOBE et al., 2005; CHEN et al., 2007):

$$IC (\%) = \frac{A_{Cristalina}}{A_{Total}} \times 100$$

Onde $A_{Cristalina}$ é a área do pico de difração no ângulo 2θ associado com a região cristalina da fibra, e A_{Total} é a área total do difratogramas.

Em trabalhos com fibras branqueadas sob diferentes níveis de agressividade e pela fibra hidrolisada por diferentes períodos Rosa et al. (2010) examinaram os difratogramas gerados pela lignina. O difratômetro operou com 45KV, 40mA, usando radiação Cu-K α com a varredura de 5 a 40° . Atestou-se o aumento substancial nos picos $2\theta = 16,5^\circ$ e $2\theta = 22,7^\circ$ e percebeu que para amostras hidrolisadas por 120 min, o índice de cristalinidade (65,9%), foi maior que o de 180 min (62,5%). A partir do tratamento aplicado à fibra foi observado que os picos $2\theta = 16,5^\circ$, $22,7^\circ$ ficaram mais intensos, apresentando o típico padrão da celulose I.

2.4.3 Espectroscopia na Região do Infravermelho (FTIR)

A espectroscopia na região do infravermelho (convencionalmente chamada de *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* – FTIR) tem sido apresentada na literatura como uma ferramenta poderosa na análise de fibras lignocelulósicas, por fundamentar-se na absorção de radiação infravermelha por moléculas de um determinado material. Trata-se de um

instrumento importante para a investigação de grupos funcionais, elucidação estrutural e identificação de um dado material, que pode ser orgânico ou inorgânico. Isto é possível porque os átomos que formam a molécula interagem entre si proporcionando vibrações intramoleculares, que variam de acordo com a estrutura, composição e os diferentes modos de vibração. Para varrer essa gama de frequência, utiliza-se o infravermelho (ALVES, 2011).

O FTIR consiste em avaliar o espectro gerado pela energia vibracional resultante da radiação infravermelha absorvida pela molécula. O espectro é utilizado para identificar os grupos funcionais e seus respectivos tipos de ligação presentes na molécula a partir dos valores gerados no espectro das bandas de absorção (BACELLAR, 2014). A incidência de radiação infravermelha na molécula, na mesma frequência da vibração de uma de suas ligações aumentará a amplitude desta vibração, absorvendo parte da energia incidente, reduzindo a intensidade da radiação transmitida, gerando um espectro de infravermelho característico do material em análise. As ligações químicas presentes na amostra absorvem seletivamente estas frequências, o que permite sua identificação. Assim, a identificação de uma amostra é feita a partir da análise da posição e intensidade dos picos de absorção presentes no espectro, às vezes comparando-se com tabelas padrões (RAMÍREZ, 2011). Estes valores são cruzados como uma tabela que permite sua identificação (SILVERSTEIN et al., 1979). De acordo com Wegener et al. (1983), as bandas típicas para lignina são encontradas entre 1500 e 1600cm^{-1} e entre 1470 e 1460cm^{-1} .

Tejado et al. (2007), na caracterização físico-química de diferentes fontes de ligninas, identificaram bandas em 1600 , 1515 e 1425cm^{-1} , correspondentes à vibração do anel aromático. As bandas em 2960 , 2925 , 2850 e 1460cm^{-1} são relativas à vibração dos grupos C-H, do C-H₂ e do C-H₃.

2.5 RECURSOS GENÉTICOS E MELHORAMENTO GENÉTICO DE SISAL

Uma das atividades mais importantes dentro dos programas de melhoramento é a conservação ou manutenção de germoplasma. O germoplasma conservado serve como um reservatório de alelos competitivos, que podem ser acessados pelos melhoristas, quando buscam desenvolver cultivares resistentes/tolerantes aos principais fatores bióticos e abióticos. O local onde os acessos, que compõem o germoplasma, são conservados é denominado de Banco de Germoplasma (MAXTED et al., 1997).

A conservação é o processo que retém ativamente os grupos gênicos com a perspectiva de utilização e exploração, presente ou futura, dessa diversidade genética. A base da conservação é a diversidade genética que é constituída pela soma das variações alélicas encontradas na natureza. Há uma ligação, íntima e essencial entre conservação e utilização. Todas as plantas possuem algum valor, quer em termos potenciais para o melhoramento da cultura, para utilização imediata, farmacêutica, de recreio, para ecoturismo ou mesmo em nível educacional. Assim, como toda a biodiversidade, a diversidade genética é parte do patrimônio nacional, tal como é a arte e a cultura. Deste modo, torna-se importante explicitar a ligação entre manutenção e utilização em qualquer estratégia de conservação (MAXTED et al., 2008).

O melhoramento vegetal surgiu provavelmente com a agricultura. No início, o processo era totalmente arbitrário, e consistia apenas da escolha das melhores plantas, as que produziam mais e apresentavam um produto de melhor qualidade (grão, fruto, raiz, folha). As técnicas do melhoramento de plantas tomaram um direcionamento e crescimento mais concreto depois das descobertas de Mendel. A partir do refinamento e ajustes dos métodos de melhoramento, a seleção de indivíduos e suas características puderam ser direcionadas ao nível da modificação dos caracteres hereditários (BORÉM, 2005).

Plantas que se propagam vegetativamente expressam uma baixa variabilidade genética, tendo em vista que os indivíduos propagados são clones da planta mãe. Este fato dificulta o melhoramento das espécies, como é o caso da *A. sisalana* Perr (sisal) que se propaga por meio de bulbilhos que nascem adjacentes a planta mãe e se conectam a elas por rizomas. Segundo Oashi (1999), no Brasil, o método adotado para perpetuação do sisal faz com que os perfilhos possuam um desenvolvimento fraco, tendo em vista que são retirados da planta mãe e transportados diretamente para o local definitivo, possuindo tamanhos variados, gerando, assim, um comprometimento na qualidade do produto final dessa espécie.

A *Agave sisalana* Perr é uma das poucas espécies cultivada no Brasil para a produção de fibras denominadas "duras" ou estruturais. Suas características agrônômicas e tecnológicas têm permanecido inalteradas em decorrência de sua propagação. O melhoramento genético do sisal por hibridação apresenta-se estagnado, e a propagação por via sexuada resulta em descendentes que apresentam grande quantidade de espinhos nas bordas das folhas, o que inviabiliza seu cultivo econômico (DAVIS et al., 2010). Entretanto, verifica-se que esse fato

não ocorre com outras espécies de *Agave*, as quais produzem híbridos com ou sem espinhos (AZZINI et al., 1998).

Um dos principais objetivos do melhoramento genético do sisal é a obtenção de indivíduos sem espinhos, e com maior número de folhas, que viabilizem o aproveitamento integral das fibras estruturais. Aliado a isto, tem-se a necessidade de desenvolver genótipos adaptados às regiões produtoras, com aproveitamento dos resíduos resultantes do desfibramento, tolerantes a doenças, bem como, estabelecer um manejo eficiente da fertilidade dos solos para o pleno desenvolvimento da cultura (MEDINA, 1954).

As pesquisas com melhoramento genético, desenvolvidas para o sisal, durante longo período, tinham como objetivo à obtenção de uma planta que apresentasse as características quantitativas e qualitativas do sisal comum (*Agave sisalana* Perr.). Entretanto, sua propagação assexual não permitia grandes avanços para os melhoristas que vislumbravam a obtenção de genótipos superiores à planta mãe. Era necessário imprimir esforços para a geração de novas constituições genéticas, pois o sisal cultivado mundialmente possuía, provavelmente, a mesma característica, por ser provido de um mesmo ancestral (SALGADO et al., 1979).

Medina (1954) e Kirby (1963) conseguiram induzir a produção de frutos e sementes de sisal e esperava obter plantas superiores à planta mãe, apesar das inúmeras tentativas, os resultados foram negativos. No entanto, resultados promissores foram obtidos por Lock (1962) e Allen (1971) ao cruzarem duas espécies diplóides: *Agave. angustifolia* x *A. amaniensis*, que resultou no retrocruzamento de seu F₁ com *A. amamensis*, indivíduos de grande interesse, dentre os quais se destaca o híbrido 11.648, com uma produção de folhas e fibras equivalente a duas ou três vezes à do sisal comum. Porém, esse híbrido não chegou a resolver os problemas de todas as regiões sisaleiras, pois além de exigente em solo e clima, mostrou-se suscetível ao ataque de algumas espécies de *Phytophthora*.

Salgado et al. (1979), em trabalhos de melhoramento por hibridação de sisal, destacou o aparecimento de plantas albinas na proporção aproximada de 1:3, em relação às de pigmentação normal, que morreram logo após o nascimento, bem como a ocorrência de segregação para número e tamanho de folhas, conformação das plantas, coloração, formato e ocorrência de espinhos nas margens das folhas. Entretanto, observou variação na produção de folhas, em número e peso, havendo plantas que apresentaram produção superior ao sisal comum.

Para que se possam atingir patamares superiores de produtividade, são necessários trabalhos de melhoramento genético para o sisal levando em consideração qualidade da fibra, tolerância a doenças e pragas e capacidade de adaptação a diferentes ambientes. No entanto, o primeiro aspecto a ser considerado para se alcançar êxito nos programas de melhoramento genético é a existência ou a geração de variabilidade, que está atrelada aos processos ecológicos, que conferem as plantas a necessidade de adaptação aos diferentes locais onde estas ocorrem (NESBITT et al., 2002). Tudo isso depende do Germoplasma, cuja conservação constitui atividade fundamental para o melhoramento genético, uma vez que permite o acesso a essas fontes de variabilidade. Ainda, mediante caracterização dos genótipos, é possível à identificação de genes envolvidos em características agronômicas de interesse, e sua utilização de forma ordenada no programa de melhoramento (GONÇALVES et al., 2008).

Para o uso racional do germoplasma, necessita-se conhecer a sua base genética. Essas informações podem ser obtidas através de levantamento de dados dos acessos, presentes em bancos e/ou coleções de germoplasma, por meio da caracterização, utilizando-se de descritores morfológicos, bioquímicos e, mais recentemente, moleculares. A caracterização morfológica é valiosa, e quando associada a descritores bioquímicos e moleculares permite inferir em maior conteúdo informativo aos resultados, tendo em vista que a variabilidade com base no DNA, não tem a interferência do ambiente. Assim, as avaliações complementam-se e podem elucidar melhor a variabilidade existente quando associados (CARELLI, 2003).

2.6 DESCRITORES MORFOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS

2.6.1 Descritores Morfológicos

Estudar a diversidade genética é uma atividade de grande relevância para o melhoramento de plantas e para a conservação de muitas espécies. Por meio desse conhecimento, é possível identificar genótipos contrastantes, com características de interesse, como fontes de resistência a doenças e alta produtividade, a fim de realizar cruzamentos promissores, para serem utilizados em programas de melhoramento (CRUZ e CARNEIRO, 2006). Ademais, estudos de divergência genética permitem inferir na variabilidade presente nas coleções e identificação de duplicatas, facilitando o manejo que envolve as atividades de caracterização desse germoplasma.

A diversidade genética pode ser verificada por uso de diversos tipos de descritores, entre os quais, destacam-se os morfoagronômicos, citológicos, bioquímicos, físico-químicos, fisiológicos e moleculares (CRUZ e CARNEIRO, 2006). Os descritores morfológicos são baseados em caracteres de fácil detecção e mensuração, com pouca influência do ambiente. A caracterização morfológica constitui a etapa fundamental para o efetivo uso dos recursos genéticos conservados em bancos de germoplasma, uma vez que inúmeros acessos de diversas espécies vegetais encontram-se armazenados em bancos espalhados por todo país, sem as informações mínimas necessárias que facilitam o seu emprego em programas de melhoramento (VALLS, 1998).

O processo de caracterização consiste na anotação de descritores botânicos, facilmente visíveis e/ou mensuráveis, e que são expressos em todos os ambientes. A variação fenotípica encontrada em uma determinada espécie pode ser devida ao efeito do ambiente ou às diferenças genéticas. A caracterização é uma atividade essencial no manejo, melhoramento genético e conservação das espécies, pois consiste em obter dados para descrever, identificar e diferenciar acessos dentro de espécies, classes ou categorias, por meio de descritores adequados (QUEROL, 1993; VICENTE et al., 2005). Segundo Montalván e Faria (1999) a existência de variação genética é um pré-requisito para o melhoramento de plantas.

O grande problema enfrentado na caracterização morfológica é a natureza quantitativa dos caracteres, que os tornam fortemente influenciados pelo ambiente. Assim, a identificação e enumeração de características morfológicas visíveis, muitas vezes, tornam-se subjetivas para o avaliador (BRESSEAN, 2005). Além disso, o número de marcadores morfológicos distintos em uma mesma linhagem é restrito às poucas espécies de plantas, o que reduz a sua eficiência em estudos genéticos.

Não obstante, as limitações, as descrições morfológicas são, ainda hoje, o cartão de apresentação de uma nova variedade. Esses descritores exercem papel fundamental na divulgação das características agronômicas de novos materiais genéticos e podem influenciar decisivamente na escolha de variedades por parte de agricultores e outros interessados. Contudo, as descrições morfológicas apresentam limitações, especialmente na distinção de genótipos elites. Em culturas de base genética estreita, esses descritores podem muitas vezes não distinguir adequadamente, cultivares comerciais (SMITH; SMITH, 1992; PECCHIONI et al., 1996). Além disso, algumas características morfológicas podem ter a desvantagem de serem influenciadas, em maior ou menor grau, por fatores ambientais. Uma alternativa é

associar os descritores morfológicos com outros tipos de descritores como: fisiológicos, moleculares, bioquímicos e físico-químicos (CRUZ e CARNEIRO, 2006).

2.6.2 Descritores Bioquímicos

Descritores químicos permitem análises qualitativas e quantitativas para identificação dos principais compostos químicos presentes em amostras (MANTILLA et al., 2012). Uma gama de compostos pode ser avaliada, de acordo com esses descritores, associada a distintas técnicas. A cultura do sisal, por exemplo, apresenta em sua composição saponinas esteroidais (SHARMA et al., 2011), sendo de grande relevância para estudos farmacológicos, mas também importância por apresentar um elevado teor de açúcares, sendo promissor para a geração de bioprodutos e biocombustíveis. Técnicas como a Refratometria na Escala Brix, Ácido Dinitrosalicílico (DNS) e o Método Antrona, são métodos específicos e eficientes para quantificar o teor de açúcares em amostras.

Os sólidos solúveis (SS), medidos pela Escala Grau Brix, são constituídos por compostos solúveis em água, que representam substâncias, basicamente açúcares, em geral a sacarose, a frutose e a glicose, ácidos, vitamina C e algumas pectinas. Medidos por refratometria, os sólidos solúveis são usados como índice dos açúcares totais em frutos, indicando o grau de maturidade, e em extratos de folhas, demonstrando o teor de açúcares presentes. Vale ressaltar, que o teor de sólidos solúveis pode variar com a quantidade de chuva durante a safra, fatores climáticos, variedade, solo, dentre outros (OLIVEIRA et al., 1999; MARTINS, 2007).

Silva et al. (2003) relata que os açúcares solúveis totais (AST), encontrados em extratos vegetais, podem ser quantificados pelo método da Antrona, que se baseia na ação hidrolítica e desidratante do ácido sulfúrico concentrado sobre os carboidratos. Quando a reação é levada a efeito com carboidratos com ligações glicosídicas, estas são hidrolisadas e os açúcares simples desidratados para furfural ou hidroximetilfurfural. Essas substâncias se condensam com a antrona (9, 10-dihidro-9-oxoantraceno) resultando em um produto de coloração azul. Já para a obtenção dos açúcares redutores (AR) uma das alternativas de sua obtenção, é a metodologia do ácido Dinitrosalicílico (DNS) em meio alcalino, onde o AR reduz o DNS a ácido 3-amido-5-nitrossalicílico, enquanto o grupamento aldeído é oxidado a ácido aldônico. O ácido 3-amino-5-nitrossalicílico é um produto de cor laranja, sendo a intensidade da coloração correspondente à concentração de AR (MILLER, 1959; SILVA et al., 2003).

REFERÊNCIAS

ABREU, K. C. L. de M. **Epidemiologia da podridão vermelha do sisal no Estado da Bahia**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, 2010, páginas.

AGEITEC. Árvore do conhecimento Sisal. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sisal/arvore/CONT000gv5gb5fi02wx7ha0g934vg99rv0jh.html>. Acesso: 18 de Novembro, 2015.

AGOPYAN, V. *et al.* Elastic properties of three-phase composites: analytical model based on the modified shear-lag model and method of cells. **Composites sci. Technol.**, v.65, p.1264-1275, 2005.

ALLEN, D. J. Control of zebra-disease of Agave hybrids by breeding for resistance to *Phytophthora* spp. **PANS**, v.17, n.1p.42-46, 1971.

ALMARAZ-ABARCA, N. *et al.* Variability of the foliar phenol profiles of the Agave *Victoriae-reginae* complex (Agavaceae). **Botanical Sciences** 91 (3): pag. 295-306, 2013.

ALVES, R. E. **Caracterização de fibras lignocelulósicas pré-tratadas por meio de técnicas espectroscópicas e microscópicas ópticas de alta resolução**. Dissertação Mestrado UFSCAR, 2011.

ALZATE-MARIN, A. L.; CERVIGNI, G. D. L.; MOREIRA, M. A.; BARRO, E. G. Seleção Assistida por Marcadores Moleculares Visando ao Desenvolvimento de Plantas Resistentes a Doenças, com Ênfase em Feijoeiro e Soja. **Fitopatol. bras.** 30(4), 2005.

AZZINI, A., GONDIM-TOMAZ, R. M. A., ERISMANN, N. M., COSTA, A. A., JUNIOR, R. B. Caracterização tecnológica de híbridos de *agave*. **Bragantia**. vol. 57. n. 1. Campinas, 1998.

BACELLAR, R. S. **Avaliação de rotas para obtenção de nanocelulose a partir de fibras de côco**. Tese (Doutorado) –PUC, Rio de Janeiro, 2014.

BARRETO, A. C. H. *et al.* Cardanol/Biocomposites Reinforced with Jute Fiber: Microstructure, Biodegradability, and Mechanical Properties. **Polymer Composites**, 31, n.1, p.1928–1937, 2010.

BARROS, C. C.; LACERDA, T. S. P.; LISBOA, V. S.; GOULART, S. A.; MULINARI, D. R. Propriedades mecânicas dos compósitos híbridos vidro/sisal. **Cadernos UNIFOA**[Internet]. 2012 abr (acesso em 24 de jan, 2016)18. Disponível em: <http://www.netzsch-thermalanalysis.com/>

BELTRÃO, N. E. M. A planta. In: ANDRADE, W. (Ed.). **O Sisal do Brasil**. 1.ed. Salvador: SINDIFIBRAS; Brasília: APEX-Brasil, 2006.

BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa, Ed. UFLA, 2ªed. 969p. 2005.

BRESSAN, E.A. **Diversidade Isoenzimática e morfológica de inhame (*Dioscorea spp.*) coletados em roças de agricultura tradicional do Vale da Ribeira – SP.** 2005. 172p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

BROWN, D. J.; SCHLINK, A. C. A comparison of fibre diameter profiles generated using 2 mm snippet techniques to those measured using the OFDA2000. **Wool Technology and Sheep Breeding**, V. 50, pág.27-39, 2002.

CALLOW, R.K.; CORNFORTH, J.W. & SPENSLEY, P.C.A source of hecogenin. **Chemistry and Industry**, London, n.33: 699-700, 1951.

CARELLI, B.P. **Estimativa de variabilidade genética em acessos crioulos e cultivares comerciais de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) do sul do Brasil e avaliação da presença do gene Mi.** Tese (Doutorado), São Carlos, UFSCAR, 2003.

CASTRO, C. N. Agricultura no Nordeste Brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. **IPEA**, n.1786, Rio de Janeiro, 2012.

CERQUEIRA, G. *et al.* Effects of hecogenin and its possible mechanism of action on experimental models of gastric ulcer in mice. **European Journal of pharmacology**, v.683, pag. 260-269, 2012.

CHEN, H., WANG, A.; Kinetic and isothermal studies of lead ion adsorption onto palygorskite clay. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 307, n. 2, p. 309-316, 2007.

CHEN, P. Y.; et al. Isolation and Immunomodulatory Effect of Homoisoflavones and Flavones from *Agave sisalana* Perrine ex Engelm. **Molecules**, v.14, pág.1789-1795, 2009.

CHEN, P.Y.; et al. Cytotoxic steroidal saponins from *Agave sisalana*. **Planta Med.**, v. 77, pag. 929-933, 2011.

CÍCERO, E.A.S., PITELLI, R.A., SENA, J.A.D. e FERRAUDO, A.S Variabilidade Genética e Sensibilidade de Acessos de *Pistia Stratiotes* ao Herbicida Glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 579-587, 2007.

CONAB. Sisal. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 19/05/2014.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 2.ed. Viçosa: UFV, pag. 585, 2006.

DÁVILA, M.; CASTILLO, M.A.; LAURENTIN, H. Uso de marcadores moleculares ISSR para inferir las relaciones genéticas y la variabilidad intraespecífico em *Agave*. **Revista Faculdade Agronomia**. 33: 93-111, 2007.

DAVIS, S.C. *et al.* The global potential for Agave as a biofuel feedstock. **Global Change Biology Bioenergy**, v.3, pag. 68-78, 2010.

DEBNATH, M. *et al.* Biotechnological intervention of Agave sisalana: A unique fiber yielding plant with medicinal property. **Journal of Medicinal Plants Research**, v.4, n.3, pag.177-187, 2010.

DRUMOND, M. A. *et al.* **Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga**. Petrolina, 2000. 23 p. (Documento para discussão no GT Estratégias para o Uso Sustentável). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/33873/1/uso-sustentavel.pdf>.

DUNDER, R. J. *et al.* Anti-inflammatory and analgesic potential of hydrolyzed extract of Agave sisalana Perrine ex Engelm., Asparagaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 20, p. 376-381, 2010.

EGUIARTE, L.E.F.; DUGUA, X.A.; MUNIVE, M.R.; DÍAZ, C.T.; MONTELLANO A.S.; VÁZQUEZ, A.V. Diversidad Genética en dos Especies Mezcaleras. **Proyecto Conabio**. México, DF. 38: 33 p, 2003.

ERENO, D. Leve e resistente Curauá substitui fibra de vidro em peças de carro. **Revista Pesquisa FAPESP**, v.141, p. 20-24, 2007.

ESCAMILLA-TREVIÑO, L. L. Potential of plants from the Genus Agave as Bioenergy Crops. **BioEnergy Research**, v.5, n.1, pag. 1-9, 2011.

FAO STAT Database. Disponível em :<http://faostat.fao.org>. Acesso em 02 de outubro de 2015.

FARIA, P. N. **Avaliação de Métodos para a determinação do número ótimo de clusters em estudos de divergência genética entre acessos de pimenta**. 2009. 54p. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria). Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2009.

FERRÃO, M. F. *et al.* Fourier Transform Infrared (FTIR) e análise multivariada para identificação de diferentes óleos vegetais usados na Produção de biodiesel. **Sensores**. v 13 (4), 2013.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética**. Brasília: EMBRAPA, CENARGEM, p. 220, 1998.

FERREIRA, M.A.J.F.; *et al.* Correlações genóticas, fenotípicas e de ambiente entre dez caracteres de melancia e suas implicações para o melhoramento genético. **Horticultura Brasileira**, vol. 21, pag. 438- 441. 2003.

FERREIRA, S. R.; LIMA, P. R. L.; SILVA, F. A.; TOLEDO FILHO, R. D. Influência de ciclos molhagem-secagem em fibras de sisal sobre a aderência com matrizes de cimento Portland. **Revista Matéria**, v. 17, n. 2, p. 1024-1034, 2012.

GCEA/IBGE - Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias/ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www1.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa11200602.shtm>. Acesso em 02 de outubro 2015.

GENOMICS: GTL roadmap, U>S. Department of Energy Office of Science, August 2005. Disponível em <<http://genomicsgtl.energy.gov/roadmap/>>. Acesso em 16 de novembro, 2015.

GENTRY, H.S. Agaves of continental North America. **University of Arizona Press**, Tucson. 1982.

GOMES, M. A. **Propriedades Ópticas e Estruturais dos Nanocristais de Y₂O₃ Puros e Dopados**

GONÇALVES, L. S. A; *et al.* Divergência genética em tomate estimada por marcadores RAPD em comparação com descritores multicategóricos. **Horticultura Brasileira**. Vol 26, pag. 364-370. 2008.

GONDIM, T. M. S; SOUZA, L. C. Caracterização de Frutos e Sementes de Sisal. **Circular técnica (EMBRAPA)**. Campina Grande, PB, Novembro, 2009.

GONZALES, E.; HAMRICK, J.L. Distribution of genetic diversity among disjunct populations of the rare forest understory herb, *Trillium reliquum*. **Heredity**. 95: 306-314, 2005.

GOTTDIENER, E.S. Genética de poblaciones silvestres y cultivadas de dos especies mezcaleras: *Agave cupreata* y *Agave potatorum*. Dissertação de mestrado. Posgrado en Ciencias Biológicas. **Instituto de Ecología**. México DF. 122 p, 2008.

GUTIÉRREZ, A. et al. Chemical composition of lipophilic extractives from sisal (*Agave sisalana*) fibers. **Industrial Crops and Products**, v. 28, n. 1, p. 81–87, 2008.

HERNANDEZ, L.T. **Genética de Poblaciones de *Agave striata* Zucc.** Universidad Autónoma de México. Dissertação, Mexico. DF. 80 p, 2006.

HOLANDA, E. B. N. **Morfologia e propriedades mecânicas da fibra de sisal unidirecional e em sobreposição de compósito com resina epóxi.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

JESUS JUNIOR, L. A. **Árvore do conhecimento: Território sisal.** Agência Embrapa de informação tecnológica. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fckg3dhd02wx5eo0a2ndxyl95m7ip.html. Acesso em 17 de agosto de 2014.

JESUS, O. N. de. **Caracterização morfológica e molecular de cultivares de bananeira.** Recife: UFRPE. 83p. Dissertação (Mestrado), 2006.

- JUDD, W. S. et al. Plant systematics a phylogenetic approach. 3. ed. **Massachusetts: Sinauer Associates Inc.**, pag.565, 2007.
- KIRBY, R. H. Agave family. In: Vegetable fibres. New York, **Interscience**, p.217-265. 1963.
- LI, Y.; MAI, Y. W.; YE, L. - Composites Sci. **Technol.**, **6**, p.2037, 2000.
- LIU, L. *et al.* Structural features, antioxidant and immunological activity of a new polysaccharide (SP1) from sisal residue. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.59, pag. 184-191, 2013.
- LIU, Y., HU, H. X-ray diffraction study of bamboo fibres treated with NaOH. **Fibers Polym.**19, pag.735–739, 2008.
- LOCK, G. W. **Sisal**. London, Spottiswoode, Ballantyne, pag.355, 1962.
- LOPES, P.M.; BRITO, J. L.; GOMES, S.; MEIRINHOS, J.; SANTOS, L.; GUEDESPINTO, H. RAPD and ISSR molecular markers in *Olea europaea* L.: genetic variability and identification of molecular cultivars. **Genetic Resources and Crop Evolution**. v. 54, pp.117-128, 2007.
- LÜTTGE, U., KLUGE, M. & BAUER, G. **Botanique Traitéfondamental**. (Trad. de SIEFFERT, V. A.). Lavoisier, Tec e Doc. Paris. 1996.
- MANTILLA, S. P. S., SANTOS, É. B., L. B. DE B., FREITAS, M. Q. de. Análise descritiva quantitativa aplicada em mel de abelhas (*Apis mellifera*): uma revisão. **Colloquium Agrariae**, São Paulo, v. 8, n.2, p. 75-84, Jul./ Dez. 2012.
- MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.
- MARTIN, A. R. et al. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade *Agave sisalana*. **Polímeros**, São Carlos, v. 19, n. 1, pag. 40-46, 2009.
- MARTINS, M. A. - **Fibra de Sisal: Mercerização, Acetilação e Aplicação em Compósitos de Borracha de Pneu Triturado**, Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Brasil 2001.
- MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C. - **J. Appl. Polym.Sci.**, **91**, p.670, 2004.
- MARTINS, M. L. A., BORGES, S. V., DELIZA, R., CASTRO, F. T. C. e CAVALCANTE, N. B. Características de doce em massa de umbu verde e maduro e aceitação pelos consumidores. **Pesq. agropec. bras.**, 42(9), 1329-1333, 2007.
- MAXTED, N.; FORD-LLOYD, B.V.; HAWKES, J.G. (eds). Plant genetic conservation: the in situ approach. **Chapman and Hall**, London, 1997.

MAXTED, N.; FORD-LLOYD, B.V.; KELL, S.P.; IRIONDO, J.; DULLOO, E. TUROK, J. Crop wild relative conservation and use. **CAB International**, Wallingford, UK. 2008.

MEDINA, J. C. - “O sisal”, **Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo**, São Paulo 1954.

MEGGIATO, JR. D. et al. Sisal fibers: Surface chemical modification using reagent obtained from renewable source, characterization of hemicellulose and lignin as model study. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 55, pag 8576–8584, 2007.

MELO FILHO, J. A. **Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibras de sisal**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, New York. v. 31, pag 426-428, 1959.

MONTALVÁN, R.; FARIA, R. T. Capítulo 3: Variabilidade genética e germoplasma. In: DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. **Melhoramento genético de plantas**. Editora UEL, p. 27-38. 1999.

MORAES, A. G. O. **Estudo do íon boroidreto como agente protetor de fibras de sisal no tratamento em meio alcalino**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 19 de maio de 2010.

MWAIKAMBO, L.Y.; ANSELL, M. P. - **J. Appl. Polym.Sci.**, 84, pag. 2222. 2002.

NESBITT, T.C.; TANSKLEY, S.D. Comparative Sequencing in the Genus *Lycopersicon*: Implications for the Evolution of Fruit Size in the Domestication of Cultivated Tomatoes. **Genetics**, vol 162, pag. 365–379 Set., 2002.

NOBEL, P. S. Physicochemical and environmental plant physiology. **Academic Press**. New York. 1991.

NOBEL, P.S. Environmental biology of agaves and cacti. **Cambridge University Press**. 1988.

OASHI, M. C. G. **Estudo da cadeia produtiva como subsidio para pesquisa e desenvolvimento do agronegócio do sisal na Paraíba**. 1999. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. 1999.

OLIVEIRA, E. J. *et al*. Polymorphic microsatellite marker set for *Carica papaya* L. and its use in molecular-assisted selection. **Euphytica**, v. 173, pp.279-287, 2010.

OLIVEIRA, M. E. B. *et al* . Avaliação de Parâmetros de qualidade físico-químico de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. **Ciênc.Tecnol.Aliment**.v.19, n.3 Campinas, 1999.

OSMOND, C. B., & HOLTUM, J. A. M. Crassulacean acid metabolism.in: Photosynthesis. The biochemistry of plants, a comprehensive treatise.HATCH, M. D. e BOARDMAN, N. K. (eds.) **Academic Press**. New York, v. 8, pp. 283-328,1981.

PECCHIONI, N.; FACCIOLI, P.; MONETTI, A.; STANCA, A.M.; TERZI, V. Molecular markers for genotype identification in small grain cereals. **Journal of Genetics and Breeding**, Roma, v.50, n.3, p.203-219, 1996.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 150 p. 1998.

QUEROL, D. **Recursos genéticos, nosso tesouro esquecido: abordagem sócioeconômica**. Rio de Janeiro: AS-PTA, p. 206. 1993.

RAMÍREZ, M. G. L. **Desenvolvimento de biocompósitos de amido termoplástico reforçados por fibras de côco verde**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

RAO, V. R; RILEY, K.W.The use of biotechnology for conservation and utilization of plant genetic resources.**Plant Genetic Resources Newsletter** v.97: 3-20, 2008.

REDDY, M.P.; SARLA, N.; SIDDIQ, E. A. Inter simple sequence repeat (ISSR) polymorphism and its application in plant breeding.**Euphytica**. 128: 9-17, 2002.

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. – **Carbohydr. Polym.**81, 88. 2010.

ROSSI, A.A.B.; OLIVEIRA, L.O.; VENTURINI, B.A., SILVA, R.S. Genetic diversity and geographic differentiation of disjunct Atlantic and Amazonian populations of *Psychotriapecacuanha* (Rubiaceae).**Genética**, n. 136, p. 57-67, 2009.

SALGADO, A.L.B.; CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. Melhoramento de Agave por hibridação. **Bragantia**, Campinas, 38:1-6, 1979.

SANTOS, J. D. G. et al. Antimicrobial activity of Agave sisalana. **African Journal of Biotechnology**, v.8, n.22, pag. 6181-6184, 2009.

SANTOS, J.D.G et al. **Antimicrobial activity of Agave sisalana**. African Journal of Biotechnology, v.8, n.22, p.6181-6184, 2009.

SAPUAN, S.M.; et al. Mechanical properties of woven banana fiber reinforced epoxy composites.**Mat. Des.**, v. 27, pag. 689-693, 2006.

SAYAGO, D. **Diagnóstico do Território do Sisal**, BA: preliminar. Brasília, DF: Agrofuturo, 2007. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/>

search?q=cache:1G_1USvyTMAJ:www.infoteca.cnptia.embrapa.br/. Acesso em: 16 jun. 2015

SEAGRI. Disponível em <http://www.seagri.ba.gov.br/mapaagricola>. Acesso em janeiro 2013.

SEEB, J. E.; CARVALHO, G.; HAUSER, L.; NAISH, K.; ROBERTS, S.; SEEB, L. W. Single-nucleotide polymorphism (SNP) discovery and applications of SNP genotyping in nonmodel organisms. *Molecular Ecology Resources*, 2011.

SHARMA, H.S.S. et al. Fine structure of chemically modified flax fiber. *J. Textile Ins.* 86, pag. 539–548, 2011.

SHARMA, S.; VARSHNEY, V.K. Chemical analysis of Agave sisalana juice for its possible utilization. *Acta Chim. Pharm. Indica*, v. 2, pag. 60–66, 2012.

SILVA, O. R. R. F. da; et al. Cultivo do Sisal no Nordeste Brasileiro, *Circular Técnica* n. 123, Embrapa, Campina Grande, PB, 2008.

SILVA, O. R. R.; BELTRÃO, N. R. R. F. - “O Agronegócio do Sisal no Brasil”, **Embrapa**, Brasília 1999.

SILVA, O.R.R.F.; SUINAGA, F.A.; COUTINHO, W.M. Cadeia produtiva. In: ANDRADE, W (Org.). **O sisal do Brasil**. Salvador: SINDIFIBRAS-Sindicato das Indústrias de Fibras Vegetais da Bahia; 156 p. 2006.

SILVA, R. V. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Centro Tecnológico. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). São Carlos, 157 f. 2003.

SILVERSTEIN, R.M.; BASSLER, G.C.; MORRI L, T.C. Spectrometric Identification of Organic Compounds, 4th ed, **John Wiley e Sons**, 1979.

SMITH, J.S.C.; SMITTH, O.S. Fingerprinting crop varieties. *Advances in Agronomy*, v. 47, pag.85-140, 1992.

SOLENZAL, A. I. N; PLANES, R. L. Hidrolisis y tratamientos químicos a los materials celulósicos. *Científicos-Técnica*, p.30-32, 1987.

SOLLER, M.; BECKMANN, J. S. Genetic polymorphism in varietal identification and genetic improvement. *Theor.appl.Genet.* 67: 25-33, 1983.

SOUZA, L. A. B. de.; FILHO, G. N. S.; OLIVEIRA, V. L. de. Eficiência de fungos ectomicorrízicos na absorção de fósforo e na promoção do crescimento de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 4, p.349-355, 2004.

SOUZA, S. F. **Obtenção de nanofibras de curauá e aplicação como reforço em compósitos baseados em PVA**. Dissertação(Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010.

SPINACÉ, M. A. S.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C.; GROSSI, T. A.; DE PAOLI, M. A. Poliofelinhas reforçadas com fibras vegetais curtas: Sisal vsCurauá. **Polímeros**, v. 21, nº3, pp.168-174, 2013.

SUYENAGA, E.S., et al. O risco do uso de plantas medicinais indicadas por ervateiros no tratamento da sinusite em Porto Alegre. **Estudos**, v. 34, pag. 833–842, 2007.

TAKAI, M.; SHIMIZU, Y.; TANNO, K.; HAYASHI, J. Cellulose. **Cellulose Chemistry Technology**. V.19, p.217, 1985.

TANOBE, V.O. A.; SYDENSTRICKER, T. H. D.; MUNARO, M.; AMICO, S. C.A comprehensive characterization of chemically treated Brazilian sponge-gourds (*Luffa cylindrica*). **Polymer Testing**, v. 24, p. 474-482, 2005.

TEJADO, A., et al., Physico-chemical characterization of lignins from different sources for use in phenolformaldehyde resin synthesis, **Bioresource Technology** 98 (8), 1655-1663, 2007.

TIKUNOV Yu.M., KHRUSTALEVA L.I., KARLOV G.I. Application of ISSR markers in the genus *Lycopersicon*. **Euphytica**, v.131, p.71–80, 2003.

TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E. Resistência ao impacto e outras propriedades de compósitos lignocelulósicos: matrizes termofixas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 4, p. 228-239, 2002.

TRELIM. **Informações gerais sobre o sisal**. Disponível em: <<http://www.trelim.com.br/index-63.html>>. Acesso em: 14 de setembro de 2015.

VALLS, J. F. M. **Caracterização morfológica, reprodutiva e bioquímica de germoplasma vegetal**. In: ENCONTRO SOBRE RECURSOS GENÉTICOS, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal, SP, 1998. p. 106-128, 1998.

VICENTE, M. C.; GUZMÁN, F. A.; ENGELS, J.; RAMANATHA RAO, V. Genetic Characterization and its use in decision making for the conservation of crop germplasm. In: **The Role of Biotechnology**. Turin, p. 121-128. 2005.

WEBER, J. C.; LARWANOU, M.; ABASSE, T. A.; KALINGANIRE, A. Growth and survival of *Prosopis africana* provenances related to rainfall gradients in the West African Sahel. **For EcolManag**. 2009.

WEGENER, G., PRZYKLENK, M., FENGEL, D., Hexa- fluoropropanol as valuable solvent for lignin in UV and IR spectroscopy. **Holzforschung** 37, 303 a 307, 1983.

ZHANG, X.; LIU, L.; LIN, C. Isolation, structural characterization and antioxidant activity of a neutral polysaccharide from Sisal waste. **Food Hydrocoll**, v. 39, pag.10–18, 2014.

ZIETKIEWICZ, E.; RAFALSKI, A.; LABUDA, D. Genome Fingerprinting by simple sequence repeats (SSR) - anchored polymerase chain reaction amplification. **Genomics**. 20: 176-183, 1994.

ZULLO, M.A.T., et al. Sapogeninas esteroídicas em sisal. **Bragantia**, v.48, pag. 21–25, 1989.

CAPÍTULO I

DISSIMILARIDADE GENÉTICA EM POPULAÇÕES DE SISAL UTILIZANDO DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS¹

¹Artigo submetido ao comitê editorial do periódico científico CAATINGA

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi utilizar descritores morfológicos, bioquímicos e físicos, em genótipos de sisal, oriundos de diferentes municípios da Bahia, visando à caracterização e identificação de variabilidade para fins de melhoramento. Um total de 75 amostras foi coletado em quatro municípios do Semiárido. Essas amostras foram avaliadas por meio de descritores morfológicos, sendo dois qualitativos e 15 quantitativos. Para as variáveis quantitativas foram realizadas análises descritivas, teste de normalidade de Shapiro-Wilks, coeficiente de correlação de Student e, a contribuição relativa dos caracteres para a variabilidade, pelo método de Singh. Para a análise dos dados foi utilizado o programa Genes. Para o estudo da diversidade genética, utilizou-se a distância euclidiana média para as variáveis quantitativas, Cole-Rodgers para os dados qualitativos e o algoritmo de Gower para a análise simultânea dos dados. O método de agrupamento utilizado foi UPGMA e o número de grupos deu-se pelo critério Pseudo-t do programa R. O coeficiente de correlação cofenético foi determinado para verificar a validação dos agrupamentos e os dendrogramas foram gerados pelo *Software* Mega-5. As análises estatísticas mostraram que existe variabilidade e heterogeneidade entre as populações avaliadas. As variáveis tensão de ápice e base, diâmetro da copa e número de folhas servem de base para a diferenciação entre os indivíduos e, que plantas de baixa estatura possuem maior teor em açúcares e máxima resistência mecânica das fibras.

Palavras Chave: *Agave sisalana*, variabilidade, pré-melhoramento.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate sisal genotypes from different municipalities the state of Bahia, using morphological descriptors to characterize the species and identification of variability for breeding purposes. Morphological descriptors were used, two were qualitative and 14 quantitative, through measurements of the plant itself in the natural environment, laboratory analysis of physical-chemical descriptors and tensile strength of sisal fibers. For quantitative variables were performed descriptive analyses, normality test of Shapiro-Wilks, student's correlation coefficient and the relative contribution of characters by Singh method. For the determination of all data was used statistical program Genes. To study of genetic diversity, we used the average Euclidean distance for quantitative variables, Cole-Rodgers for qualitative data and Gower algorithm for simultaneous analysis. In the clustering method was used UPGMA, the number of groups was determined by Pseudo-t test with the program R. Cophenetic correlation coefficient was established to verify the validation of groups, and dendrograms were generated by the software Mega-5. Statistical analyzes showed that there is variability and heterogeneity among populations. The variables, apex and base tension, canopy diameter and number of leaves is the basis for differentiation among individuals and low height plants have a higher sugar content and maximum mechanical resistance of the fibers.

Key words: *Agave sisalana*, variability, pre-breeding.

INTRODUÇÃO

O *Agave sisalana* Perr., popularmente conhecido como sisal, é um vegetal nativo do México. Foi introduzido em áreas tropicais e subtropicais das Américas do Norte e Sul, Caribe, África, Austrália e Ásia. Tem sido utilizado como planta ornamental e para fins industriais, sendo cultivado em áreas tropicais no Brasil, Tanzânia, Uganda e Quênia para a produção de fibras (ACEVEDO-RODRIGUEZ, 2005).

O sisal é uma espécie que apresenta sistema de reprodução assexuada, podendo ser propagada via semente, entretanto apresenta baixa taxa de germinação, portanto, ineficiente no estabelecimento da plântula (ARIZAGA e EZCURRA, 2002; ACEVEDO-RODRÍGUEZ, 2005) e com expressão de características indesejáveis, como aparecimento de plantas albinas e aumento de espinhos nos bordos das folhas (SALGADO et al., 1979). Quanto a sua fisiologia e fenologia, o sisal apesar de ser uma planta CAM facultativa, devido a fatores ambientais é uma espécie que apresenta o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) na maior parte do seu ciclo de vida, com abertura estomática noturna e tecidos suculentos, necessários ao armazenamento de substâncias de reserva (ARIZAGA e EZCURRA, 2002). O metabolismo CAM é uma adaptação para aumentar a eficiência na utilização de água, sendo tipicamente encontrado nas plantas que crescem em condições áridas, tais como as espécies de *Agave*.

A planta apresenta ciclo de vida que pode variar de 7 a 10 anos, de acordo com o *Invasive Species Specialist Group* (ISSG, 2012), necessitando de sol pleno e disponibilidade de água moderada para seu crescimento. Seu desenvolvimento ocorre melhor em regiões com uma precipitação média anual de 800 mm a 1.000 mm (ou menos), com temperatura máxima variando entre 30°C a 40°C, com temperaturas mínimas de 5°C. A espécie apresenta um melhor crescimento e desenvolvimento quando cultivada em solos areno-argilosos, mas podem ser utilizados outros tipos de solos, com pH variando de 4 a 6 (PROTA, 2012; FAO, 2015), sendo pouco exigente em fertilidade dos solos, apresentando, portanto, uma adaptação favorável à região Semiárida do Nordeste brasileiro.

Na região Semiárida nordestina está inserida a região sisaleira, responsável pela quase totalidade da produção de sisal do Brasil, que é a maior do mundo (BRANDÃO et al., 2011). A cultura apresenta importância para as regiões que predomina uma carência de investimento para agricultura, prevalecendo áreas de sequeiro, como é o caso da grande parte do sertão

baiano, que tem como principal fonte de renda o cultivo do sisal, que se destaca por uma versatilidade de uso e que é explorada por pequenos, médios e grandes produtores. Apesar de seus relevantes atributos, existem poucas pesquisas relacionadas à produção do sisal e, o principal fator é a ausência de incentivo governamental que corrobora na deficiência de recursos financeiros para serem investidos na cultura.

O primeiro aspecto a ser considerado para se alcançar êxito nos programas de melhoramento genético é a existência de variabilidade, que está atrelada aos processos ecológicos que conferem as plantas a necessidade de adaptação aos diferentes locais onde estas ocorrem (NESBITT et al., 2002). Ademais, mediante caracterização de genótipos é possível à identificação de genes envolvidos em características agrônômicas de interesse (GONÇALVES et al., 2009). O melhoramento genético do *A. sisalana*, por hibridação, não tem sido possível, em função de seus descendentes apresentarem atributos indesejáveis para serem inseridos em programas de melhoramento, inviabilizando o seu cultivo que resulta em danos de importância econômica (AZZINI et al., 1998).

Informações sobre a diversidade genética de *A. sisalana* são de extrema importância para auxiliar na identificação de possíveis variações entre genótipos avaliados em diferentes municípios baianos, essenciais a um programa de melhoramento genético. Publicações sobre divergência genética que envolve descritores morfológicos, para *A. sisalana* são inexpressivas. Desta forma, o presente estudo tem por finalidade coletar e caracterizar acessos de sisal provenientes do Estado da Bahia e identificar variabilidade para fins de melhoramento.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo consistiu de caracterização de 75 acessos de sisal (*Agave sisalana* Perr.), obtidos de quatro expedições, nos anos de 2013 e 2014. Os municípios selecionados para as coletas foram: Morro do Chapéu, sendo que neste município foram realizadas duas coletas com um raio de 10 km entre os ambientes, Nova Fátima, São Domingos e Lages do Batata (Distrito de Jacobina) (Figura 1). Foram caracterizadas 15 plantas e coletados três perfilhos por planta em cada área, sendo que estes perfilhos foram plantados no Horto Florestal da UEFS para futuras avaliações.

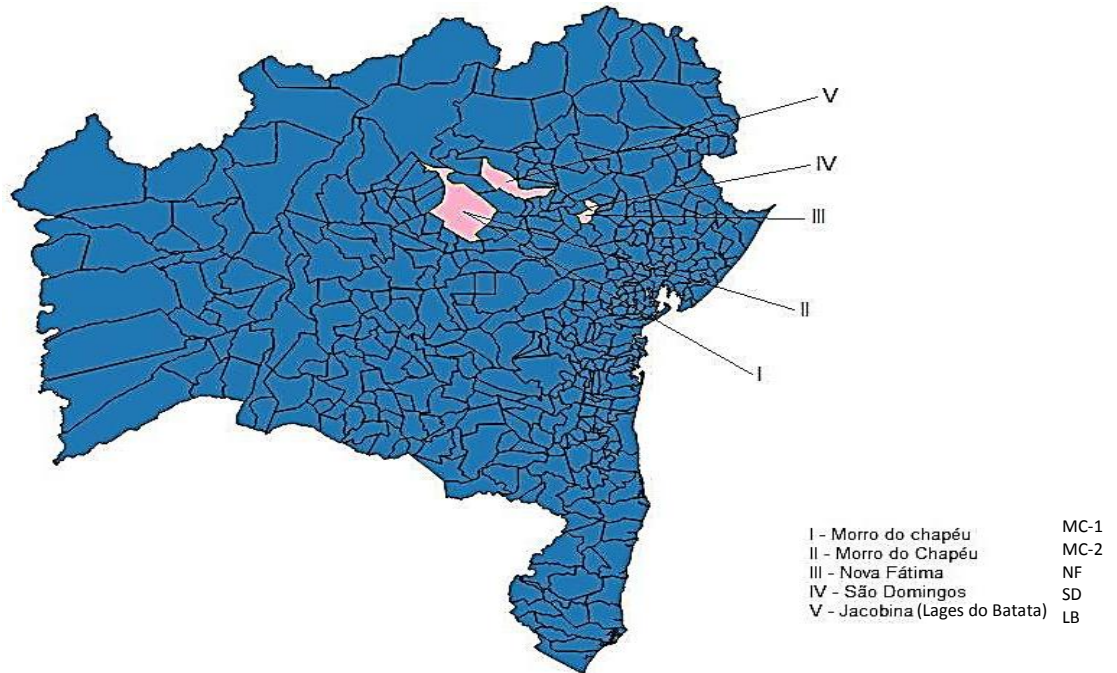


Figura 1. Mapa com identificações das regiões localizadas no Semiárido onde foram realizadas as coletas de Sisal. Feira de Santana/BA, 2017.

Os genótipos foram caracterizados mediante descritores morfológicos, propostos pela Universidade de Guanajuato no México, com ajuste para a espécie. Foram utilizados dois caracteres qualitativos e 14 quantitativos, totalizando 16 caracteres. As variáveis qualitativas, cor da folha (CRF) e presença de espinhos (PE) foram estimadas por percepção visual e contagem simples. O caráter cor da folha foi avaliado por classes: 1 - verde escuro, 2 - verde amarelado e 3 - verde claro, e o descritor presença de espinho por avaliação binária onde: 0 - ausência e 1 - presença. Ainda em campo, avaliaram-se as seguintes características quantitativas, estimadas com o auxílio de trena, régua e paquímetro digital: altura da planta (ALT) em cm, comprimento da folha (CF) em cm, diâmetro da copa (DC) em cm, diâmetro da base (DB) em cm, largura da folha (LF) em cm, largura da base foliar (LBF) em mm, número de perfilhos por planta (NPP), número de folhas (NF), comprimento do eixo central (CEC) em cm. A característica sólidos solúveis (SS) foi avaliada por meio de um refratômetro portátil. As análises de açúcar redutor (AR) e açúcar solúvel total (AST) foram realizadas no Laboratório de Geminação (LAGER) e Laboratório de Biologia Molecular (LAGEM) na Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEHF/UEFS), onde foram efetuadas análises de ácido dinitrosalicílico (DNS) e Antrona, respectivamente. As avaliações dos descritores físicos: Tensão de ápice (TA) e Tensão de

base (TB) das fibras foram realizadas no Laboratório de Estruturas (LABOTEC/UEFS), utilizando uma prensa hidráulica.

Inicialmente, o estudo da diversidade genética foi realizado para cada conjunto de dados. Em relação às variáveis quantitativas contínuas e discretas, a matriz de dissimilaridade foi obtida por meio da distância euclidiana média. Para os dados qualitativos, a matriz de dissimilaridade foi obtida a partir do Índice de Cole Rodgers (COLE-RODGERS et al., 1997). As variáveis quantitativas e qualitativas foram avaliadas simultaneamente, e a matriz de distância foi estimada utilizando o Algoritmo de Gower (GOWER, 1971).

A partir de cada uma das matrizes de dissimilaridade procedeu-se a análise de diversidade genética pelo método de agrupamento UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) (SNEATH e SOKAL, 1973). Com base nos critérios pseudo-t do pacote *Nbcluster* do programa R (*R Development Core Team*, 2006) foi fornecido o número ótimo de grupos para cada conjunto de dados estudados. Posteriormente, com base na matriz de dissimilaridade genética, a validação dos agrupamentos foi determinada por meio do coeficiente de correlação cofenético (r) (SOKAL e ROHLF, 1962), e os dendrogramas foram gerados pelo programa Mega 5.

Para as variáveis quantitativas foi calculada a estatística descritiva: valores mínimos e máximos, médias, desvios padrão e coeficientes de variação (%). Realizou-se o teste de normalidade de Shapiro-wilks, calcularam-se os coeficientes de correlação de Spearman, e suas significâncias foram testadas pelo teste t de Student a 1% e 5% de probabilidade. Adicionalmente, foi determinada a magnitude de contribuição relativa dos caracteres para a divergência genética, utilizando o critério proposto por Singh (1981). Para estas determinações foi utilizado o programa computacional Genes (CRUZ, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observa-se a amplitude dos valores apresentados a partir da estatística descritiva dos caracteres quantitativos estudados. Os coeficientes de variação (CV) oscilaram de 11,73% a 61,87%, correspondente ao caráter comprimento da folha (CF) e número de perfilhos por planta (NPP), respectivamente. Os valores encontrados para o CV refletem variação entre os resultados, apresentando assim, uma variabilidade e heterogeneidade dos genótipos. A existência de variação aleatória para os descritores, em questão, pode ser verificada pela magnitude dos coeficientes de variação obtidos.

Tabela 1. Estatística descritiva e teste de normalidade de Shapiro–Wilk para os caracteres quantitativos, Feira de Santana – BA, 2017.

Variáveis ¹	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	SW
ALT	0,95	2,18	1,63	0,23	13,91	0,94**
CF	0,88	1,41	1,10	0,13	11,73	0,96*
DC	80,00	550,00	195,77	56,27	28,74	0,74**
DB	52,00	134,00	84,71	16,46	19,43	0,97 ^{ns}
LF	9,00	17,00	12,10	1,99	16,45	0,95**
LBF	5,00	16,00	9,77	2,32	23,69	0,96**
EBF	2,36	5,19	3,64	0,60	16,35	0,99 ^{ns}
NPP	1,00	23,00	7,99	4,94	61,87	0,95**
NF	42,00	162,00	87,71	25,97	29,62	0,98 ^{ns}
CEC	78,00	178,00	110,42	17,87	16,19	0,91**
SST	2,00	15,00	8,35	2,31	27,71	0,95**
AR	5,53	27,47	13,54	4,62	34,15	0,96*
AST	12,22	116,84	43,76	18,33	41,87	0,92**
TA	137,09	401,71	271,31	61,17	22,54	0,99 ^{ns}
TB	57,02	256,96	141,45	48,63	34,38	0,96*

¹ Altura da Planta (ALT), em cm; Comprimento da Folha (CF), em cm; Diâmetro da Copa (DC), em cm; Diâmetro da Base (DB), em cm; Largura da Folha (LF), em cm; Largura da Base Foliar (LBF), em cm; Espessura da Base Foliar (EBF), em cm; Número de perfilhos por Planta (NPP); Número de Folhas (NF), Comprimento do Eixo Central (CEC), em cm; Sólidos Solúveis Totais (SST), em °Brix; Açúcar Redutor (AR); Açúcar Solúvel Total (AST); Tensão do Ápice (TA) e Tensão da Base (TB) em MPa. ** significativo a 1%, * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Shapiro-Wilks. ^{ns} não significativo. Teste de Normalidade (W), Coeficiente de Variação (CV).

Vieira et al. (2010) ao estimar a variabilidade genética em abacaxi, obtiveram coeficiente de variação igual a 199,41% e 50,32% para variável largura da folha e altura da planta, respectivamente, descritores esses, relevantes em função da sua importância no manejo da cultura. No entanto, Souza et al. (2010), também em estudo com abacaxizeiro, obtiveram CV's moderados para as variáveis altura de planta (19,80%), diâmetro da copa (17,50%), comprimento da folha (18,60%) e largura da folha (16,40%), demonstrando, assim, que a expressão do CV depende da variável e das condições em estudo.

Os caracteres tensão do ápice (TA) e comprimento da folha (CF) foram o que apresentaram as maiores e menores variações nos valores mínimo, máximo, médio e de desvio padrão, cujos valores foram 137,00MPa, 401,71 MPa, 271,31MPa e 61,17% e, a variável CF os valores 0,88 cm, 1,41 cm, 1,10 cm e 0,135 respectivamente. A variável, diâmetro da copa (DC) exibiu a maior variação, cuja diferença entre o valor máximo e o mínimo foi de 470,00 cm, (Tabela 1). Souza et al. (2010) obtiveram resultados que corroboram os encontrados,

neste estudo, obtendo maior valor máximo para a variável diâmetro da copa (114,00 cm), em pesquisas com abacaxi, nas diferentes variedades.

Os resultados do teste de normalidade indicam que 73,3% das variáveis mostraram-se significativas pelo teste de Shapiro-Wilks. Os caracteres comprimento da folha (CF) e tensão da base (TB) foram significativos a 5% de probabilidade. A altura da planta (ALT), diâmetro da copa (DC), largura da folha (LF), largura da base foliar (LBF), número de perfilhos por planta (NPP), comprimento do eixo central (CEC), sólidos solúveis (SS), açúcares redutores (AR) e açúcares solúveis totais (AST) foram significativos a 1% de probabilidade. As variáveis, diâmetro da base (DB), espessura da base foliar (EBF), número de folhas (NF) e tensão do ápice (TA), que totalizam 26,7%, apresentaram normalidade dos dados. Sendo assim, a maioria das variáveis não segue distribuição normal, portanto a correlação de Spearman foi utilizada para medir a relação existente entre os caracteres (Tabela 2).

As estimativas dos coeficientes de correlação de Spearman, entre os caracteres analisados, foram em sua maioria positiva e significativa. As maiores correlações ocorreram entre as variáveis comprimento do eixo central (CEC) vs comprimento da folha (CF) (0,78**), largura da folha (LF) vs largura da base foliar (LBF) (0,74**), comprimento do eixo central (CEC) vs diâmetro da copa (DC) (0,73**) e altura da planta (ALT) vs comprimento do eixo central (CEC) (0,71**), (Tabela 2) indicando que para a cultura do sisal essas variáveis estão relacionadas. Santos (2014), obteve boas correlações entre as variáveis número de rebentos vs número de folhas (0,8775), altura da planta vs diâmetro da copa e número de rebentos vs comprimento da folha (0,7961), todos significativos a 1% de probabilidade pelo teste t, para genótipos de sisal, oriundos de diferentes municípios baianos.

Tabela 2. Correlação de Spearman entre as variáveis quantitativas estudadas. Feira de Santana-BA, 2017.

Variáveis ¹	ALT	AR	AST	CEC	CF	DB	DC	EBF	LF	LBF	NF	NPP	TA	TB
AR	-0,03 ^{ns}													
AST	-0,18 ^{ns}	-0,16 ^{ns}												
CEC	0,71**	0,07 ^{ns}	-0,37**											
CF	0,61**	0,07 ^{ns}	-0,30**	0,78**										
DB	0,29**	0,11 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,32**	0,44**									
DC	0,59**	-0,15 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,73**	0,61**	0,35**								
EBF	0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,37**	0,23*							
LF	0,13 ^{ns}	0,26*	-0,27*	0,22 ^{ns}	0,32**	0,53**	0,23*	0,34**						
LBF	0,28*	0,09 ^{ns}	-0,26*	0,35**	0,40**	0,57**	0,42**	0,32**	0,74**					
NF	0,33**	-0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,39**	0,45**	0,47**	0,49**	0,27*	0,18 ^{ns}	0,27*				
NPP	0,00 ^{ns}	0,29**	0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,26*	-0,03 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,26*	0,06 ^{ns}	0,23*			
TA	-0,16 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,33**	-0,21 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,34**		
TB	-0,33**	0,17 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,48**	-0,31**	-0,11 ^{ns}	-0,49**	-0,07 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,39**	0,33**	
SST	-0,28*	-0,16 ^{ns}	0,67**	-0,48**	-0,33**	-0,27*	-0,26*	-0,17 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,33**	-0,07 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,22 ^{ns}

*significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t., ^{ns} não significativo. ¹Altura da Planta (ALT), em cm; Comprimento da Folha (CF), em cm; Diâmetro da Copa (DC), em mm; Diâmetro da Base (DB), em mm; Largura da Folha (LF), em cm; Largura da Base Foliar (LBF), em cm; Espessura da Base Foliar (EBF), em cm; Número de perfilhos por Planta (NPP); Número de Folhas (NF), Comprimento do Eixo Central (CEC), em cm; Sólidos Solúveis Totais (SST); Açúcar Redutor (AR); Açúcar Solúvel Total (AST); Tensão do Ápice (TA) e Tensão da Base (TB) em MPa.

Plantas de sisal que exibem alta estatura tendem a apresentar menor teor de sólidos solúveis. Os resultados mostraram que houve, também, uma correlação negativa entre altura da planta e tensão da fibra. Notou-se, ainda, que genótipos que possuem uma acentuada largura da base foliar apresentam pequenas quantidades de sólidos solúveis. O caractere altura da planta segundo Lima; Leão (2013) é controlada por múltiplos genes que determina a herança quantitativa do caráter. Além disso, a diferença entre a disposição luminosa entre as plantas, tendo em vista que essas se encontraram em seu local de cultivo, assim como outros fatores ambientais preponderantes podem ter influenciado essas correlações.

Os descritores de grande interesse econômico para a espécie *A. sisalana* são o teor de sólidos solúveis, explorados pelas indústrias farmacêuticas, e a tensão das fibras, importante para as indústrias, principalmente as de engenharia civil, que visam à fabricação de compósitos cimentícios de alto desempenho reforçados com fibras de sisal, e as automobilísticas que tem grande expectativa em reforçar compósitos de polipropileno.

Os resultados da seleção baseada no coeficiente de Singh (1981), levando-se em consideração a contribuição relativa de cada característica para a divergência genética encontram-se sumarizados na Tabela 3. O método de Singh (1981), utilizado para avaliar a importância relativa de 15 características quantitativas, determinou que quatro destas características contribuíram com 90,98% para a divergência genética, enquanto oito contribuíram com 9,03% apenas e, três não contribuíram. As características que proporcionaram maiores contribuições relativas foram: tensão de ápice (TA = 34,22%), seguida de diâmetro da copa (DC = 28,96%), tensão da base (TB = 21,63%) e número de folhas (NF = 6,17%). As informações obtidas evidenciaram que essas características possuem grande importância na diferenciação dos genótipos de sisal, sendo relevantes em estudos de divergência genética da cultura.

Tabela 3. Contribuição relativa (%) dos descritores para o estudo da variabilidade com base no critério de SINGH (1981). Feira de Santana, Bahia, 2017.

Variáveis	S_j^i	S_j^i (%)
ALT	285,92	0,00
CF	92,38	0,00
DC	17573036,00	28,96
DB	1504166,00	2,48
LB	21976,46	0,04
LBF	29746,24	0,05
EBF	1966,04	0,00
NPP	135524,00	0,22
NF	3744416,00	6,17
CEC	1773226,50	2,92
SS	29735,04	0,05
AR	118629,00	0,20
AST	1863936,21	3,07
TA	20763755,81	34,22
TB	13123892,03	21,63

¹ S_j^i : contribuição da variável x para o valor da Distância Euclidiana entre os genótipos i e j.

Altura da Planta (ALT); Comprimento da Folha (CF); Diâmetro da Copa (DC); Diâmetro da Base (DB); Largura da Folha (LF); Largura da Base Foliar (LBF); Espessura da Base Foliar (EBF), número de perfilhos por Planta (NPP); Numero de Folhas (NF), Comprimento do Eixo Central (CEC); Sólidos Solúveis Totais (SS); Açúcar Redutor (AR); Açúcar Solúvel Total (AST); Tensão do Ápice (TA) e Tensão da Base (TB).

Souza (2010), em pré-melhoramento de abacaxi, identificou quatro características que contribuíram com 98,59% para a divergência genética, e que o diâmetro da copa foi a variável de maior relevância (53,31%). Outros autores como Santos (2014), em estudos com acessos do gênero *Agave* pertencente, ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Embrapa Algodão (PB) visando estimar a divergência genética por meio de descritores morfológicos, observou que componente principal (CPI) conseguiu explicar 37% da variabilidade, e que a variável cor da folha (28%), presença ou ausência de rebentos (25%) e número de folhas (23%) foram as características de maior contribuição. Ortiz e Meer (2006), ao avaliar distintas espécies do gênero *Agave*, concluíram que a contribuição da variabilidade total dos genótipos baseou-se nas características foliares.

O número de folhas (NF) foi umas das quatro variáveis com maior contribuição para a divergência genética do sisal (Tabela 3). Esse caráter é o de maior relevância para o pré-melhoramento da cultura, tendo em vista, que essa é uma característica economicamente importante, por ser a principal fonte de renda no cultivo dessa espécie, uma vez que elas possuem uma relação direta com a quantidade e qualidade da fibra da folha.

No dendrograma obtido a partir dos caracteres quantitativos, estimados por meio da matriz de dissimilaridade pelo método da distância euclidiana média padronizada, observou-se que, embora exista diversidade fenotípica, os resultados podem ser indicativos de uma base genética estreita entre os indivíduos, uma vez que todos os 75 acessos foram agrupados em apenas dois grupos. O grupo I (GI) foi composto apenas pelo indivíduo G6-MC₁, originando assim, uma população isolada, enquanto que o grupo II (GII) alocou 98,6% das amostras (Figura 2). Geralmente, os maiores grupos constituídos por grandes números de indivíduos, agrupamos pares que apresentam menores distâncias, uma vez que o tamanho do grupo é delimitado por uma média entre os pares de genótipos (OLIVEIRA et al., 2010). Infere-se que, mesmo havendo a formação de um grande grupo (GII), existe a formação de subgrupos, em que os indivíduos, em sua maioria, se acomodam mediante a sua origem de coleta.

de São Domingos (SD); todos esses indivíduos apresentam espinhos nas extremidades de suas folhas e a coloração verde claro.

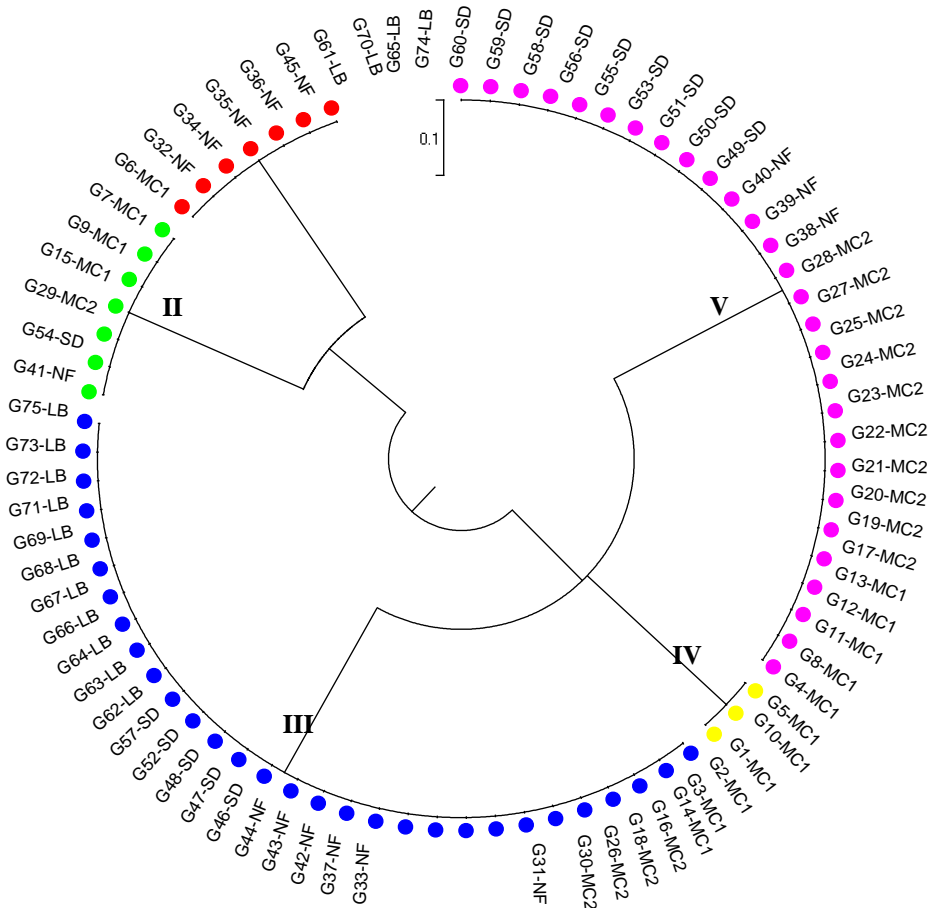


Figura 3. Dendrograma de dissimilaridade genética entre 75 indivíduos de Sisal de cinco populações diferentes, resultante do agrupamento pelo método UPGMA estimada a partir da matriz de dissimilaridade com base na distância por meio de duas variáveis qualitativas. Feira de Santana-BA, 2017.

O grupo III reuniu 30 indivíduos, sendo quatro de MC₁ (Morro do Chapéu-Área 1), quatro de MC₂ (Morro do Chapéu-Área 2), seis de NF (Nova Fátima), cinco provindos de SD (São Domingos) e 11 oriundos de LB (Lages do Batata). Este grupo apresentou ausência de espinhos nas bordas laterais e a coloração verde escuro em suas folhas. O grupo IV foi constituído por três genótipos, todos com procedência de MC₁ (Morro do Chapéu-Área 1), apresentando características como ausência de espinhos nas bordas laterais e folhas com coloração verde amarelado. O grupo V, por sua vez, foi representado por 28 indivíduos, quatro de MC₁ (Morro do Chapéu-Área 1), 10 de MC₂ (Morro do Chapéu-Área 2), três de

Nova Fátima, nove de São Domingos e dois de Lages do Batata. Este agrupamento caracterizou-se por não possuir espinhos nas bordas laterais e apresentar coloração de folhas verde claro. Embora, existam cinco grupos, nota-se que houve formação de subgrupos dentro dos grandes grupos. Os indivíduos oriundos da mesma área encontram-se próximos dentro dos subgrupos, demonstrando assim, que fatores ambientais e a forma de cultivo podem estar influenciando a sua formação.

Em que pese o sisal apresentar propagação assexuada e a maioria das plantas possuir, possivelmente, a mesma origem, observa-se grande variabilidade entre os genótipos, no que tange a presença ou ausência de espinhos nas bordas laterais e coloração da folha, quando avaliados no mesmo município. Desse modo, há indícios de heterogeneidade entre os genótipos, podendo ser aproveitado em trabalhos de melhoramento em função da existência de variação nos descritores analisados.

Com base em cada conjunto de dados obtidos, nota-se que houve uma discordância quanto ao número de grupos formados mediante as características quantitativas e qualitativas analisadas, isoladamente, para a composição de cada dendrograma. Desta forma, percebe-se que há uma dificuldade na análise e interpretação dos resultados de caracterização e avaliação dos indivíduos, pois na maioria das vezes resulta na incompleta distinção entre os mesmos. Conceição et al., (2015), afirmam que para a determinação da divergência genética, a decisão sobre qual medida de dissimilaridade e conjunto de variáveis que serão utilizadas depende do objetivo da pesquisa. Contudo, na caracterização e avaliação dos genótipos, variáveis quantitativas e qualitativas, analisadas conjuntamente, proporcionam maior acurácia na identificação de indivíduos, contrastantes, pois em uma única análise é contemplado caracteres de naturezas distintas.

No que concerne à análise conjunta das variáveis quantitativas e multicategóricas, utilizando o Algoritmo de Gower (1971), os genótipos foram agrupados em três grupos. O grupo I formou-se com apenas dois genótipos (G15-MC₁ e G6-MC₁), provenientes da área I (MC₁), o grupo II agregou 12 indivíduos, todos derivados de Lages do Batata (LB), e o grupo III constituído por 81,3% das amostras provenientes das cinco áreas coletas (MC₁, MC₂, SD, NF e LB) (Figura 4). Nota-se que os genótipos que constituem o grupo III não se encontram dispostos em subgrupos e, assim, o local de origem não está sendo um critério para alocar os indivíduos. Infere-se, portanto, que este fato pode estar relacionado com o grau de parentesco

entre os indivíduos, tendo em vista que os acessos podem ser provenientes de ancestrais comuns e o tipo de propagação existente na espécie.

Santos (2014), com o intuito de examinar a dissimilaridade genética em três populações de sisal provenientes dos municípios de Piritiba, São Domingos e Valente, utilizando o Algoritmo de Gower observou a partir da formação de seis grupos que existe variabilidade genética dentro e entre as populações avaliadas apesar da espécie possuir uma base genética estreita. A autora atribui essa variabilidade a fatores ambientais ou até mesmo a constituição genética dos indivíduos. Análise cromossômicas em bulbilhos de sisal, realizados por Queiroz et al., (2012), comprovam uma grande variação no número de cromossomos entre diferentes municípios baianos indicando portanto, que as populações de sisal, encontradas nesses municípios, podem ter a tendência de se divergirem ao longo dos anos.

Outros autores como Rojas et al., (2007), ao estudar populações distintas de *Agaves* na região Nordeste do Estado do México por meio de ferramentas moleculares (RAPD) e morfológicas, visando determinar a diversidade genética dentro e entre populações, constataram que diferenças significativas ($P \leq 0,01$) entre as populações possibilitaram a separação em quatro grupos, sendo que as variáveis determinantes para esta distinção foram número de espinhos laterais e comprimento da coluna principal, que explicaram 94% da variação.

Santos (2011), em estudos de variabilidade genética de sisal em seis municípios baianos, com o uso de iniciadores ISSR, obteve polimorfismos de 64% entre as amostras avaliadas. Os dados de AMOVA demonstraram uma variância molecular de 73% atribuídos à diferença intrapopulacional. Na análise de agrupamento observou a formação de dois grupos, onde a localização geográfica dos indivíduos influenciou na formação dos grupos, evidenciando assim, uma estruturação da variabilidade genética no espaço. A autora relata que fatores biológicos e geográficos podem estar corroborando na dinâmica populacional da espécie no estado da Bahia, uma vez que a diversidade genética obtida foi considerada alta. Entretanto, foram utilizados poucos marcadores ISSR (9), o que pode ter influenciado nos resultados, indicando a necessidade de utilização de maior número de *primers* para detecção de maior polimorfismo.

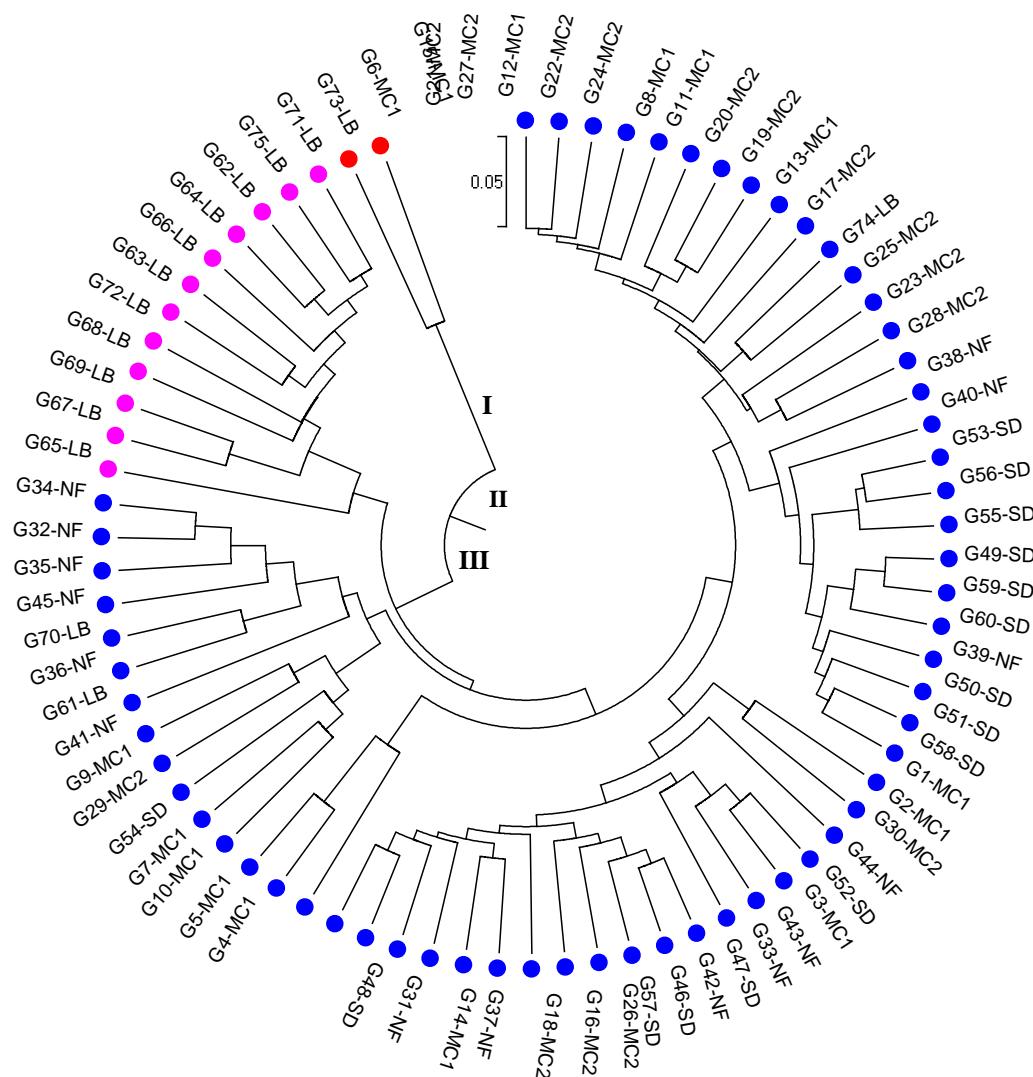


Figura 4. Dendrograma de dissimilaridade genética entre 75 indivíduos de Sisal de cinco populações diferentes, resultante do agrupamento pelo método UPGMA estimada a partir da matriz de dissimilaridade da distância genética, com base no algoritmo de Gower (1971), através de 15 variáveis quantitativas e duas qualitativas. Feira de Santana-BA, 2017.

Para cada par de matrizes de dissimilaridade, obtidas com base nos grupos de caracteres, foi estimado o coeficiente de correlação (Tabela 4), pelo teste t de Mantel (Mantel, 1967). Foram encontrados valores de correlação baixo, médio e alto. Segundo Rohlf (2000), os valores de correlação inferiores a 0,7 têm sido considerados inconsistentes, o que indica que a diversidade genética obtida com base em um conjunto de caracteres não explica a diversidade com base em outro conjunto.

De acordo com Martins et al., (2011) a decisão de qual grupo de variáveis utilizar para determinação da divergência genética e de qual medida de dissimilaridade adotar, depende do objetivo do estudo. Marim et al. (2009) afirmam que a utilização de caracteres

multicategóricos é prática, econômica e demanda menor tempo, em comparação a caracteres quantitativos. Em diversas culturas, caracteres quantitativos, mesmo sendo de difícil mensuração, têm sido preferidos em estudos de diversidade por apresentar importância econômica (GOMES, 2007).

Tabela 4. Coeficientes de correlação (r) entre matrizes de dissimilaridade, a partir de dados de caracteres quantitativos, caracteres multicategóricos (qualitativos) e dados analisados simultaneamente pelo Algoritmo de Gower. Feira de Santana-BA, 2017.

Matrizes Correlacionadas	R
Quantitativos (Euclidiana Média) x Qualitativos (Cole Rodgers)	0,12**
Multicategóricos (Qualitativos) x Matriz conjunta (Gower)	0,60**
Quantitativos (Euclidiana Média) x (Matriz conjunta (Gower)	0,84**

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t e pelo teste de Mantel, baseado em 10.000 simulações.

As correlações entre a matriz de dissimilaridade obtida pelo algoritmo de Gower (conjunta) a partir de dados quantitativos e qualitativos foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste de Mantel (1967), assim como a correlação entre a matriz de dados multicategóricos e quantitativos (Tabela 4). Infere-se, portanto, que as variáveis quantitativas, por serem em maior número quando comparadas às qualitativas, tiveram maior influência no agrupamento da análise conjunta, com uma correlação de 0,84**, evidenciando que a análise simultânea de dados pode ser uma importante ferramenta para reunir conjuntamente as informações independentemente de sua natureza, em uma só análise.

A variabilidade observada, entre os genótipos de *A. sisalana* Perr. para algumas características estudadas, mostrou a possibilidade de seleção de indivíduos para o melhoramento do sisal, considerando características como as tensões de ápice e base, diâmetro da copa e número de folhas. Logo, em estudos de divergência genética os conjuntos de caracteres, quantitativos e multicategóricos, são importantes para a caracterização da diversidade de determinada população de indivíduos.

CONCLUSÕES

- Existe variabilidade e heterogeneidade entre as populações avaliadas.
- Os caracteres, tensão de ápice e base, diâmetro da copa e número de folhas servem de base para a diferenciação entre os indivíduos, permitindo, assim, selecionar plantas que apresentem características econômicas desejáveis.
- Plantas de baixa estatura contribuem para incrementos em açúcares e maior resistência mecânica das fibras.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-RODRÍGUEZ, P.; STRONG, M. T.; Monocots and Gymnosperms of Puerto Rico and the Virgin Islands. **Contributions from the United States National Herbarium**, v.52 n.1 p.416.2005.
- AMBROSANO, G.M.B.; SCHAMMAS, E.A. Avaliação dos coeficientes de variação em experimentos com forrageiras. **Bol. Ind. Anim.**, v.51, p.13-20, 1994.
- ARIZAGA, S.; EZCURRA, E.; Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. **American Journal of Botany**, 89(4): 632-641 f. 2002.
- AZZINI, A.; GONDIM-TOMAZ, R. M. A.; ERISMANN, N. M.; COSTA, A. A.; JUNIOR, R. B. Caracterização tecnológica de híbridos de *agave*. **Bragantia**. Campinas, v.57. n. 1. 1998.
- BORGES, V.; SOBRINHO, F. S.; LÉDO, F. J. S.; KOPP, M. M. Associação entre caracteres e análise de trilha na seleção de progênies de meios irmãos de *Brachiaria ruziziensis*. **Revista Ceres**, 58:765-772.2011.
- BRANDÃO, L. G. N.; PEREIRA, L. G. R.; AZEVÊDO, J. A. G.; SANTOS, R. D.; ARAGÃO, A.S. L.; VOLTOLINI, T. V.; NEVES, A.L. A.; ARAÚJO, G.G. L.; BRANDÃO, W.N. Valor nutricional de componentes da planta e dos coprodutos da *Agave sisalana* para alimentação de ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.63, n.6, p.1493-1501, 2011.
- CAVALLINI, A.; NATALI, L.; CIONINI, G.; CASTORENA-SÁNCHEZ, I. Cytophotometric and biochemical analyses of DNA in pentaploid and diploid *Agave* species. **Genome**, 39(2):266-271. 1996.
- COLE-RODGERS, P.; SMITH, D. W.; BOSLAND, P. W. A novel statistical approach to analyze genetic resource evaluations using *Capsicum* as an example. **Crop Science**, v. 37, p. 1000 - 1002, 1997.
- CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da; ANTONIASSI, R.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F.; FÁRIA-MACHADO, A. F. de; ROGÉRIO, J. B.; DUARTE, I. D.; BIZZO, H. R. Genetic diversity of macauba from natural populations of Brazil. **BMC Res Notes**, v.8, n.406, p.1-9, 2015.
- CRUZ, C. D. **Programa genes** (versão Windows): aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2014.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, p. 223-375. 2004.

DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, F. S. S.; SCAPIM, C. A.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; DAHER, R. F.; ÁVILA, M. R. Correlações entre caracteres agronômicos em dois ciclos de seleção recorrente em milho-pipoca. **Ciência Rural**, 34:1389-1394,2004.

FAO. **Future Fibres** Disponível em: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/sisal/en/>. Acesso em 02 de outubro de 2015.

FERREIRA, M.A.J.F.; *et al* . Correlações genóticas, fenotípicas e de ambiente entre dez caracteres de melancia e suas implicações para o melhoramento genético. **Horticultura Brasileira**, vol. 21, pag. 438- 441. 2003.

FREIRE, E. C.; LIMA, E. F.; ANDRADE, F. P. de. Melhoramento genético. In: AZEVÊDO, D. M. P. de.; LIMA, E. F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa-Algodão, p. 230-256. 2001.

GOMES, C.N. **Caracterização morfo-agronômica e diversidade genética em mandioca *Manihotesculenta* Crantz**. 2007. 72p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

GONÇALVES, L. S.; RODRIGUES, R.; AMARAL, A. T. JR.; KARASAWA, M; SUDRE, C. P. Heirloomtomato gene bank: assessinggeneticdivergencebasedonmorphological, agronomicand molecular data using a Ward-modifiedlocationmodel. **Genet. Mol. Res.**, v. 8, p. 364-374. 2009.

GOWER, J. C. A. general coefficient of similarity and some of its properties.**Biometrics, Arlington**, v. 27, n. 3, p. 857-871, 1971.

ISSG,**Global Invasive Species Database** (GISD)2012. Auckland, New Zealand: University of Auckland. <http://www.issg.org/database>.

LOPES, A.C.A.; VELLO, N.A.; PANDINI, F.; ROCHA, M.M.; TSUTSUMI, C.Y. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.341-348, 2002.

LEDO, C. A. S.; SILVA, O. S.; CONCEIÇÃO, K. S. Avaliação do coeficiente de variação na experimentação com bananeira. **V Simpósio brasileiro sobre bananicultura. I Workshop do genoma musa**; p. 238-240. nov. 2003.

MANTEL, N. The detection of disease clustering and generalized regression approach. **Cancerreseach**, 27 Part I, 209-220, Feb. 1967.

MARIM, B.G.; SILVA, D.J.H. da; CARNEIRO, P.C.S.; MIRANDA, G.V.; MATTEDI, A.P.; CALIMAN, F.R.B. Variabilidade genética e importância relativa de caracteres em acessos de germoplasma de tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1283-1290, 2009.

MARTINS, F. A.; CARNEIRO, P. C. S.; SILVA, J. H.; CRUZ, C. D.; CARNEIRO, J. E. S.; Integration of data in studies of genetic diversity of tomato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.46, nº11. 2011.

NESBITT, T.C.; TANSKLEY, S.D. Comparative Sequencing in the Genus *Lycopersicon*: Implications for the Evolution of Fruit Size in the Domestication of Cultivated Tomatoes. **Genetics**, vol 162, pag. 365–379 Set., 2002.

OLIVEIRA, E. J. *et al.* Polymorphic microsatellite marker set for *Carica papaya* L. and its use in molecular-assisted selection. **Euphytica**, v. 173, pp.279-287, 2010.

ORTIZ, D. G.; MEER, P. V. D. Claves de las especies del género *agave* L. cultivadas como ornamentales en la península ibérica e islas baleares. **Acta Botánica Barcelona**, V. 50, p. 441-457, Barcelona, 2006.

PIERCE, S., BRUSA, G., VAGGE, I., CERABOLINI, B. Allocating CSR plant functional types: the use of leaf economics and size traits to classify woody and herbaceous vascular plants. **Functional Ecology**, v. 27, p. 1002–1010. 2013.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 14.ed. Piracicaba: Degaspari, 477p. 2000.

PROTA, 2012. PROTA4U web database. **Plant resources of Tropical Africa**. PROTA. <http://www.prota4u>.

QUEIROZ, S. R. O. D.; ORTOLANI, F. P.; MATAQUEIRO, M. F.; OSUNA, J. T. A. MORO, J. R. Análise cromossômica em bulbilhos de sisal (*Agave* spp.) cultivados em diferentes municípios baianos. **Acta botânica brasílica**. 26 (4): 842-848. 2012.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2006.

ROCHA, M.C.; GONÇALVES, L.S.A.; RODRIGUES, R. Uso do algoritmo de Gower na determinação da divergência genética entre acessos de tomateiro do grupo cereja. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.32, p.423-431, 2010.

ROHLF, F.J. **NTSYS-pc**: numerical taxonomy and multivariate analysis system. New York: Exeter Software, 38, 2000.

ROJAS, G. A., SOLANO, J. P. L., PÉREZ, J. E. R. Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*agave* spp.) del nor oriente del Estado de México. **Revista Fitotecnia Mexicana**, V. 30, nº 1, p .207-218, 2007.

SALGADO, A.L.B.; CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. Melhoramento de *Agave* por hibridação. **Bragantia**, Campinas, 38:1-6, 1979.

SANTOS, K. S. **Estudo genético e citogenético em espécies de do gênero Agave (Agavaceae)**. 2014. 83f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 2014.

SANTOS, S. L. B. **Variabilidade genética em populações de Agave sisalana Perrine (Agavaceae) detectada pela técnica *Inter Simple Repeats* (ISSR)**. 2011. 86f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 2011.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Teste of Normality (Complete Samples). *Biometrika*, Vol. 52, Nº 3/4, pp.591-611, 1965.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, New Delhi, v.41, n.2, p.237-245, 1981.

SNEATH, P. H.; SOKAL, R. R. Numerical taxonomy: The principles and practice of Agave sisalana na zona fisiográfica tabuleiro. Salvador: **Companhia de Celulose da Bahia**, 1985.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, Berlin, v.11, n.1, p.30-40, 1962.

SOUZA, E. H. **Pré-melhoramento e avaliação de híbridos de abacaxi e banana para fins ornamentais**. 2010. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas, 2010.

SOUZA, F. N. C. **Silagem da mucilagem do sisal (*Agave sisalana* Perrine) como fonte de volumoso para ovinos**. 2013. 65f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, UFBA, Salvador, 2013.

VIEIRA, L. J.; SANTOS, L. R.; CASTELEN, M. S.; JUNGHANS, D. T. Caracterização morfológica de acessos de abacaxizeiro. **C&D Revista Eletrônica da Fainor**, Vitória da Conquista. V.3, n.1. p.66-77, dez. 2010.

CAPÍTULO 2

VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM FIBRAS DE SISAL ORIUNDOS DE MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO BAIANO

¹Artigo a ser ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico *Journal of Natural Fiber*

RESUMO

Existe uma tendência de aumento da utilização de materiais que, além de baixo custo, possam ser ambientalmente corretos. Muitas fibras lignocelulósicas vêm ganhando espaço, sobretudo, quando utilizadas em indústrias automobilísticas e na construção civil, e dentre elas, destaca-se a de sisal, produzida no Nordeste do Brasil, que apresenta vantagens técnicas, econômicas e ambientais. Entretanto, são incipientes as pesquisas de avaliação da fibra *in natura*, para um maior entendimento das propriedades da fibra do sisal. Portanto, o presente trabalho tem por finalidade caracterizar as propriedades mecânicas das fibras de sisal de diferentes municípios, identificando uma possível variabilidade dentre e/ou entre genótipos das diferentes áreas. Foram avaliadas 15 plantas por área, e 18 repetições de fibras por planta. Foram realizadas as análises microscópicas para a obtenção do diâmetro das fibras. As propriedades mecânicas estudadas foram: o módulo de elasticidade, resistência máxima em tração, deformação a ruptura e módulo de Weibull. Os resultados indicaram que as propriedades mecânicas das fibras sofrem variação dentro e entre os genótipos de diferentes áreas.

Palavras chave: Agave sisalana, fibras naturais, caracterização

ABSTRACT

There is a trend of increasing use of materials that besides low cost may be environmentally correct. Many lignocellulosic fibers have been gaining space, especially when used in automotive industries and civil construction sector, among them, stands out the sisal which an important plant is found in northeastern Brazil, whose fibers have technical, economic and environmental advantages. However, research involved the evaluation of fiber *in nature*, to a greater understanding of the properties of this species, are incipient. Therefore, the present study aims to characterize the mechanical properties of sisal fibers of different municipalities of Bahia of Brazil, and analyze qualitatively the chemical composition of the fibers, identifying a possible variability within and/or between areas. Were assessed 15 plants per area and 18 repetitions of fiber per plant. Microscopic analyses to obtain the fiber diameter were performed. The mechanical properties studied were: modulus of elasticity, maximum resistance strength, deformation at rupture and Weibull statistics, The results indicate that the mechanical properties of the fibers had variations within and among between areas.

Keywords: Agave sisalana, natural fibers, description

INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas mudanças climáticas, associadas ao uso de combustíveis fósseis não renováveis, principalmente derivados do petróleo e carvão, estão motivando a substituição de materiais sintéticos por produtos naturais. Atualmente, as fibras vegetais estão ganhando espaço, entre as indústrias, não somente por questões ambientais, como também por razões técnicas e econômicas (INACIO et al., 2010). Compósitos biodegradáveis e de fontes renováveis tem tido destaque, devido a constante busca de materiais que substituam total ou parcialmente os polímeros derivados do petróleo. Neste sentido, a celulose se constitui em uma matéria-prima atraente devido sua fácil obtenção, já que pode ser recuperada de resíduos agroindustriais, que constituem fontes abundantes e de baixo custo. Dentre as fontes de celulose, destaca-se a fibra de sisal (*Agave Sisalana Perr*) (BARRETO et al., 2010), que pode apresentar até 75% de celulose em sua composição (MARTINA et al., 2010), sendo obtida a partir dos resíduos vegetais, extraídos dos processos de transformação aos quais a fibra é submetida durante sua manufatura.

John e Thomas (2008) relatam que a busca por novos materiais, e a maximização dos recursos naturais, através de novos processos e produtos, tem levado ao estudo e exploração de materiais oriundos de fontes renováveis. Pesquisas evidenciam que as fibras vegetais reúnem boas propriedades mecânicas, com uma baixa massa específica e boa estabilidade dimensional, aliado ao fato de acarretar um impacto ambiental relativamente menor quando comparada às fibras de vidro (BOURMAUD e BALEY, 2007). Nesse contexto, os compósitos biodegradáveis têm alcançado relevância considerável no desenvolvimento de novos materiais, podendo servir como alternativa para atender diversos setores industriais, além de permitir o amplo aproveitamento da espécie fibrosa (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

O sisal, devido à importância comercial de suas fibras, e por ser uma alternativa viável para a substituição de materiais derivados de polímeros de petróleo, corresponde a, aproximadamente, 70% da produção comercial de todas as fibras naturais. Países como Angola, China, Cuba, Haiti, Indonésia, Quênia, Madagascar, Moçambique, México, África do Sul, Tailândia, Tanzânia e Brasil são grandes produtores. A produção mundial das fibras de sisal é estimada em cerca de 300.000 toneladas, avaliadas em US\$ 75 milhões. Os principais

países produtores são Brasil (120.000 toneladas), Tanzânia (30.000) e Quênia (25.000) (FAO, 2015).

O Brasil é o país que se destaca, na agaveicultura. Os estados com maiores índices de produção são: Bahia (95,8%), seguido da Paraíba (3,5%), Ceará (0,4%) e Rio Grande do Norte (0,3%). Os primeiros plantios comerciais de sisal no país ocorreram na década de 90, tendo se adaptado muito bem a região do semiárido nordestino (TRELIM, 2015), tornando-se uma das atividades econômicas mais importantes para produtores da região (SANTOS et al., 2009).

As fibras de sisal aparecem em formas de feixe, com comprimentos que variam de 50 cm a 180 cm, com constituição química idêntica das folhas, o que as torna uma fibra lignocelulósica (HOLANDA, 2013). Distintos autores estimaram a porcentagem da composição da fibra do sisal, assim, segundo Medina (1954), a fibra é constituída por 65,8% de celulose, 12% de hemicelulose, 9,9% de lignina e 0,8% de pectina. Para Mwaikambo et al. (2002), que encontraram valores semelhantes aos de Medina (1954), as fibras apresentam 73% de celulose, 13% de hemicelulose, 11% de lignina e 2% de pectina.

A celulose é o polímero que confere às fibras vegetais excelentes propriedades de resistência à ruptura e alongamento (SILVA, 2003). Os compósitos reforçados com fibras de sisal se destacam por apresentarem alta resistência ao impacto, e boas propriedades de resistência à tração e flexão. Isto é atribuído ao fato da fibra de sisal apresentar um dos maiores valores de módulo de elasticidade e de resistência mecânica entre as fibras naturais (MARTIN, 2009).

Avaliando o desempenho mecânico de fibras de sisal, Silva et al. (2010) afirmaram que a variabilidade apresentada na resistência a tração é uma característica das fibras naturais, que pode ser explicada pela distribuição das irregularidades dentro da fibra ou na sua superfície. Além da presença das irregularidades da fibra, a variação das propriedades mecânicas pode estar associada à variação da composição química ou morfológica da fibra, oriundas da forma como a planta foi cultivada, as condições climáticas, aptidão agrícola dos solos, seleção das áreas para o plantio, os tratos culturais empregados, bem como características naturais em relação quantidade e distribuição das chuvas, tipos de solos e vegetação (MONTEIRO et al., 2012).

Pequenas diferenças na microestrutura, associados com os diferentes tipos de fibras de sisal, também, podem resultar em alterações mecânicas da fibra. Outros autores, como

Guimarães (1987), Chand et al. (1988), Li et al. (2000), Tolêdo Filho (1997), Beaudoin (1990), Martin et al. (2009), Silva et al. (2009), Spinacé et al. (2011), Fidelis et al. (2013) Surdaram et al. (2015), também, apontaram resultados que mostram diferenças na resistência à tração em fibras de sisal. As plantas citadas nos estudos anteriores são provenientes de regiões e países diversos e conseqüentemente condições edafoclimáticas distintas, o que podem corroborar para as diferenças encontradas nas fibras.

Em que pese a literatura apresentar vários estudos de compósitos poliméricos com fibras vegetais, incluindo as de sisal (LI et al., 2000; MWAIKAMBO, 2002; MARTINS e MATTOSO, 2004; FÁVARO et al., 2010; BARROS et al., 2012; FIDELIS et al., 2013), pouco se tem desenvolvido na avaliação da fibra *in natura* para um maior entendimento de suas propriedades. Portanto, o presente trabalho objetivou caracterizar as propriedades mecânicas das fibras de sisal de distintos municípios, identificando uma possível variabilidade dentre e/ou entre genótipos das diferentes áreas.

MATERIAL E MÉTODO

Amostras de folhas de sisal foram coletadas em quatro municípios, localizados na região semiárida do Nordeste baiano. As coletas foram realizadas em Morro do Chapéu, Nova Fátima, São Domingos e Jacobina, especificamente o distrito de Lages do Batata (Figura 1) (Tabela1), sendo que em Morro do Chapéu foram realizadas duas coletas, o que totaliza cinco áreas. As expedições correram entre os anos de 2013 e 2014, sendo caracterizadas 15 plantas por área e 18 fibras por planta, totalizando 270 avaliações por área, totalizando 1350 amostras.

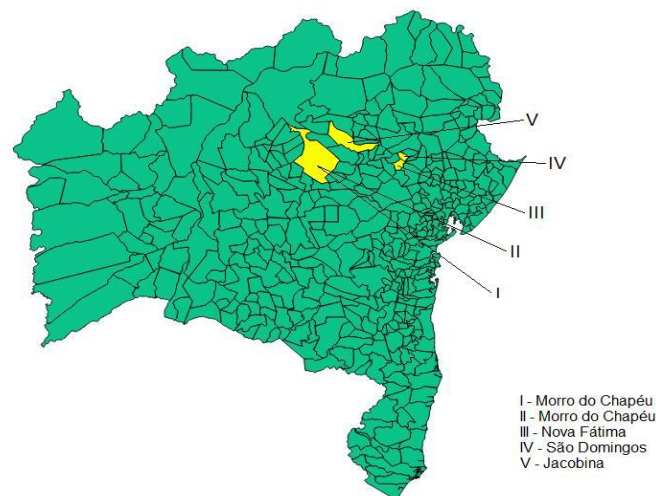


Figura 1. Mapa com identificações das áreas do Semiárido baiano onde foram realizadas as coletas de sisal. Feira de Santana-BA, 2015 (Fonte: O autor).

As folhas de sisal, após coletadas, foram desfibradas em máquina desfibradora. Em seguida, as fibras extraídas foram transportadas para Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana (UNEHF/UEFS), sendo higienizadas em água com temperatura a 100°C por 15 minutos e, posteriormente, colocadas para secar em estufa com temperatura variando entre 45 °C a 60 °C, no período de oito dias. Após secas, essas fibras foram escovadas para eliminar qualquer resíduo proveniente do desfibramento.

As fibras de sisal em seu estado natural foram caracterizadas de forma mecânica no Laboratório de Estruturas da UEFS (LABOTEC/UEFS). A caracterização mecânica foi avaliada através do ensaio de tração direta das fibras para determinação de sua resistência a tração, módulo de elasticidade e alongamento de ruptura (mm ou %). Para a confecção dos corpos de prova, mediante a variação do diâmetro observada ao longo do comprimento, as fibras foram cortadas em duas zonas distintas de base e ápice. Para a execução do ensaio de tração direta nas fibras, as amostras foram preparadas por meio de fixação das fibras em moldes de papel, com abertura de 30 mm ao centro. Os moldes foram utilizados para um melhor alinhamento das fibras no equipamento e, também, para evitar o escorregamento das fibras nas garras da prensa hidráulica (Figura 2).

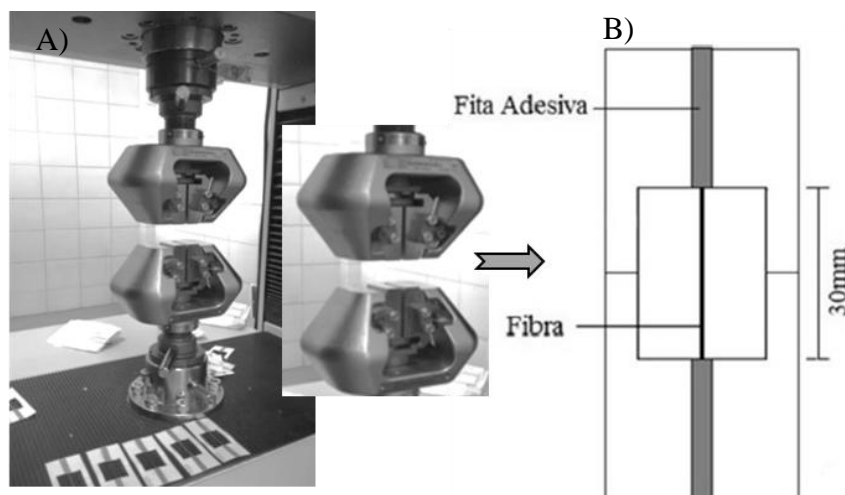


Figura 2. A) Prensa Hidráulica (Fonte: O Autor); B) Molde utilizado nos ensaios (Fonte: Fidelis et al., 2013), Feira de Santana-BA.

Uma vez posicionada a base de papel nas garras da máquina de ensaio, cortou-se as laterais, ensaiando-se somente a fibra à tração conforme pode ser visto na Figura 2A. A distância entre as garras da máquina coincide com o comprimento útil do corpo-de-prova (fibra). A velocidade empregada no ensaio foi de 0,1 mm/min. Foram confeccionados 270 moldes por área e 18 por planta, totalizando por tanto, um total de 1350 ensaios. Optou-se por determinar a área transversal de cada corpo-de-prova (fibra) a ser ensaiado, pois a utilização da área média aumentaria a variabilidade dos resultados, por serem fibras naturais, que apresentam considerável variação de dimensões. Para a obtenção da área transversal foi necessário aferir o diâmetro das fibras. Os moldes foram levados a um microscópio óptico, sendo fotografados com alta precisão com o auxílio da lente de aproximação de 100X. Após a obtenção das imagens, foi utilizado o *software* Motic Images Plus 2.0, encontrando os diâmetros através da média obtida por três medições da fibra. Através dos valores dos diâmetros foram localizadas as áreas de cada fibra para posterior cálculo de tensão. O módulo de elasticidade da fibra foi determinado pela relação entre tensão e deformação no trecho elástico inicial da curva tensão *versus* deformação obtida no ensaio de tração.

Tabela 1: Localização e Aspectos Fisiográficos dos Municípios em que as expedições de coleta foram realizadas, Feira de Santana-BA, 2017.

MUNICÍPIOS	LOCALIZAÇÃO	ASPECTOS FISIOGRÁFICOS		
		RELEVO	SOLO	VEGETAÇÃO
MORRO DO CHAPÉU	Altitude de 1040 m; Coordenadas geográficas: 11°33'00" de latitude S 41°09'00" de longitude W	Chapadas e patamares/grande parte; Drenagem - principais rios: Jacuípe e Jacaré servem às bacias hidrográficas Jacuípe e São Francisco.	Latossolos ácidos, distróficos ou eutróficos: cambissolos, argissolos e neossolos litólicos e areias quartzosas.	Caatingas arbórea ou densa (sem palmeiras), florestas decidual montana ou estacional semidecidual, contatos cerrado-floresta estacional, caatinga-floresta estacional e ainda gramíneo lenhosa e refúgio ecológico montano.
NOVA FÁTIMA	Altitude de 298 m; Coordenadas geográficas: 11°36'00" de latitude S 39°38'00" de longitude W	Pediaplano sertanejo; Drenagem: rios Camisãozinho e Jacuípe e pelos riachos: Grande, Poço da Pedra, Santana e Mateus.	Planossolos solódicos e neossolos litólicos, ambos eutróficos	Caatinga arbórea aberta (sem palmeiras).
SÃO DOMINGOS	Altitude de 310 m; Coordenadas geográficas: 11°29'00" de latitude S 39°31'00" de longitude W	Pediaplano sertanejo; Drenagem: riachos que servem à bacia hidrográfica do rio Jacuípe, limitando o município na sua parte W.	Planossolos solódicos eutróficos e neossolos regolíticos eutróficos	Caatinga arbórea aberta, com ou sem palmeiras
JACOBINA (LAGES DO BATATA)	Altitude de 480 m; Coordenadas geográficas: 11°10'00" de latitude S 40°30'00" de longitude W	Serra de Jacobina, com as baixadas e patamares adjacentes; Drenagem: rios Canaveira, do Ouro, Itapicuru-Mirim e Cochó, pertencentes à bacia hidrográfica Itapicuru.	Cambissolos eutróficos, latossolos ácido ou distróficos, nitossolos eutróficos e neossolos litólicos eutróficos	Cerrado arbóreo aberto e os contatos cerrado floresta ombrófila, cerrado-floresta estacional e caatinga-floresta estacional, além de floresta estacional semidecidual.

FONTE: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA/CPRM/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2010

Os testes foram realizados com o *software Trapezium*, que gerou o valor da força máxima necessária para o rompimento da fibra. Os dados de força e deformação foram utilizados para a obtenção do módulo de resistência à tração (σ_T (MPa) (Equação 1), o módulo de elasticidade ou Young (E (GPa) (Equação 2), alongamento ou deformação à ruptura (ε_T (%)) e por fim, o Módulo de Weibull (β).

Equação 1

$$\sigma_T = \frac{P_{\text{máx}}}{A}$$

Onde:

$P_{\text{máx}}$ corresponde à carga máxima de tração obtida no ensaio e A é a área da seção transversal, admitida circular como $\pi \cdot d^2/4$.

Equação 2

$$E = \frac{\sigma_T}{\varepsilon}$$

Onde:

ε – Deformação (mm mm^{-1}) que corresponde à relação entre o deslocamento da fibra, quando atinge a carga máxima, dividido pelo deslocamento inicial (30 mm).

Através da análise de dados fornecidos no ensaio de tração, foram construídas curvas de tensão versus deformação. A análise da tensão máxima para cada fibra, correspondente à sua resistência à tração e, por fim realizado o método de Weibull para avaliação da probabilidade de falha. A aplicação da distribuição de Weibull na resistência à tração de fibras é descrita por diversos autores (SILVA et al., 2010; SILVA et al., 2008; CHAWLA et al., 2005; TRIPATHY et al., 2000). Nesse trabalho, foi utilizada a forma apresentada por SILVA et al.

(2008). Conforme a distribuição de Weibull, a probabilidade de sobrevivência de uma fibra é dada por:

Equação 3

$$P(\sigma) = \exp [-(\sigma/\sigma_0)^m]$$

Onde σ é a resistência da fibra para uma dada probabilidade de sobrevivência, m é o módulo de Weibull e σ_0 é definida como a resistência característica, correspondente à probabilidade de sobrevivência de 37% ($\sigma = \sigma_0 \rightarrow P(\sigma) = 1/e = 0,37$). Quanto maior o valor de m , menor a variabilidade na resistência. O *ranking* dos valores de resistência é encontrado utilizando-se como estimador:

Equação 4

$$P(\sigma)_i = 1 - (i/N+1)$$

Sendo $P(\sigma)$ a probabilidade de sobrevivência correspondente ao valor de resistência i , N o número total de fibras testadas. Substituindo-se (Eq. 3) em (Eq. 4), tem-se:

Equação 5

$$\ln \ln [N+1/N+1-i] = m \ln (\sigma/\sigma_0)$$

A linha reta encontrada através dos pontos $\ln \ln [(N+1)/(N+1-i)]$ versus $\ln \sigma/\sigma_0$ tem inclinação m .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da representação gráfica de curvas de tensão versus deformação verificou-se que os genótipos de todas as áreas apresentaram características similares (Figura 3). Segundo Bevitori (2014) as fibras mais finas são compostas de fibrilas relativamente menores, que resultam em comportamento mecânico superior.

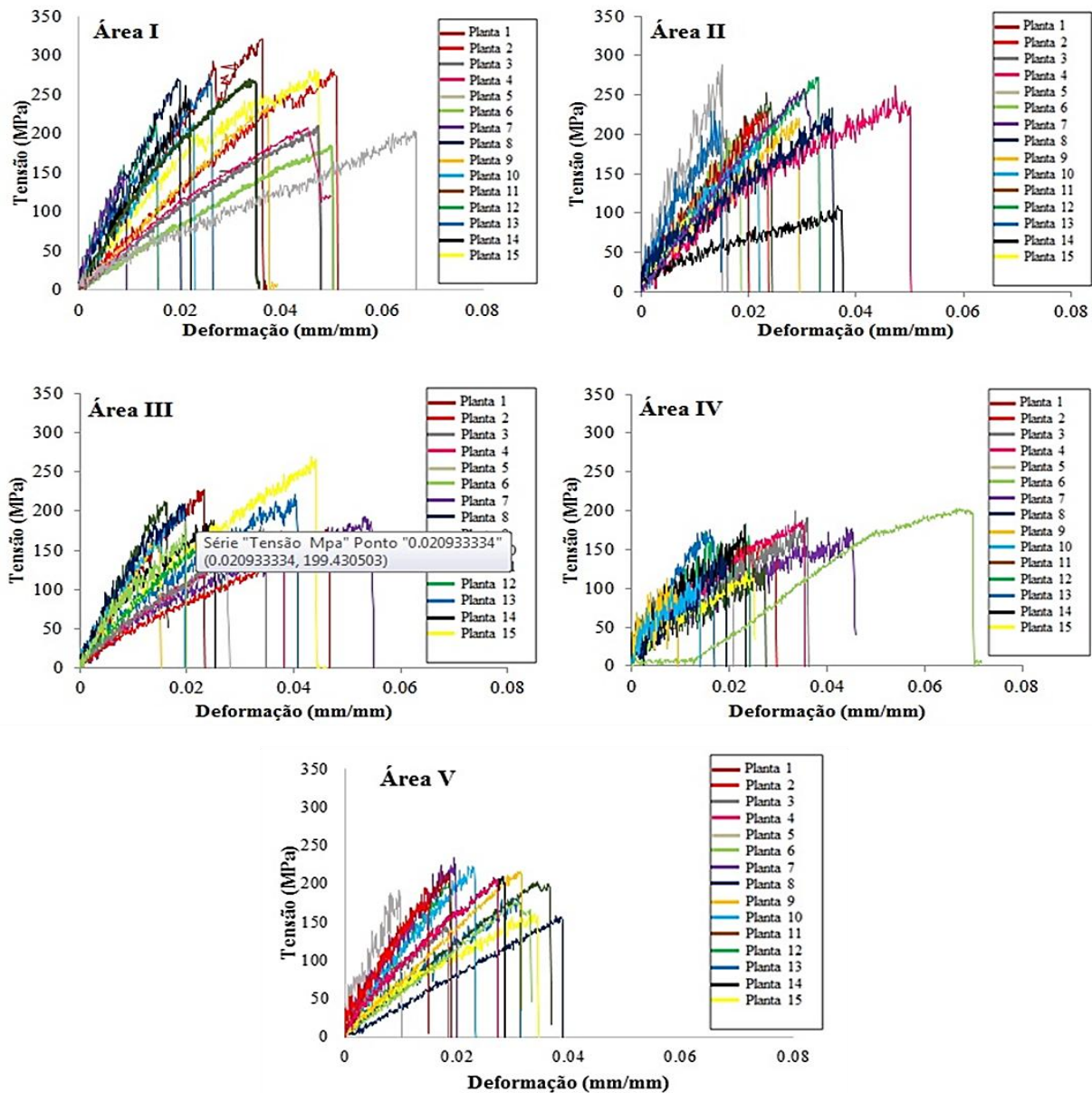


Figura 3. Gráficos de tensão deformação das fibras de sisal. Feira de Santana-BA, 2017

As fibras de sisal apresentam diagramas tensão-deformação típicos de polímeros semicristalinos frágeis, apresentados por Callister (1999), rompendo-se enquanto se deformam elasticamente (figura 3).

Os resultados obtidos nos ensaios das propriedades mecânicas (módulo de resistência à tração, módulo de elasticidade ou Young e deformação à ruptura), módulo de Weibull e dos diâmetros das fibras de sisal provenientes das cinco áreas (quatro municípios) estão apresentados nas tabelas 2 a 6.

Tabela 2. Propriedades mecânicas das fibras de sisal, provenientes do município de Morro do Chapéu/BA (Área I). Feira de Santana-BA. 2017.

Plantas	Resistência a tração (MPa)	Alongamento (mmmm ⁻¹)	Modulo de Elasticidade (GPa)	Modulo de Weibull	Diâmetro (mm)
1	315.117 ± 116.959	0.046 ± 0.014	7865.460 ± 3150.353	1.869	0.232 ± 0.073
2	281.280 ± 132.981	0.035 ± 0.008	8510.747 ± 3821.211	1.614	0.283 ± 0.116
3	211.221 ± 116.653	0.064 ± 0.018	3670.987 ± 2103.075	1.430	0.298 ± 0.111
4	203.997 ± 108.397	0.056 ± 0.022	5177.411 ± 3733.380	1.458	0.307 ± 0.109
5	202.248 ± 93.858	0.042 ± 0.027	8193.499 ± 4862.020	1.639	0.232 ± 0.063
6	184.424 ± 91.994	0.060 ± 0.043	7004.578 ± 5462.034	1.539	0.299 ± 0.131
7	155.289 ± 62.515	0.057 ± 0.036	5090.686 ± 3601.128	1.629	0.278 ± 0.104
8	274.699 ± 125.716	0.051 ± 0.019	7017.698 ± 3851.734	1.234	0.233 ± 0.073
9	237.219 ± 123.229	0.066 ± 0.039	6143.848 ± 4372.936	1.288	0.262 ± 0.111
10	213.834 ± 139.633	0.058 ± 0.029	5968.953 ± 4957.833	1.144	0.273 ± 0.107
11	266.332 ± 138.722	0.045 ± 0.025	8357.799 ± 4090.943	1.205	0.247 ± 0.091
12	218.446 ± 112.351	0.082 ± 0.053	5413.597 ± 4240.874	1.550	0.273 ± 0.105
13	277.481 ± 116.692	0.079 ± 0.051	6426.997 ± 4103.960	1.669	0.246 ± 0.084
14	262.579 ± 152.331	0.059 ± 0.019	5389.001 ± 3507.010	1.303	0.274 ± 0.099
15	277.254 ± 127.097	0.038 ± 0.009	8331.907 ± 4193.776	1.303	0.270 ± 0.117
Médias	238.762	0.056	6.570.878	1.458	0.268
Desvio	44.316	0.014	1.478.357	0.208	0.025
CV (%)	18.56	24.34	22.50	14.28	9.29

Tabela 3. Propriedades mecânicas das fibras de sisal, provenientes do município de Morro do Chapéu/BA (Área II). Feira de Santana-BA. 2017.

Plantas	Resistência à tração (Mpa)	Alongamento (mmmm ⁻¹)	Modulo de elasticidade (GPa)	Modulo de Weibull	Diâmetro (mm)
1	206.555 ± 87.679	0.056 ± 0.042	7236.943 ± 4353.202	1.482	0.206 ± 0.067
2	223.815 ± 72.643	0.049 ± 0.026	7214.379 ± 3814.323	1.588	0.219 ± 0.080
3	202.962 ± 56.732	0.0248 ± 0.009	9762.576 ± 2925.804	2.233	0.214 ± 0.052
4	261.759 ± 132.906	0.060 ± 0.026	6636.485 ± 4400.426	1.377	0.217 ± 0.081
5	289.089 ± 98.571	0.057 ± 0.032	6998.246 ± 2991.565	1.852	0.223 ± 0.069
6	193.338 ± 95.603	0.059 ± 0.025	4456.769 ± 2879.522	1.588	0.244 ± 0.091
7	260.191 ± 112.127	0.051 ± 0.016	6152.750 ± 3224.239	1.753	0.239 ± 0.086
8	233.543 ± 117.069	0.058 ± 0.036	7078.831 ± 4877.934	1.225	0.278 ± 0.116
9	217.411 ± 126.854	0.052 ± 0.022	5063.949 ± 3488.423	1.401	0.258 ± 0.087
10	202.744 ± 66.816	0.071 ± 0.039	4697.090 ± 2506.545	1.622	0.249 ± 0.099
11	257.571 ± 109.602	0.0476 ± 0.023	6968.996 ± 3324.477	1.497	0.236 ± 0.078
12	271.670 ± 120.556	0.063 ± 0.036	6875.564 ± 4559.243	1.419	0.226 ± 0.088
13	231.554 ± 65.227	0.061 ± 0.031	6098.030 ± 3320.305	2.024	0.229 ± 0.066
14	111.306 ± 106.744	0.064 ± 0.066	4237.333 ± 4021.844	1.802	0.329 ± 0.342
15	94.751 ± 64.232	0.054 ± 0.029	5101.857 ± 2771.419	0.916	0.276 ± 0.121
Média	217.217	0.055	6.305.320	1.585	0.243
Desvio	54.391	0.011	1.437.667	0.323	0.032
CV (%)	25.04	19.04	22.80	20.38	13.25

Tabela 4. Propriedades mecânicas das fibras de sisal, provenientes do município de Nova Fátima/BA (Área III). Feira de Santana-BA. 2017.

Plantas	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (mmmm ⁻¹)	Modulo de elasticidade (GPa)	Modulo de Weibull	Diâmetro (mm)
1	230.577 ±121.881	0.065 ± 0.026	4900.979 ± 3222.084	1.574	0.286 ± 0.083
2	177.493 ±103.952	0.042 ± 0.017	5304.618 ± 3409.695	1.386	0.355 ± 0.104
3	183.692 ± 76.825	0.0428 ± 0.019	5813.655 ± 2754.687	1.886	0.253 ± 0.088
4	172.497 ±102.278	0.043 ± 0.019	5474.534 ± 4073.602	1.198	0.300 ± 0.115
5	132.550 ± 90.109	0.035 ± 0.015	4624.509 ± 3061.290	1.263	0.322 ± 0.087
6	184.224 ± 80.673	0.044 ± 0.016	5224.610 ± 2910.128	1.908	0.275 ± 0.070
7	195.801 ±125.167	0.046 ± 0.016	4871.851 ± 2943.593	1.255	0.280 ± 0.089
8	209.304 ±117.169	0.062 ± 0.030	4981.695 ± 2986.292	1.182	0.286 ± 0.100
9	170.208 ± 93.430	0.049 ± 0.023	4970.845 ± 3549.041	1.495	0.322 ± 0.123
10	200.122 ± 94.978	0.051 ± 0.018	5061.352 ± 2901.467	1.580	0.255 ± 0.095
11	215.100 ± 97.934	0.031 ± 0.014	8054.595 ± 2833.230	1.538	0.256 ± 0.088
12	177.615 ±112.398	0.048 ± 0.025	5558.643 ± 3813.886	1.259	0.275 ± 0.093
13	222.367 ± 84.029	0.056 ± 0.025	5545.531 ± 3009.612	1.706	0.246 ± 0.075
14	190.969 ±128.217	0.057 ± 0.029	5072.684 ± 3441.039	1.192	0.280 ± 0.085
15	268.950 ± 85.947	0.038 ± 0.012	7949.512 ± 2214.567	1.657	0.209 ± 0.056
Médias	195.431	0.047	5560.641	1.472	0.280
Desvio	31.630	0.009	1039.677	0.248	0.036
CV (%)	16.18	20.33	18.70	16.83	12.70

Tabela 5. Propriedades mecânicas das fibras de Sisal, provenientes do município de São Domingos/BA (Área IV). Feira de Santana-BA. 2017.

Plantas	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (mmmm ⁻¹)	Modulo de elasticidade (GPa)	Modulo de Weibull	Diâmetro (mm)
1	139.826 ± 66.205	0.062 ± 0.042	3898.938 ± 2520.929	1.588	0.231 ± 0.092
2	167.896 ± 95.634	0.068 ± 0.045	5186.588 ± 3415.593	1.086	0.286 ± 0.137
3	199.345 ± 86.268	0.083 ± 0.055	5194.427 ± 4084.850	1.396	0.230 ± 0.092
4	185.885 ± 58.126	0.058 ± 0.032	4886.057 ± 2922.808	2.096	0.192 ± 0.040
5	155.839 ± 88.327	0.071 ± 0.039	3876.653 ± 2860.446	1.288	0.257 ± 0.117
6	205.935 ± 117.081	0.067 ± 0.026	3809.300 ± 2279.949	1.123	0.234 ± 0.107
7	179.275 ± 122.779	0.045 ± 0.023	5536.992 ± 4081.516	1.053	0.242 ± 0.113
8	140.425 ± 68.696	0.067 ± 0.045	4709.034 ± 3532.836	1.432	0.278 ± 0.120
9	113.064 ± 47.406	0.039 ± 0.021	3908.970 ± 2175.102	1.257	0.212 ± 0.068
10	113.845 ± 66.269	0.057 ± 0.037	3268.055 ± 2292.722	1.162	0.263 ± 0.083
11	132.853 ± 71.934	0.045 ± 0.024	4261.633 ± 2608.104	1.405	0.232 ± 0.079
12	181.371 ± 116.229	0.094 ± 0.052	3238.545 ± 2469.531	1.045	0.299 ± 0.097
13	185.778 ± 82.325	0.053 ± 0.026	5217.913 ± 2898.102	1.519	0.271 ± 0.094
14	185.972 ± 79.544	0.072 ± 0.038	4976.557 ± 3945.088	1.554	0.219 ± 0.080
15	124.525 ± 51.909	0.039 ± 0.021	5132.334 ± 3183.916	1.770	0.211 ± 0.070
Médias	160.789	0.061	4473.466	1.385	0.244
Desvio	31.264	0.015	760.428	0.293	0.031
CV (%)	19.44	25.36	16.99	21.18	12.61

Tabela 6. Propriedades mecânicas das fibras de Sisal, provenientes do município de Lages do Batata (Jacobina)/BA (Área I). Feira de Santana-BA. 2017.

Plantas	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (mmmm ⁻¹)	Modulo de elasticidade (GPa)	Modulo de Weibull	Diâmetro (mm)
1	215.291 ± 144.968	0.059 ± 0.025	6610.288 ± 6218.568	1.091	0.266 ± 0.121
2	196.779 ± 116.132	0.059 ± 0.025	4568.323 ± 3078.516	1.412	0.248 ± 0.088
3	149.695 ± 66.369	0.049 ± 0.030	5318.359 ± 4021.742	1.555	0.249 ± 0.095
4	205.274 ± 107.113	0.071 ± 0.047	6230.562 ± 4691.139	1.485	0.275 ± 0.123
5	187.638 ± 98.376	0.092 ± 0.065	5310.656 ± 4714.836	1.494	0.294 ± 0.139
6	178.067 ± 85.842	0.060 ± 0.049	6860.326 ± 4150.910	1.668	0.177 ± 0.028
7	237.705 ± 164.077	0.041 ± 0.027	9969.439 ± 6130.813	1.092	0.135 ± 0.023
8	159.242 ± 111.232	0.041 ± 0.022	6684.928 ± 4828.126	1.049	0.203 ± 0.043
9	214.954 ± 128.225	0.057 ± 0.037	6709.099 ± 4871.422	1.215	0.182 ± 0.041
10	222.642 ± 112.046	0.062 ± 0.031	5738.821 ± 3783.681	1.309	0.329 ± 0.151
11	202.142 ± 127.068	0.092 ± 0.054	4592.270 ± 4140.523	1.086	0.192 ± 0.070
12	203.147 ± 129.666	0.048 ± 0.025	6392.557 ± 3986.009	1.341	0.202 ± 0.064
13	184.463 ± 105.651	0.045 ± 0.025	6675.333 ± 4209.775	1.165	0.172 ± 0.053
14	206.256 ± 125.484	0.039 ± 0.019	7366.905 ± 4706.182	1.291	0.247 ± 0.115
15	160.406 ± 107.933	0.054 ± 0.034	5168.707 ± 3624.208	1.229	0.169 ± 0.024
Médias	194.914	0.058	6279.772	1.299	0.223
Desvio	24.972	0.016	1334.412	0.191	0.054
CV (%)	12.81	28.29	21.24	14.73	24.43

Verifica-se que as propriedades mecânicas das fibras de sisal sofreram variação nos acessos dentro e entre áreas (Tabelas 1 a 5). Quando observado os valores de resistência à tração (σ_T) obtida por planta, nota-se que o genótipo 1 da área I apresentou maior valor ($\sigma_T = 315,117$ Mpa), enquanto que o genótipo 15 da área II apresentou menor valor de resistência ($\sigma_T = 94,75$ MPa). Em relação à variabilidade da resistência a tração, entre as áreas (Figura 4), percebe-se maior resistência na área I e menor na área IV, com valores médios de $\sigma_T = 238,7617$ MPa e $\sigma_T = 160,789$ MPa, respectivamente. Presume-se, que essas variações, existentes entre as áreas, manifestem-se em decorrência das fibras serem naturais, consequentemente sujeitas às variações e heterogeneidade inerentes a sua própria natureza, como por exemplo, características naturais complexas e altamente heterogêneas em relação quantidade e distribuição das chuvas, tipos de solos e vegetação (SILVA, et al.; 2010; MONTEIRO, 2012). Sendo necessário destacar, também, que variações de resistência à fibra podem estar atreladas a variações de ambiente, levando-se em consideração que as plantas foram submetidas a diferentes condições edafoclimáticas que resultam em heterogeneidade de resultados. Levando em consideração que diversos fatores influenciam a produção de fibras secas vegetais, e que dentre esses aspectos a fertilidade dos solos e o manejo da cultura podem ser determinantes na qualidade da fibra, alguns autores expressam uma preocupação com a

variação dos resultados quando são consideradas diferentes regiões e suas formas de cultivo, tendo em vista que a composição química lignocelulósica interfere na resistência da fibra. Como as plantas foram avaliadas em ambiente natural, em que o manejo da cultura não é realizado de forma adequada e com base nos princípios que regem os padrões estatísticos, essas diferenças se tornam mais fortes, gerando ampla variabilidade na expressão de características fenotípicas.

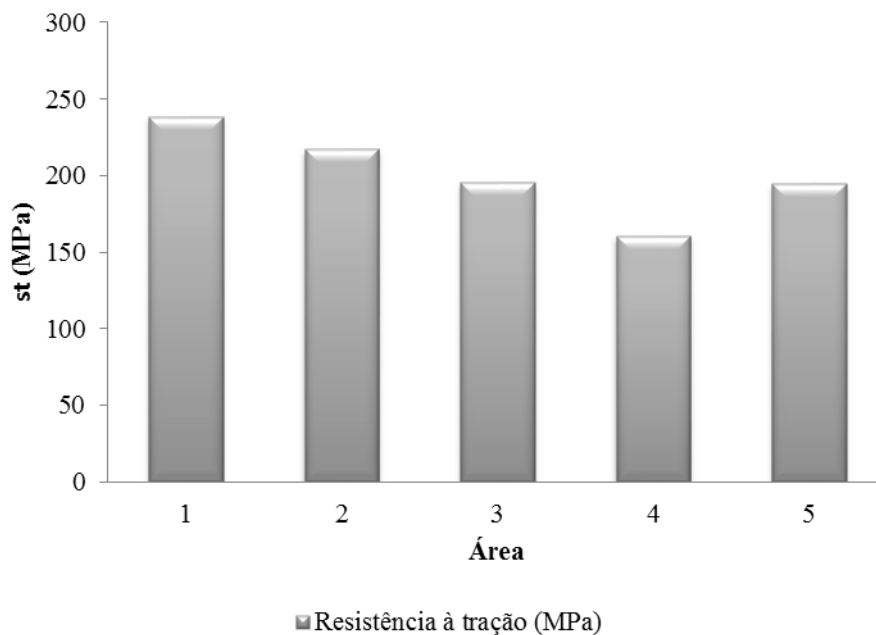


Figura 4. Variação da resistência à tração das fibras de sisal em diferentes áreas. Feira de Santana, BA, 2017.

Para a resistência à tração, a Área 1 apresentou maior resistência, cerca de 1,5 vezes maior que a resistência das fibras da Área 4. Dentre os elementos de maior importância para a fibra, destaca-se o cálcio por ser um componente estrutural da parede celular, haja vista que a resistência da parede é estabelecida por sua composição, com base em teores de celulose, hemicelulose e lignina, presentes na composição da parede primária e secundária das plantas (CARVALHO, 2007), esses resultados preliminares por tanto, demonstra que a Área 1 possui uma parede celular mais firme que as demais áreas avaliadas.

Segundo Tôledo Filho (2010), os atributos naturais como a fertilidade do solo e a idade da planta, podem sofrer variação de uma área para outra, e essas variáveis são fatores que influenciam nas propriedades das fibras naturais. Alguns autores relatam que o P e K devem ser considerados componentes nutricionais de grande relevância quando se considera a

resistência da fibra vegetal, tendo em vista que o fósforo tende a aumentar o comprimento da fibra e o potássio a quantidade de celulose. Incrementos nestes descritores são importantes para imprimir maior resistência à fibra, refletindo em melhorias no comprimento, uniformidade de comprimento e espessura desta (AQUINO et al., 2012a; AQUINO et al., 2012b; ROSOLEM e WITACKER, 2007; SANTOS et al., 2012). De acordo com Motta e Agopyan (2007), fibras que apresentam maior resistência, conseqüentemente, exibem menor deformação e por sua vez, possuem maior módulo de elasticidade. Autores como Agarwal e Broutman (1999) afirmam que a resistência dos tecidos vegetais, assim como o enrijecimento da parede celular e a proteção das fibras contra danos químicos e físicos são gerados pela lignina que é um polímero complexo e de estrutura amorfa. Os autores afirmam ainda, que a lignina influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia e a flexibilidade das fibras lignocelulósicas.

Trabalhos realizados por Guimarães (1987), Chand et al. (1988), Li et al. (2000), Tolêdo Filho (1997), Beaudoin (1990), Martin et al. (2009), Silva et al. (2009), Spinacé et al. (2011), Fidelis et al. (2013) Surdaram et al. (2015), corroboram os dados obtidos no presente estudo apontando que existe variação quanto a resistência à tração das fibras de sisal e que a origem dos materiais podem ter influenciado nos resultados obtidos (Tabela 6). Os resultados confirmam a existência de variabilidade nos parâmetros apresentados. Conforme Barbosa (2006) e a Confederação Nacional de Agricultura (CNA, 2003), as propriedades mecânicas e físicas das fibras vegetais, determinadas por meio dos descritores usados, podem apresentar uma extensa versatilidade, e essas podem ser explicadas pela espécie da planta, local de plantio e a metodologia do trabalho.

Tabela 7. Propriedades Mecânicas e os diâmetros das Fibras de sisal, obtidas por diferentes autores. Feira de Santana- BA, 2017.

E^1 (GPa)	σT^2 (MPa)	ϵT^3 (%)	\varnothing^4 (μm)	Local de Coleta	Referências
14,9	176	29,2	-	-	Guimarães (1987)
9,4-22,0	530-640	3,0-7,0	20,0-300	-	Chand <i>et al</i> (1988)
10,94-26,7	227,8-230	2,08-4,18	80,0-300	-	Tolêdo Filho (1997)
13,0-26,0	1.000-2.000	3,0-5,0	-	-	Beaudoin (1990)
17,0	369,0	-	143,0	Campina	Martin <i>et al</i>

10,0	448,0	-	465,0	Grande/PB Campina	(2009) Martin <i>et al</i>
19,0	400,0	-	-	Grande/PB Valente/BA	(2009) Silva <i>et al</i>
11,5	215,6	2,1	-	Pocinhos/PB	(2009) Lopes <i>et al</i>
10,5	264,0	-	-	Pará/PA	(2010) Spinacé <i>et al</i>
19,5	484,0	-	-	Valente/BA	(2011) Fidelis <i>et al</i>
28,51	710,0	-	127,1	Pollachi/Índia	(2013) Surdaram <i>et al</i> (2015)

¹E = Módulo de Elasticidade ou Young; ² σ_T = Módulo de Resistência a Tração; ³ ϵ_T = Alongamento ou Deformação a Ruptura; ⁴ \emptyset = Diâmetro

A aplicação da distribuição de Weibull, na resistência a tração de fibras naturais, é descrita por diversos autores (TRIPATHY et al., 2000; CHAWLA et al., 2005; SILVA et al., 2008; DEFROIT et al., 2010; FIDELIS et al., 2013). A estatística de Weibull (β) é utilizada para quantificar a variabilidade de resistência das fibras vegetais. Neste trabalho, ressalta-se, que para as diferentes áreas, houve uma oscilação nos valores de β dos acessos (Tabelas de 1-5), sendo possível perceber a variabilidade nos valores de resistência. Os valores do módulo de Weibull, encontrados no presente trabalho, estão abaixo dos valores apontados na literatura, todavia mostraram que existe variabilidade na resistência, dos genótipos dentro e entre áreas. Em estudos de comportamento mecânico de fibras de sisal, Silva et al., (2010), obtiveram valores de β entre 3,0 e 4,6, o que demonstra uma baixa variabilidade na força de tração entre as amostras examinadas. Esses mesmos valores de intervalo são observados em algumas fibras sintéticas, como as fibras de cerâmica (CHAWLA et al., 2005). Destaca-se, portanto, que as fibras de sisal apresentam comportamento mecânico semelhante às fibras sintéticas, com relação à força de tração.

Identificam-se nos valores de alongamento (ϵ), módulo de Young ou Elasticidade (E) e diâmetros (\emptyset), apresentados nas tabelas de 1 a 5, que há uma variação dos genótipos dentro e entre as áreas avaliadas. Em relação ao alongamento na ruptura ou última deformação, observa-se uma variabilidade maior dos genótipos dentro das áreas do que entre áreas. As áreas que obtiveram o maior e menor valor, respectivamente, de elasticidade foram a IV (São Domingos), com $\epsilon = 0,061$ mm (6,1%), e a II (Morro do Chapéu/Faz. II) com $\epsilon = 0,024$ mm (2,48%) (tabelas 1 a 5). Quanto ao módulo de elasticidade, à área I (Morro do Chapéu/Faz. I) obteve maior valor em média, com $E = 6570,87$ GPa, e a área IV (São Domingos) com o

menor valor ($E = 4473,46$ GPa) (Tabelas 1 a 5). Trabalho com fibras vegetais incluindo o sisal e fibras de polipropileno, realizado por Motta e Agopyan (2007), demonstrou que as fibras de sisal apresentam maior módulo de elasticidade, conseqüentemente maior rigidez que fibras de sisal e fibras vegetais como côco e bagaço de cana, estando esta rigidez possivelmente associada ao teor de lignina presente nas fibras.

Os resultados dos diâmetros das fibras (\emptyset), por sua vez, mostraram que a variabilidade existente nos genótipos dentro das áreas não foi considerável (tabelas de 1 a 5), por outro lado a variabilidade dos genótipos de áreas diferentes foi expressiva (Figura 5), variando de 0,169 mm para o genótipo 15 da área V, e 0,355 mm para o genótipo 2 da área III.

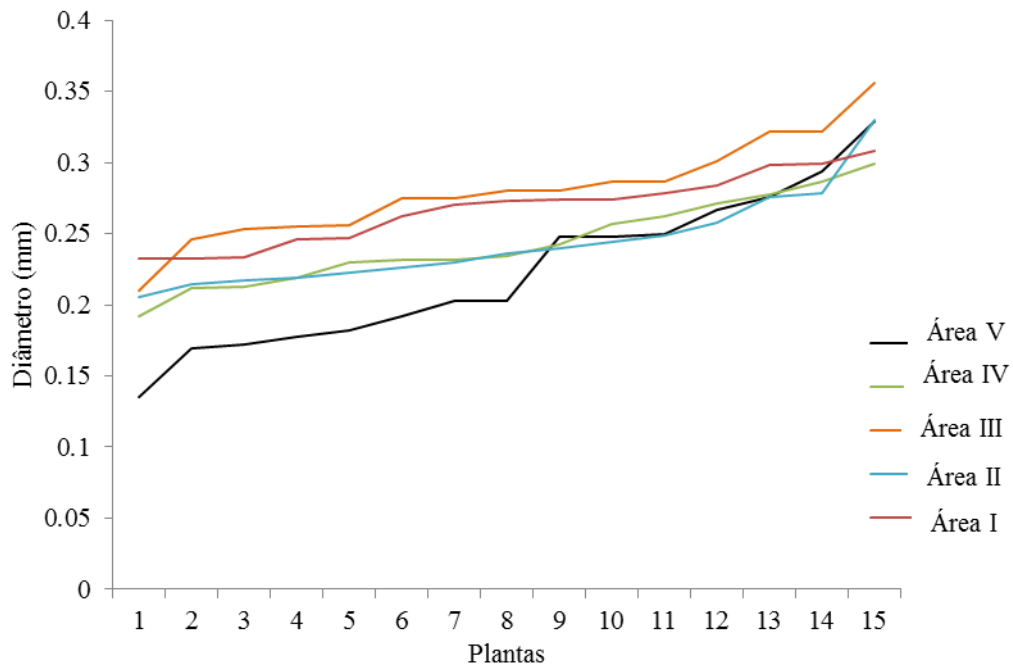


Figura 5. Variação do diâmetro de fibras de sisal em diferentes áreas. Feira de Santana- BA, 2017.

De acordo com as figuras 6 e 7, existe uma correlação negativa entre a resistência da fibra e o diâmetro, assim como, também, entre o módulo de elasticidade e o diâmetro. Assim, fibras de sisal que apresentaram maiores valores de resistência e módulo de elasticidade apresentaram menor diâmetro. Vale ressaltar, que as fibras mais finas são compostas de fibrilas relativamente menores, que resultam em comportamento mecânico superior. Resultados semelhantes foram relatados, recentemente, em estudo da avaliação das propriedades e estrutura de fibras de Rami (BEVITORE, 2014) e por Motta e Agopyan (2007) com trabalho de fibras de côco, bagaço de

cana, sisal e fibra sintética de polipropileno. Esta correlação entre resistência, módulo de elasticidade e diâmetro, na prática, pode acarretar na seleção de fibras mais fortes e mais finas. Inácio et al. (2010), em análises de resistência a tração em associação com o diâmetro da fibra, concluíram que a resistência a tração foi superior em testes com fibras de menor diâmetro. Monteiro et al. (2010), também, observaram que as fibras de sisal que apresentaram menor diâmetro, obtiveram um maior valor de resistência a tração.

Fidelis et al. (2013), em estudos sobre a influência na morfológica à resistência à tração de fibras naturais de côco, curauá, juta, piaçava e sisal, observaram que quanto menor a área do lúmen mais espessa é a parede celular, sendo, portanto, maior a resistência da fibra. O trabalho relatado também demonstrou que as fibras de juta e sisal apresentaram a mesma espessura de parede celular, porém a de juta, apesar de possuir menor área, obteve resistência à tração menor que a do sisal. Isso mostra que não só a morfologia influencia nos resultados do ensaio de tração, mas também a composição química da fibra. Sydentricker et al. (2007), também, comprovaram que tanto a resistência à tração quanto o módulo de elasticidade decresceram à medida que ocorreu aumento do diâmetro das fibras lignocelulósicas.

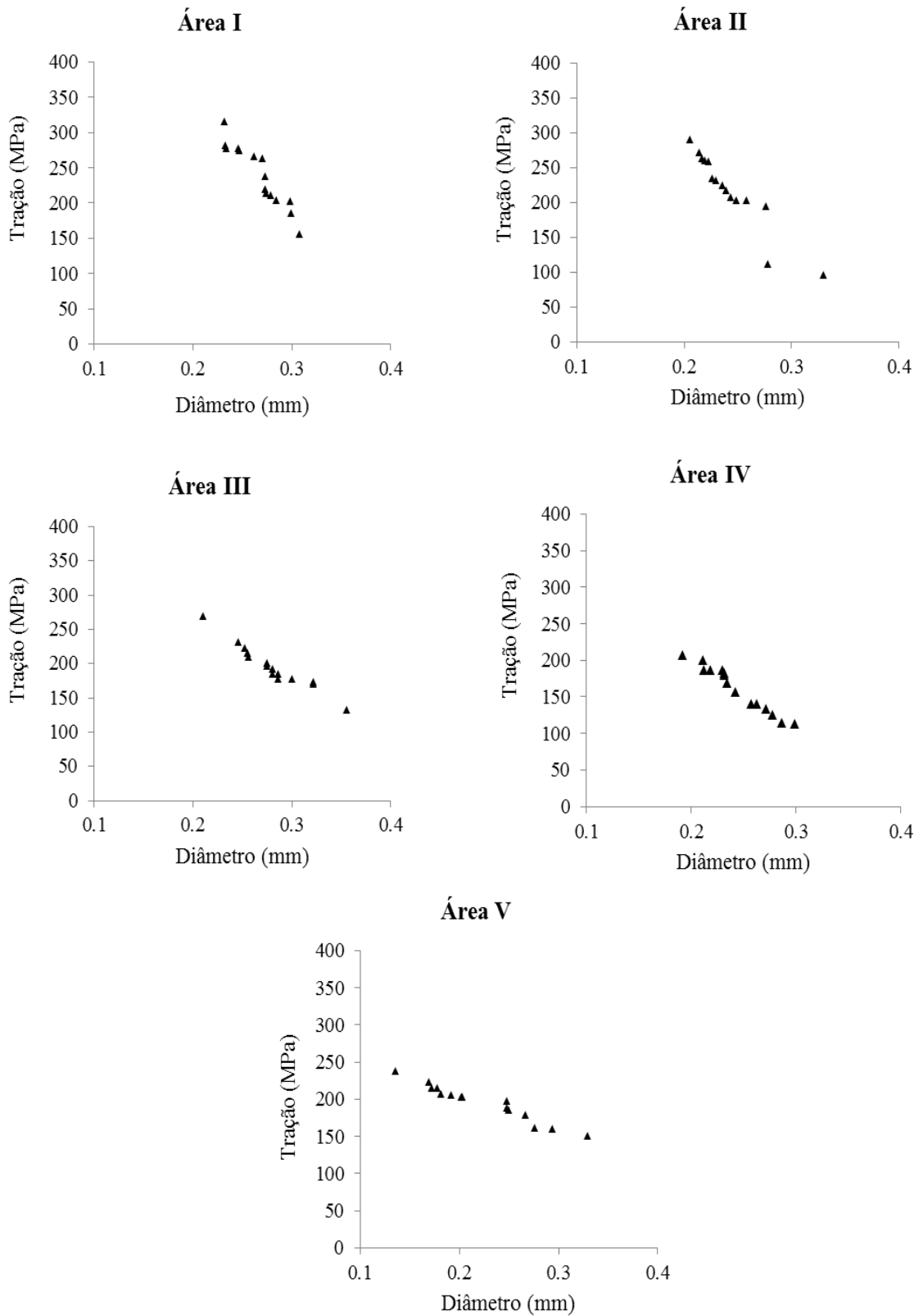


Figura 6. Variação das médias das trações em relação às médias dos diâmetros em fibras de sisal, obtidas de diferentes áreas. Feira de Santana-BA, 2017.

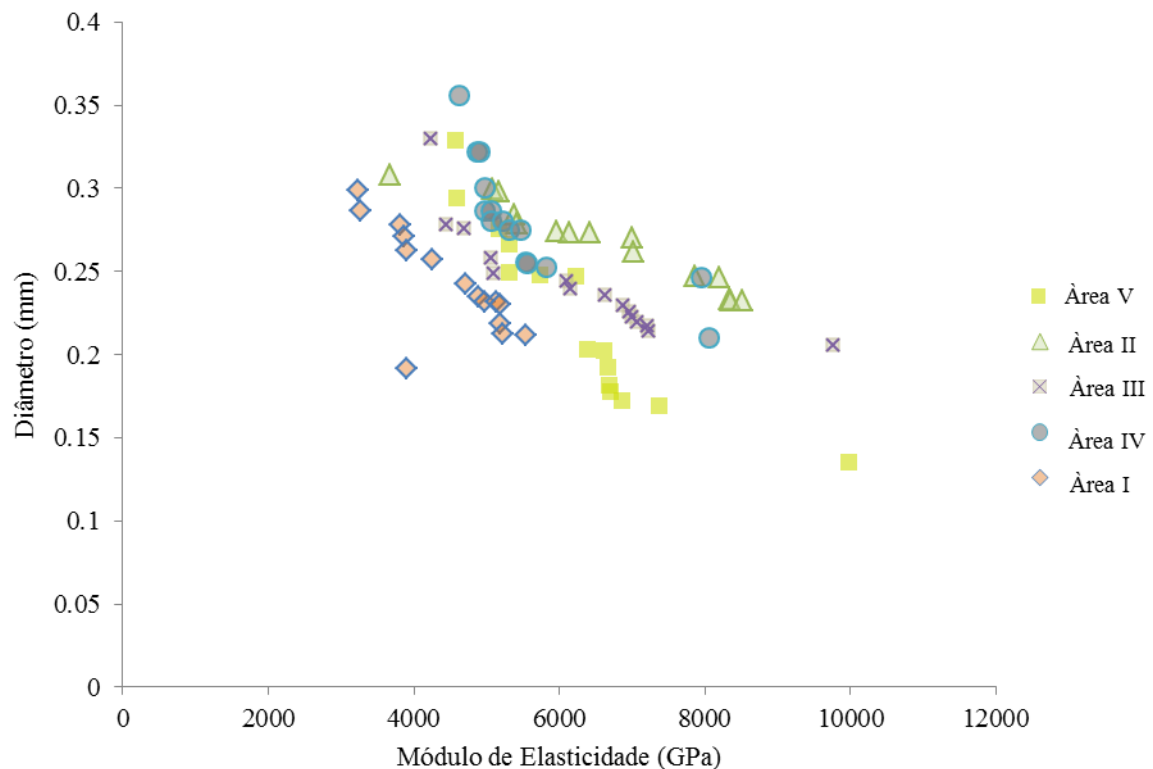


Figura 7. Variação das médias dos Módulos de Elasticidade em relação às médias dos diâmetros em fibras de sisal, obtidas de diferentes áreas. Feira de Santana-BA, 2017.

Os altos valores obtidos para os coeficientes de variação e os desvios padrão para as propriedades mecânicas das fibras (Tabelas 1-5), estão em geral, relacionados com a variação de diâmetro e com os parâmetros estruturais das fibras naturais. Valores superiores, aos obtidos nesse estudo, foram encontrados por Martin et al. (2009).

CONCLUSÕES

- As propriedades mecânicas das fibras sofrem modificação em genótipos localizados dentro e entre as áreas de coleta;
- A resistência à tração das fibras apresenta variação;
- À medida que o diâmetro da fibra aumenta, ocorre uma redução da resistência à tração e do módulo de elasticidade das fibras independentes das áreas onde o acesso foi coletado;
- Os resultados permitiram uma melhor compreensão das propriedades mecânicas das fibras de sisal.

REFERÊNCIAS

- BEAUDOIN, J. J. Handbook of fiber reinforced concrete – principles, properties, developments and applications. **Noyes Publications**, USA, p. 332, 1990.
- BARRETO, A. C. H. et al. Cardanol Biocomposites Reinforced with Jute Fiber: Microstructure, Biodegradability, and Mechanical Properties. **Polymer Composites**, 31, n.1, p.1928–1937, 2010.
- BARROS, C. C.; LACERDA, T. S. P.; LISBOA, V. S.; GOULART, S. A.; MULINARI, D. R. Propriedades mecânicas dos compósitos híbridos vidro/sisal. **Cadernos UNIFOA**[Internet]. 2012 abr (acesso em 24 de jan, 2016) 18. Disponível em: <http://www.netzsch-thermalanalysis.com/>
- BELTRÃO, N. E. M. A planta. In: ANDRADE, W. (Ed.). **O Sisal do Brasil**. 1. ed. Salvador: SINDIFIBRAS; Brasília: APEX-Brasil, 2006.
- BOURMAUD, A.; BALEY, C. Investigations on the recycling of hemp and sisal fiber reinforced polypropylene composites. **Polymer Degradation and Stability**, v. 92, n. 6, p. 1034-1045, 2007.
- BRIGIDA, A. I. S.; CALADO, V. M. A.; GONCALVES, L. R. B.; COELHO, M. A. Z. Effect of Chemical Treatments on Properties of Green Coconut Fiber. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 4, p. 832-838, 2010.
- CALLISTER JUNIOR, W.D. **Materials Science and Engineering-An Introduction**. **John Wiley & Sons**, Inc., 5th ed. USA, 1999.
- CHAND, N.; TIWARY, R. K.; ROHATGI, P. K. Bibliography resource structure properties of natural cellulosic fibres- an annotated bibliography. **Journal of Materials Science**, v. 23; pp. 381-7, 1988.
- CHAWLA, N., KERR, M., CHAWLA, K. K. Monotonic and cyclic fatigue behavior of high-performance ceramic fibers. **J Am Ceram Soc**; v. 88; pp.101–8; 2005.
- CNA – **Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil**. Em: www.cna.org.br/publicação. Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Várias publicações. Acesso em: 02 de fevereiro, 2016. Disponível em: www.embrapa.org.br
- DEFOIRDT, N., BISWAS, S., VRIESE, L., TRAN, L. Q. N., ACKER, J. V., AHSAN, Q., et al. Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fiber. **Compos A – Appl Sci Manuf**; 41: 588–95; 2010.

FAO. **Future Fibres.** Disponível em: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/sisal/en/>. Acesso em 19 de novembro de 2015.

FAVARO, S. L.; LOPES, M. S.; CARVALHO NETO, A. G. V.; SANTANA, R. R.; RADOVANOVIC, E. Preparação e caracterização de compósitos polietileno pós-consumo com cascas de arroz. **Composites**. Parte A, v 41, p. 154-160, 2010.

FIDELIS, M. E. A., et al. The effect of morphology on the tensile strength of natural fibers. **J Mater Res Technol**. v.2, pp149-157, 2013.

GEHLEN, L. R. **Efeitos da utilização de fibras lignocelulósicas (açai e curauá) em compósitos com matriz de resina poliéster insaturado**. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2014.

GEORGOPOULOS, S. T.; TARANTILI, P. A.; AVGERINOS, E.; ANDREOPOULOS, A. G.; KOUKIOS, E. G. Thermoplastic polymers reinforced with fibrous agricultural residues. **Polym. Degrad, Stab.**, v. 90, pp.303-312, 2005.

GUIMARÃES, S. S., Fibra vegetal-cimento - **Resultados de algumas experiências realizadas no THABA/CEPED**. In: Anais do I simpósio internacional sobre produção e transferência de tecnologia em habitação: da pesquisa à prática. HABITEC 87. São Paulo, 6-10, abr. p.103, 1987.

HOLANDA, E. B. N. **Morfologia e propriedades mecânicas da fibra de sisal unidirecional e em sobreposição de compósito com resina epóxi**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

INACIO, W.P., LOPES, F.P.D., MONTEIRO, S.N., Diameter dependence of tensile strength by Weibull analysis: Part III sisal fiber, **Revista Matéria**, v. 15, n. 2, pp. 176-182, 2010.

JOHN, M. J.; THOMAS, S. Biofibres and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 1, n. 3, p. 343-364, 2008.

LEVY NETO, L. C.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. Edgard Blücher, São Paulo, 313 p. 2006.

LI, Y.; MAI; Y. W.; YE, L. - Composites Sci. **Technol.**, **6**, p.2037, 2000.

LOPES, F. F. M., ARAÚJO, G.T., NASCIMENTO, J.W.B., GADELHA, T.S., SILVA, V.R. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.7, p.783-788, 2010 Campina Grande, PB, UAEEA/UFCEG – <http://www.agriambi.com.br> Protocolo 038.09 – 25/03/2009 - Aprovado em 22/02/2010.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para Interpretação de Espectros de Substâncias Orgânicas na Região do Infravermelho. **Quim. Nova**, v. 27, n. 4, p – 670 – 673, 2004.

MAHATO, D. N.; PRASAD, R. N.; MATHUR, B. K. Surface Morphological, Band and Lattice Structural Studies of Cellulosic Fiber Coir under Mercerization by ESCA, IR 99 and XRD Techniques. **Indian Journal of Pure e Applied Physics**, v. 47, p. 643-647, 2009.

MARTIN, A. R. et al. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade Agave sisalana. **Polímeros**, São Carlos, v. 19, n. 1, pag. 40-46, 2009.

MARTINA, A. R. *et al.* Studies on the thermal properties of sisal fiber and its constituents. **Thermochimica Acta**, 506, 14–19, 2010.

MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C. - **J. Appl. Polym. Sci.**, **91**, p.670, 2004.

MEDINA, J. C. - “O sisal”, **Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo**, São Paulo 1954.

MERLINI, C.; A. L – QURESHI, H. A.; SALMÓRIA, G. V.; BARRA, G. M. O.; PIRES, E. N. Efeito do Tratamento Alcalino de Fibras de Juta no Comportamento Mecânico de Compósitos de Matriz Epóxi. **Polímeros**, v. 22, n. 4, p. 339 – 344, 2012.

MONTEIRO, S. N.; SATYANARAYANA, K. G.; LOPES, F. P. D. High strength natural fibers for improved polymer matrix composites. **Materials Science Forum**, v.638-642, pp. 961-966. 2010.

MORAES, A. G. O. **Estudo do íon boroidreto como agente protetor de fibras de sisal no tratamento em meio alcalino**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 19 de maio de 2010.

MWAIKAMBO, L.Y.; ANSELL, M. P. - **J. Appl. Polym. Sci.**, 84, pag. 2222. 2002.

OLIVEIRA, M. P. **Propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos poliméricos reforçados por fibras de bucha**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio Janeiro, 2013.

RAMÍREZ, M. G. L. **Caracterização de Biocompósitos de Amido Termoplástico Reforçados com Fibra de Côco Verde**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2011.

SANTOS, J. D. G. et al. Antimicrobial activity of Agave sisalana. **African Journal of Biotechnology**, v.8, n.22, pag. 6181-6184, 2009.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; PIMENTEL, L. L. “Viabilidade do Aproveitamento de Resíduos de Fibras Vegetais para Fins de Obtenção de Material de Construção” **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 04, n°01, 2000.

SAVASTANO JÚNIOR; H; AGOPYAN; V; OLIVEIRA, L. “Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios.” v.17, n.1. **Eng. Agrícola**: Jaboticabal, p.113-124, 1997.

SILVA, A. G. CARDOSO DA, **Biodeterioração Da Fibra De Sisal Em Compósitos À Base De Cimento**, Dissertação – Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2010.

SILVA, F. A., CHAWLA, N., TOLÊDO FILHO, R. D., “An experimental investigation of the fatigue behavior of sisal fibers”. **Materials Science and Engineering: A**, Volume 516, Issues 1-2, pp. 90-95, August 2009.

SILVA, O. R. R. F. D. A; et al. Cultivo do Sisal no Nordeste Brasileiro, **Circular Técnica** n. 123, Embrapa, Campina Grande, PB, 2008.

SILVA, R. V. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Centro Tecnológico. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). São Carlos, 157 f. 2003.

SPINACÉ, M. A. S.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C.; GROSSI, T. A.; DE PAOLI, M. A. Poliofelinas reforçadas com fibras vegetais curtas: Sisal vs Curauá. **Polímeros**, v. 21, nº3, pp.168-174, 2011.

SYDENSTRICKER, T. H. D., MOCHNAZ, S., AMICO, S. C. Pull-out and other evaluations in sisal-reinforced polyester biocomposites. **Polym Test**; v. 22; pp. 375–80; 2007.

TOLEDO FILHO, R. D., **Natural fibre reinforced mortar composites: experimental characterization**. D.Sc., DECPUC-Rio/DEC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

TRELIM. **Informações gerais sobre o sisal**. Disponível em: <<http://www.trelim.com.br/index-63.html>>. Acesso em: 19 de novembro de 2015.

TRIPATHY, S.S., LANDRO, L.D., FONTANELLI, D., MARCHETTI, A., LEVITA, G. Mechanical properties of jute fibers and interfacial strength with an epoxy resin. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 75, p. 1585–1596, 2000.

CAPITULO III

ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS FIBRAS DE SISAL ORIUNDAS DE DIEFERENTES MUNICÍPIOS BAIANOS

Feira de Santana

2017

RESUMO

As fibras vegetais são objeto de estudos, em diferentes áreas, em função da sua versatilidade de uso, surgindo como alternativa para área tecnológica, e por serem uma fonte renovável, reciclável, biodegradável e de baixo custo. Dentro dessa perspectiva, as fibras de sisal são materiais que possuem ampla possibilidade de aplicação para o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras vegetais. Destarte, em virtude da necessidade de compreender os aspectos que possivelmente influenciam a resistência mecânica, como a composição da fibra e aspectos pedológicos das áreas em estudo, o presente trabalho avaliou as propriedades morfológicas das fibras de sisal através da Difração de Raio-X, que proporciona informações sobre a estrutura cristalina em materiais celulósicos, por meio da razão entre as estruturas cristalinas e amorfas do material, assim como, através da análise FTIR - espectroscopia na região do infravermelho, que é uma técnica que investiga grupos funcionais de um dado material que pode ser orgânico ou inorgânico com base na radiação infravermelho. Estabelecer uma possível resposta sobre as características internas da fibra, inferindo em parâmetros de fertilidade dos solos configuram afirmações de diferentes autores, tendo em vista que modificações de resistência à fibra podem estar atreladas a variações de ambiente, levando-se em consideração que as plantas foram submetidas a diferentes condições edafoclimáticas, E que podem resultar em heterogeneidade de resultados. Através da análise química do solo averiguar, a partir da composição de minerais, entre outros parâmetros dos solos, das áreas avaliadas, quais nutrientes podem influenciar nas características das fibras de sisal *in natura*. Os resultados mostram que as áreas avaliadas, assim como as distintas regiões de ápice e base das fibras, possuem pequenas diferenças quanto às características micro estruturais e que distintas condições edafoclimáticas não interferem na constituição química, mas intervêm na quantidade dos compostos orgânicos entre os indivíduos.

Palavras chave: Constituição química, condições edafoclimáticas, *Agave sisalana* Per.

MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF SISAL FIBERS FROM DIFFERENT MUNICIPALITIES OF BAHIA BRAZIL

ABSTRACT

Vegetable fibers are studied in different areas, due to their greater versatility, appearing as an alternative to the technological area, and being a renewable, recyclable, biodegradable and low cost source. From this perspective, sisal fibers are materials that have a wide possibility of application for the development of composites reinforced with vegetable fibers. Therefore, due to the need to understand the aspects that may influence mechanical resistance, such as fiber composition and pedological aspects of the studied areas, the present study evaluated the morphological properties of sisal fibers by X-ray diffraction, which provides information on the crystalline structure in cellulosic materials, by the ratio between the crystalline and amorphous structures of the material, as well as, through the FTIR - infrared spectroscopy, which is a technique that investigates functional groups of a given material that can be organic or inorganic based on infrared radiation. Establish a possible response on the internal characteristics of the fiber, inferring on soil fertility parameters constitute statements of different authors, considering that modifications of resistance to the fiber can be linked to variations of environment, taking into consideration that plants were submitted to different edaphoclimatic conditions, and which may result in heterogeneity results. Through the soil chemical analysis, from the mineral composition, among other parameters of the soils, of the evaluated areas, which nutrients can influence the characteristics of sisal fibers in natura. The results show that the evaluated areas, as well as the different regions of apex and base of the fibers, have small differences in micro structural characteristics and that different edaphoclimatic conditions do not interfere in the chemical constitution, but intervene in the amount of the organic compounds among individuals.

Keywords: Chemical constitution, edaphoclimatic conditions, *Agave sisalana* Per.

INTRODUÇÃO

O interesse pela utilização das fibras naturais, por serem fontes renováveis e sustentáveis, tem crescido devido, principalmente, à busca pelo equilíbrio no uso dos recursos naturais. Com isso, tornou-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias com o intuito de produzir materiais com alto desempenho a partir de fontes renováveis (SOUZA, 2010).

O aproveitamento integral dessas fibras, inclusive o resíduo industrial, permite uma destinação adequada e proveitosa de toda a planta e dos seus subprodutos, ressaltando a preocupação sob o ponto de vista ambiental. Entretanto, aspectos científicos e econômicos precisam ser enfatizados para explicitar a viabilidade do uso de plantas como fonte de fibras naturais, estando relacionados, em sua maioria, aos estudos de associação com os compósitos utilizados na construção civil. Ademais, o uso poderia ser justificado pela redução de custos, alternativa de uso com ampliação da competitividade e inserção e/ou absorção ampliada da mão-de-obra na cadeia produtiva desses vegetais (MARGEM, 2013).

As fibras naturais podem ser de origem mineral, animal ou vegetal. Dentre estas fibras, a vegetal tem conseguido expandir, de maneira expressiva, suas aplicações nos variados setores industriais, (MORASSI, 1994; SANTOS CRUZ, 2002). De acordo com George et al. (2001), as fibras vegetais, também conhecidas como fibras lignocelulósicas, podem ser provenientes do caule (juta, banana, linho), dos frutos ou sementes (côco, mamona, algodão) e por fim, das folhas (abacaxi, caroá, sisal). Essas fibras são constituídas basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, que são denominados de polímeros naturais (SAHEB, 1999).

A celulose forma o principal constituinte das fibras naturais e contribui para as propriedades mecânicas das fibras. Classificada como polissacarídeo ou carboidrato, a celulose é o componente essencial de todas as plantas. Como polímero natural existente em grande abundância, possui fortes ligações de hidrogênio sendo altamente hidrofílica (AGARWAL E BROUTMAN, 1999). Os feixes de moléculas desse polímero natural se agregam na forma de microfibrilas, onde regiões altamente ordenadas (cristalinas) se alternam com regiões menos ordenadas (amorfas). As microfibrilas compõem fibrilas e estas constituem as fibras celulósicas. Como consequência dessa estrutura fibrosa, a celulose possui alta resistência à tração e insolubilidade na maioria dos solventes (PORTELA, et al 2009).

Segundo Oliveira (2013) as propriedades mecânicas das fibras vegetais dependem do tipo de celulose, e do seu grau de polimerização, pois cada tipo de celulose tem sua geometria própria. Em função do seu maior grau de cristalinidade e seu alto grau de polimerização, este polissacarídeo costuma apresentar maior estabilidade aos efeitos da degradação, seja ela mecânica, química ou térmica, quando comparada aos componentes não celulósicos coformadores das fibras (AGARWAL E BROUTMAN, 1999).

A lignina é um polímero constituído de uma complexa estrutura amorfa, que une as fibras celulósicas, formando a parede celular. Esse componente garante resistência à compressão ao tecido celular e às fibras, enrijecendo a parede celular e protegendo os carboidratos (açúcares) contra danos físicos e químicos. Sua concentração nas fibras influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia e a flexibilidade. Fibras com alto teor de lignina são de excelente qualidade e bastantes flexíveis em relação a outras fibras celulósicas (AGARWAL E BROUTMAN, 1999).

Outro polímero que compõe a fibra lignocelulósica é a hemicelulose que possui uma complexidade estrutural, sendo responsável por propriedades como ausência de cristalinidade, baixa massa molecular e higroscopicidade, todas contribuindo para o intumescimento, mobilidade interna e aumento da flexibilidade das fibras (FANG, et al., 2000). A hemicelulose difere da celulose em três aspectos importantes: contém diferentes unidades de açúcares, apresentam ramificações na cadeia e, por fim, o grau de polimerização da celulose nativa é 10-100 vezes maior que o de hemicelulose. Ao contrário da celulose, os constituintes de hemicelulose diferem de planta para planta (THOMAS, 2011). As células vegetais diferem em suas composições químicas, e em seu ângulo helicoidal das microfibrilas. Este conjunto de parâmetros determina as propriedades mecânicas das fibras (TOMCZAK, 2010).

Fibras vegetais como de sisal, juta, côco, abacaxi, soja e banana, vem sendo estudadas como reforço e enchimento em compósitos (ZHU et al., 2013; ROMANZINI et al., 2013; CAO et al., 2006; LIU et al., 2005; MISHRA et al., 2004; MOHANTY et al., 2000). Dentre as fibras vegetais utilizadas, as de sisal, constitui alternativa de extremo valor, devido principalmente as suas excelentes propriedades mecânicas. A fibra beneficiada é destinada, principalmente, à indústria de cordoaria (confecção de cordas, cordéis, tapetes, capachos e outros), constituindo-se, também, em excelente matéria-prima para a obtenção de celulose e produção de papéis finos (AGOPYAN, 2005).

O sisal (*Agave sisalana* Perr.), é responsável por aproximadamente 70% de toda produção de fibras duras produzidas no mundo. Essas fibras são resultado do processo de desfibramento de suas lâminas foliares (DEBNATH et al., 2010; CERQUEIRA et al., 2012; LIU et al., 2013). Essa planta produz entre 200 a 250 folhas, durante seu ciclo de vida, e cada folha contém entre 1000 a 1200 fios de fibras lignocelulósicas. No interior das folhas de sisal, as fibras, que se encontram embebidas em parênquima e correspondem a apenas 4% do volume das folhas, se apresentam de duas maneiras distintas: fibras em forma de arco e fibras mecânicas (BELTRÃO, 2006; SILVA, et al., 2008). Autores como Medina (1954) e Mwaikambo et al. (2002), estimaram a porcentagem da composição da fibra do sisal, e de acordo com o primeiro autor a fibra é constituída por 65,8% de celulose, 12% de hemicelulose, 9,9% de lignina e 0,8% de pectina. Já para Mwaikambo et al. (2002), os valores encontrados foram: 73% de celulose, 13% de hemicelulose, 11% de lignina e 2% de pectina.

Em relação às melhores áreas para o cultivo do sisal, Amorim Neto e Beltrão (1999), afirmam que os solos ideais para o cultivo desse vegetal, são os sílicos a sílico-argilosos (textura arenosa a média), soltos e profundos. Adaptando-se a solos levemente ácidos ou alcalinos, com pH oscilando entre 5 a 8. De acordo com Ribeiro Filho (1967), deve-se evitar solos de topografia excessivamente acidentados. A esse respeito, Amorim Neto e Beltrão (1999) afirmam ser ideal a topografia de elevações suaves, com declividade máxima de 5%, e exposição Leste-Oeste, correspondente à maior luminosidade.

Geralmente, os problemas verificados na atividade sisaleira são atribuídos apenas a variável preço, atraso tecnológico e às condições climáticas, sendo negligenciada ou mesmo desconsiderando a aptidão agrícola dos solos, a forma de implantação dessa cultura, a seleção das áreas para o plantio, os tratamentos culturais que estão sendo empregados no seu cultivo e beneficiamento; bem como a vulnerabilidade dos ambientes semiáridos, marcados por características naturais complexas e altamente heterogêneas em relação quantidade e distribuição das chuvas, tipos de solos e vegetação (MONTEIRO, 2012). Ademais, os processos de degradação do ambiente e do solo são amplificados por ação antrópica, através do mau uso dos recursos naturais para ocupação e sobrevivência (MELO FILHO e SOUZA, 2006).

As propriedades das fibras vegetais, por sua vez, exibem extensas alterações quando comparadas entre regiões distintas (TOMCZAK, 2010), demonstrando o ineditismo desse trabalho quando são consideradas amostras coletadas em diferentes municípios com suas

particularidades do ponto de vista edáfico e climático, além de variações de manejo dos cultivos. Ademais, as variações entre as condições de ensaios para a caracterização, também, podem exercer influência nas propriedades avaliadas ao longo das fibras. Entende-se, portanto, que obter domínio em relação às características das fibras em função de seus parâmetros estruturais é relevante ao se compreender que as estruturas das fibras exercem forte influência em suas propriedades mecânicas, uma vez que Levy Neto e Pardini (2006) e Gowda et al. (1999) afirmam que as propriedades mecânicas das fibras vegetais são dependentes da idade da planta, tipo de solo, condições climáticas do local, condições de processamentos empregadas, bem como de sua estrutura e composição química e, por fim, pela localização relativa no corpo da planta.

Desta forma, as fibras vegetais são objeto de estudos mostrando sua importância como alternativa de grande relevância tecnológica por serem uma fonte renovável, reciclável, biodegradável e de baixo custo (OLIVEIRA, 2013). Neste universo, as fibras de sisal são materiais que possuem ampla possibilidade de aplicação para o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras vegetais. Destarte, em virtude da necessidade de compreender os aspectos que influenciam a resistência mecânica, como a composição da fibra e aspectos pedológicos das áreas em estudo, o presente trabalho objetivou avaliar as propriedades morfológicas das fibras de sisal através da Difração de Raio-X (DRX), que é análise que consiste em avaliar a caracterização micro estrutural de materiais cristalinos, assim como por meio da análise FTIR - espectroscopia na região do infravermelho (convencionalmente chamada de *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) para obter maiores informações sobre as características internas da fibra e, através da análise da fertilidade dos solos averiguar a partir da composição de minerais, entre outros parâmetros dos solos (pH, tipos de solos, disponibilidade de matéria orgânica), das áreas avaliadas, possíveis variações nas características das fibras de sisal *in natura*.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras das fibras de sisal, assim como as do solo, foram provenientes de quatro municípios, localizados na região semiárida do Nordeste baiano. As coletas ocorreram entre os anos de 2013, 2014 e 2016 nos municípios de Morro do Chapéu, localizado entre as coordenadas geográficas Latitude 11° 33' 00" Sul e Longitude 41° 09' 00" Oeste, com altitude média de 1040 m; Nova Fátima, localizado entre as coordenadas geográficas Latitude 11° 36'

00” Sul e Longitude 39° 38’ 00” Oeste, com altitude média de 290 m; São Domingos entre as coordenadas geográficas Latitude 11° 29’ 00” Sul e Longitude 39° 31’ 00” Oeste, com altitude média de 310 m e Jacobina (Lages do Batata) situado entre as coordenadas geográficas Latitude 11° 10’ 00” Sul e Longitude 40° 30’ 00” Oeste, com altitude média de 480 m, ressaltando que em Morro do Chapéu foram realizadas duas coletas, totalizando cinco áreas (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA/CPRM/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2005).

Foram realizadas as análises de difração de raio-x (DRX), seguida da espectroscopia de infravermelho (FTIR). As medidas de difração de raio-X foram realizadas no Laboratório de Durabilidade de Materiais da Universidade Federal da Bahia (UFBA), em um difratômetro *D2 Phaser Bruker*, utilizando-se um tubo alvo de cobre com comprimento de onda λ de 1,54 Å e filtro de níquel ($\text{CuK}\alpha$). As condições de medidas foram: voltagem de 30kVa e corrente de 10mA. As 10 amostras, foram analisadas em forma de pó, aproximadamente 10mg de fibras, sempre diferindo as porções da folha entre ápice e base. Os ensaios foram realizados com a faixa de varredura de 5° a 90° (2θ) e incremento de 10°/segundo. Durante o registro do difratograma, a temperatura foi mantida constante. A determinação das fases cristalinas foi efetuada utilizando-se a biblioteca de padrões de difração disponível no equipamento. As amostras foram avaliadas quanto ao índice de cristalinidade de celulose (I_c). Esse índice é um dos fatores mais importantes para determinação das propriedades mecânicas dos materiais lignocelulósicos.

O índice de cristalinidade foi calculado pelo método da área, onde a cristalinidade é expressa pela razão entre a área total das regiões cristalinas e a área total do material (amorfo e cristalino) x 100 (Equação 1).

$$I_c = \frac{A_{\text{cristalina}}}{A_{\text{Amorfa}}} \times 100$$

Em seguida, foi realizada uma análise qualitativa, de Espectroscopia de Infravermelho por Metodologia em Transformada Fourier (FTIR) que possibilita avaliar a presença e a diferença dos compostos orgânicos (celulose, hemicelulose e lignina) nas fibras naturais. Para o ensaio FTIR, as fibras foram cortadas em comprimento de 2,0 cm, fixadas em uma fita adesiva e, posteriormente, foram identificadas e secas em estufa a 80°C por 24 h.

Posteriormente, as fibras foram analisadas em espectrofotômetro de infravermelho e avaliados os comprimentos de onda entre 500cm^{-1} e 4000cm^{-1} .

Para as análises dos solos, foram coletados 15 amostras simples de cada solo para compor uma amostra composta, com uma profundidade de 0-20cm. O processo foi feito em ziguezague buscando locais mais distantes para uma maior representatividade da área em estudo. As amostras foram encaminhadas para o LAFSMA (laboratório de análise de fertilizantes, solo e monitoramento ambiental), situado em Cruz das Almas/BA, onde foram realizadas análises químicas laboratoriais com o intuito de estimar o nível de nutrientes no solo e a escala do pH.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os difratogramas de raios-X das fibras de sisal nas condições naturais, maceradas sem tratamentos, estão representados na figura 1. Nota-se que os difratogramas resultantes foram similares para cinco áreas estudadas, assim como para as regiões de ápice e base da fibra. Trabalhos similares realizados por Côrrea (2010) com fibras de curauá e por Tomczak (2010) com fibras de côco exibiram resultados análogos aos obtidos no presente estudo.

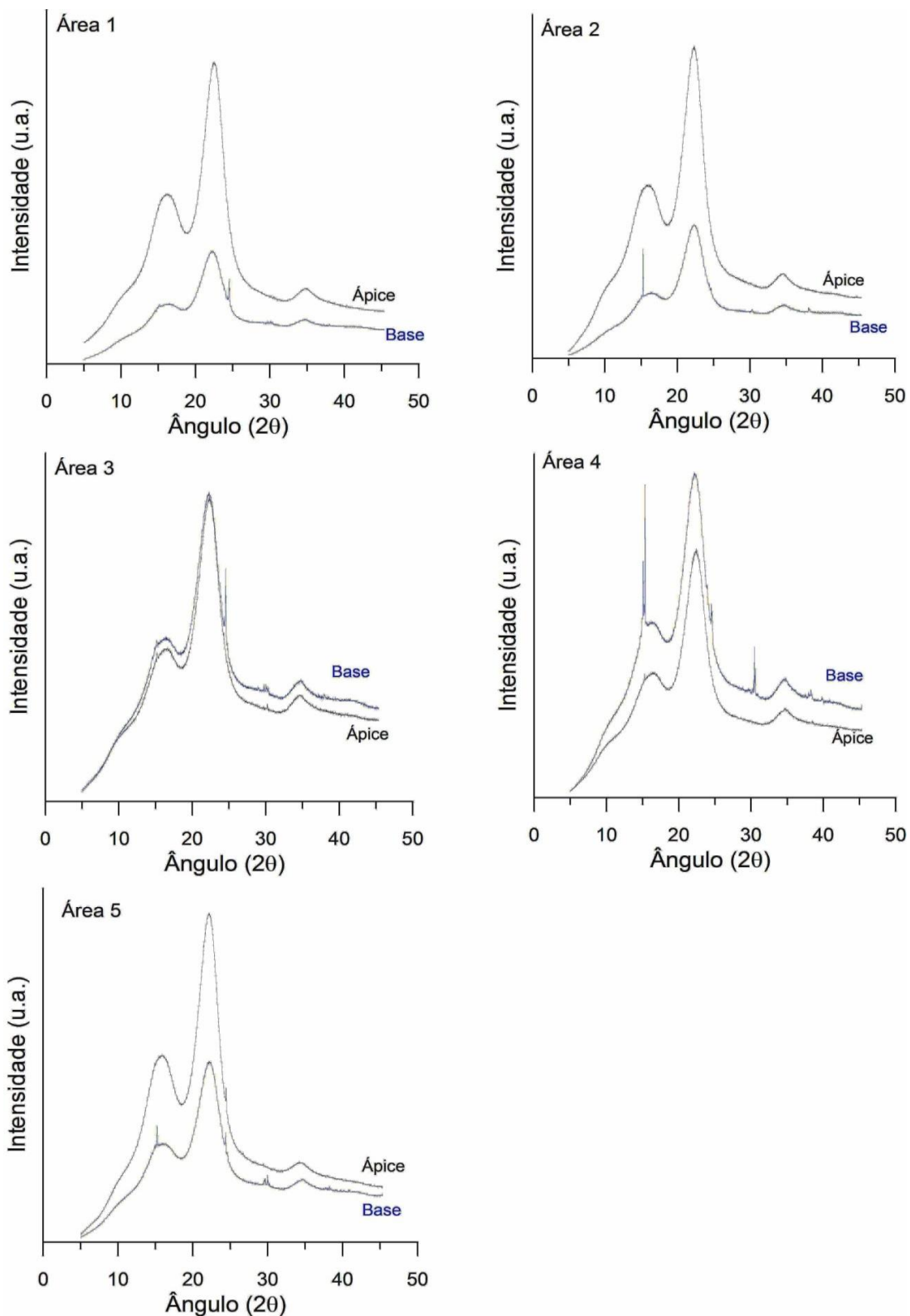


Figura 1: Difractogramas de Raios X em fibras de sisal, provenientes de cinco áreas distintas. As fibras foram analisadas diferenciando suas porções de ápice e base. Feira de Santana-BA, 2017.

Analisando os difratogramas da região do ápice das folhas, nas cinco áreas avaliadas representadas na figura 1, observa-se a presença de dois picos com valores diferentes, observando, portanto que um apresenta maior intensidade que o outro. Para todas as áreas, o pico de menor intensidade encontra-se entre $2\theta = 15^\circ$ a 20° , e o pico de maior intensidade com 2θ variando de $22,18^\circ$, para a área 3 a $22,5^\circ$ para a área 1. Pode-se perceber, também, que os picos de ápices e bases, assim como os das áreas, encontram-se muito semelhantes. O maior intervalo da variação dos picos entre ápice e base é demonstrado no difratograma da área 1, onde 2θ está variando entre $22,5^\circ$ para o ápice, e $21,87^\circ$ para a base da fibra. De acordo com Spinacé et al. (2011), as fibras que apresentam alto teor de celulose, como as de algodão, são normalmente observados dois picos próximos a 16° . Contudo, para as fibras de sisal, representados acima, foi encontrado apenas um pico de baixa intensidade nessa região, o que é atribuído à presença de material amorfo, como lignina e hemicelulose.

Segundo Tomczak (2010), devido ao caráter cristalino das fibras naturais, a difração de raios-X é uma importante técnica para avaliação da estrutura de materiais lignocelulósicos. Os espectros de raios-X das fibras naturais são muito próximos e, o pico correspondente da α -celulose está presente em $2\theta = 24,7^\circ$. De acordo com Henrique (2014) para o polímero de celulose existem mais de uma forma polimórfica, ou seja, não há uma dimensão única para seu arranjo geométrico (cela unitária). A grande diferença entre as celuloses tipos I e II surge em relação às ligações de hidrogênio intercadeias, haja vista que as moléculas de celulose tipo I possui orientação paralela entre elas, enquanto que a celulose tipo II expressa orientação antiparalela. Ambas as estruturas apresentam ligações de hidrogênio intracadeias, em que estas ligações favorecem a linearidade e a rigidez da cadeia. Por sua vez, Menezes (2007) relata que em análises de DRX picos de 2θ entre 19° , 22° e 23° , refere-se a celulose tipo I, e $2\theta = 13^\circ$, 15° , 18° e 22° para a celulose tipo II, sendo que as regiões $2\theta = 13^\circ$ e 15° representam somente a região amorfa.

O índice de cristalinidade indica a quantidade de celulose que se encontra em estado cristalino, e é um dos fatores que determina as propriedades mecânicas dos materiais lignocelulósicos (TOMCZAK, 2010). Os valores obtidos para o índice de cristalinidade das cinco áreas de sisal estudadas variaram de 46% a 71,8% (Tabela 1). O maior valor obtido foi para a região da base da fibra correspondente a área II, atribuída ao município de Morro do Chapéu. Os resultados corresponderam ao que se esperava, pois estão de acordo com outros

trabalhos que foram realizados e que expressaram variações de 44 a 60% (REDDY; YANG, 2005), 50,2% (TOMCZAK, 2010) e 49-64% (SENA NETO et al., 2013).

Tabela 1: Índice de cristalinidade para as dez amostras de sisal provenientes de cinco áreas do semiárido baiano. Feira de Santana-Ba, 2017.

Amostra	Amorfo (%)	Cristalino (%)
Área 1 – Ápice	54,0	46,0
Área 1 – Base	31,4	68,6
Área 2 – Ápice	44,7	55,3
Área 2 – Base	28,2	71,8
Área 3 – Ápice	33,4	66,6
Área 3 – Base	31,4	68,6
Área 4 – Ápice	32,5	67,5
Área 4 – Base	36,2	63,8
Área 5 – Ápice	51,2	48,8
Área 5 – Base	62,4	37,6

De acordo com Silva et al. (2010), Savastano Jr. (2010), Agopyan (1997) e Gram et al. (1984) a composição química da fibra vegetal é um fator determinante e que pode afetar a variabilidade existente na tração das fibras, e essa variação surge em decorrência dos diferentes valores do teor de celulose, hemicelulose e lignina existente entre as fibras. Após detectar variação quanto ao índice de cristalinidade dos genótipos obtidos dentro e entre áreas de coleta, empregou-se a técnica de espectroscopia na região do infravermelho (FTIR), para avaliar a presença e a diferença dos compostos orgânicos (celulose, hemicelulose e lignina) nas fibras naturais de sisal. Segundo Lopes e Fascio (2004) esta é uma técnica vastamente empregada na caracterização de produtos naturais, uma vez que permite identificar os componentes orgânicos da amostra por meio da análise qualitativa.

Os valores dos espectros de FTIR, das fibras de sisal, podem ser visualizados na Figura 2. As análises do espectro foram baseadas em materiais existentes na literatura, referente às fibras vegetais que possuem composição química semelhante às do sisal. Foram observadas bandas largas na região entre 3500 cm^{-1} – 3000 cm^{-1} , tanto nos espectros da região

do ápice quanto nos da base foliar, que são referentes às ligações de hidrogênio da celulose (SAVASTANO JR. et al., 2000; MERLINI et al., 2012).

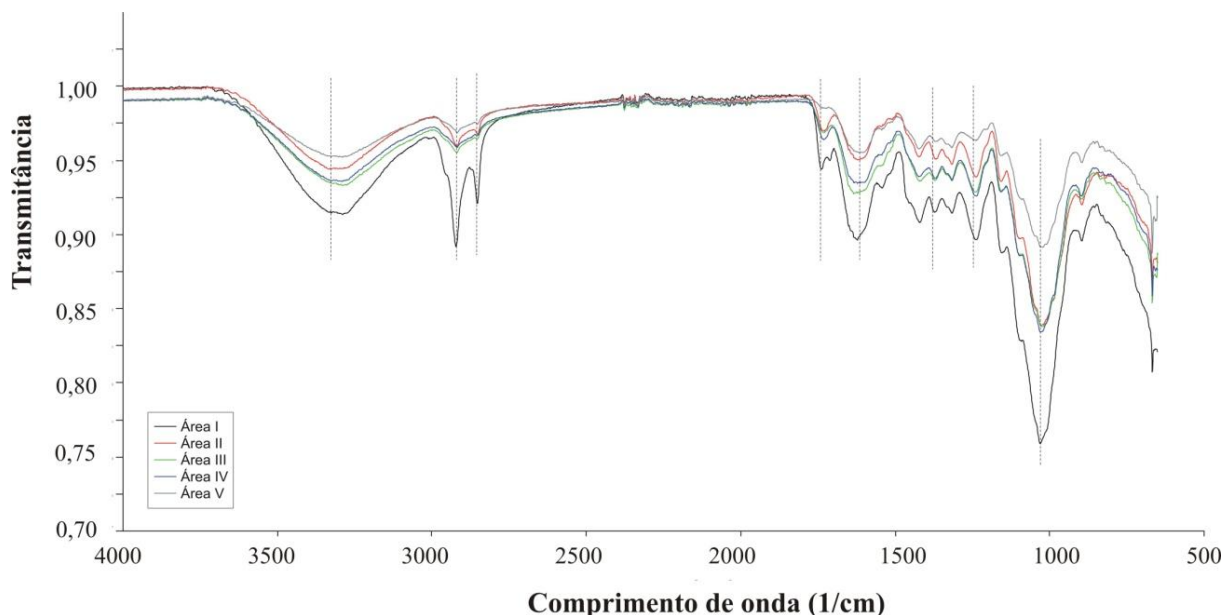


Figura 2. Espectro de infravermelho dos ápices das fibras de sisal, FTIR, provenientes de distintas áreas. Feira de Santana-BA, 2017.

Os picos que se localizam entre 3000 cm^{-1} – 2500 cm^{-1} estiveram presentes em todas as áreas, todavia, a Área I obteve um pico mais acentuado que as demais. Estes picos apontam o estiramento do CH alifático, provenientes dos grupos metila (CH_3) e metileno (CH_2) (GEHLEN, 2014). Autores como Ramírez (2011), Brigida et al. (2010) e Mahalo et al. (2009) destacam que bandas na região de 2000 cm^{-1} – 1500 cm^{-1} são características do estiramento dos grupos carbonílicos ($\text{C} = \text{O}$) presentes na hemicelulose. Bandas encontradas entre 1500 cm^{-1} – 1200 cm^{-1} são características do esqueleto aromático da macromolécula de lignina (GEHLEN, 2014). Por fim, o pico com intensidade máxima entre 1200 cm^{-1} – 1000 cm^{-1} é típico dos grupos funcionais presentes na celulose de fibras lignocelulósicas (LOPES et al., 2010). No entanto, para a avaliação de todos os espectros, observou-se que não houve desaparecimento de qualquer um dos principais picos ao longo das fibras e, também, nas áreas, indicando, assim, que a constituição química das fibras de sisal, potencialmente, não é afetada pela sua posição na folha. Por outro lado, observa-se que existe uma flutuação quanto à intensidade dos picos entre os genótipos de diferentes áreas, indicando que a quantidade dos compostos orgânicos é influenciada pelo local, uma vez que

fatores edafoclimáticos e constituição genética da planta são parâmetros que afetam a quantidade dos compostos químicos das fibras vegetais (GEORPOULOS et al., 2005; LI et al., 2005).

Levando em consideração que distintos fatores influenciam a produção de fibras secas vegetais, e que dentre esses aspectos a fertilidade dos solos e o manejo da cultura podem ser determinantes na qualidade da fibra, alguns autores expressam uma preocupação com a variação dos resultados quando são consideradas diferentes regiões e suas formas de cultivo, tendo em vista que a composição química lignocelulósica interfere na resistência da fibra. Dentro dessa perspectiva, julgou-se primordial o levantamento dos índices de fertilidade dos solos avaliados no presente estudo.

Alguns parâmetros de solos são determinantes na identificação de níveis de fertilidade satisfatórios, bem como são utilizados como referência para recomendação de adubação. Os solos oriundos das cinco áreas apresentaram níveis de fertilidade considerados excelentes, em que pese os produtores da cultura de sisal não utilizar corriqueiramente a prática de adubação dos solos em questão. Ademais, deve-se considerar que os solos de regiões semiáridas apresentam uma fertilidade natural, tendo limitações no que diz respeito à precipitação pluviométrica, o que pode explicar parcialmente os resultados explicitados, conforme tabela 2.

Tabela 2: Resultados da análise de solos das áreas de cultivo de sisal avaliadas. Feira de Santana-BA 2017.

Parâmetros do solo ²	Municípios Baianos ¹				
	Área I	Área II	Área III	Área IV	Área V
M.O%	1,10	1,17	1,23	1,19	1,15
pH	6,39	6,43	6,54	6,37	6,60
P (mg/dm ³)	20	21	39	54	33
K (mg/dm ³)	65	68	80	98	71
Ca+Mg (Cmol _c /dm ³)	10,4	5,3	6,0	9,6	8,4
Ca (Cmol _c /dm ³)	7,3	3,9	5,0	7,8	6,8
Mg (Cmol _c /dm ³)	3,1	1,4	1,0	1,8	1,8
Al (Cmol _c /dm ³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05
H+Al (Cmol _c /dm ³)	0,84	1,10	0,96	1,02	1,24
Na (Cmol _c /dm ³)	0,10	0,11	0,15	0,19	0,13
S	10,66	5,42	6,35	1,04	8,71

CTC	11,5	6,52	7,31	11,04	9,95
V%	92,69	83,12	86,86	94,50	87,53

¹: Área I – Morro do Chapéu; Área II – Morro do Chapéu; Área III – Nova Fátima; Área IV – São Domingos; Área V – Lages do Batata. ²: M.O% - Matéria Orgânica; pH - Potencial Hidrogeniônico; P – Fósforo; K – Potássio; Ca+Mg – Somatório Cálcio + Magnésio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al – Alumínio; H+Al – Somatório Hidrogênio + Alumínio; Na – Sódio; S – Soma de Base; CTC – Capacidade de Troca Catiônica e V% - Porcentagem de Saturação Por Base.

Quando se considera os nutrientes dos solos, os elementos são subdivididos em macro e micronutrientes, sendo a diferença baseada somente na quantidade requerida pela planta e não por sua importância. Os elementos nitrogênio, fósforo e potássio são descritos, na literatura, como os de maior importância e, juntamente com o cálcio, magnésio e enxofre, são considerados os de maior requerimento pela planta. Esses, em sua maioria, são incorporados em quantidades suficientes nos compostos usados para suprir nitrogênio, fósforo e potássio, estando sua importância, também, encoberta pelo fato de raramente serem deficientes. Os nutrientes descritos na tabela 2 estão potencialmente disponíveis, tendo em vista que o pH do solo se apresenta numa faixa considerada ótima (5,5-6,5) para absorção destes nutrientes, resultando em dispensa do uso de calagem. Ademais, os elementos considerados encontram-se em quantidades equilibradas permitindo a disponibilização dos nutrientes para a planta (LIBUY, 2007).

Quanto aos micronutrientes, embora não considerados na análise de solo, são também de extrema importância e podem ser obtidos através da matéria orgânica. O boro é um elemento de grande destaque, pois atua associado ao cálcio na regulação do funcionamento da membrana e parede celular, divisão e aumento de células, sendo a matéria orgânica a principal fonte de boro nos solos em condições tropicais (CARVALHO, 2007). Alguns elementos, embora não atendam aos critérios de essencialidade, são classificados como benéficos para o desenvolvimento de algumas plantas, como Na (sódio), Se (selênio), Si (silício) e cobalto (Co). Para o algodoeiro, há relatos do efeito da atuação do Si no alongamento à ruptura da fibra (MEDEIROS et al., 2005) e aumento da resistência à pragas e doenças (TOMQUELSKI, 2005), embora haja necessidade de maiores estudos.

Dentre os elementos mais relevantes para a fibra, destaca-se o cálcio por ser um componente estrutural da parede celular, haja vista que a resistência da parede é estabelecida por sua composição, com base em teores de celulose, hemicelulose e lignina, presentes na composição da parede primária e secundária das plantas. Entretanto, não se devem considerar os elementos de forma isolada, tendo em vista que o excesso de cálcio resulta em indisponibilidade de fósforo e

magnésio, o de potássio provoca deficiência de magnésio e o de magnésio provoca carência de potássio e cálcio (CARVALHO, 2007).

Alguns autores relatam que o P e K devem ser considerados componentes nutricionais de grande relevância quando se considera a resistência da fibra vegetal, tendo em vista que o fósforo tende a aumentar o comprimento da fibra e o potássio a quantidade de celulose. Incrementos nestes elementos são importantes para imprimir maior resistência à fibra, refletindo em melhorias no comprimento, uniformidade de comprimento e finura desta (AQUINO et al., 2012a; AQUINO et al., 2012b; ROSOLEM e WITACKER, 2007; SANTOS et al., 2012). Salienta-se que, no presente estudo, portanto, os resultados encontrados para os teores de P e K (Tabela 2) de acordo com a classificação de Ribeiro et al., (1999) para as áreas AI e AII foram tidos como médios enquanto que para as áreas AIII, AIV e AV os valores foram classificados como muito bom. Corroborando a priori, que as áreas avaliadas apresentam plantas com laminas foliares satisfatórias para a obtenção de fibras vegetais com potencial para aplicabilidade em estudos mecânicos das fibras. Silva et al. (2010), em pesquisas com algodão, concluiu que níveis suficientes de K na zona das raízes no solo auxiliam no aumento da resistência das fibras.

O teor de matéria orgânica (M.O%) é outro aspecto a ser considerado, principalmente no que tange aos aspectos produtivos, a adubação nitrogenada aumenta o vigor das plantas durante o desenvolvimento vegetativo, culminando em aumento de produtividade e em melhoria no comprimento, resistência e finura das fibras (AZEVEDO et al., 2005; PEREIRA et al., 2012). Os teores de M.O% foram considerados baixos (RIBEIRO et al.; 1999) (Tabela 2), uma vez que, esses resultados IMPLICAM EM POSSÍVEIS VARIAÇÕES edafoclimáticas.

De acordo com Silva et al. (2010), estudos sobre os solos onde se produz vegetais que originam as fibras lignocelulósicas é essencial para a obtenção de fibras com qualidades satisfatórias uma vez que, o nível de resistência final da fibra é alcançado em seu estágio inicial de desenvolvimento; contudo, a intemperização pode acarretar no enfraquecimento da parede celular primária resultando em uma diminuição nos níveis de resistência das fibras.

Como resultado desse levantamento, e através de recomendação sugerida conforme as análises de solo (Tabela 2), as áreas III e IV (Nova Fátima e São Domingos) apresentaram uma menor prescrição, em contrapartida às áreas I, II e V (Morro do Chapéu I e II e Lages do Batata) que apresentaram uma menor fertilidade, em função da necessidade de utilização de valores maiores de certos constituintes, considerando os teores de fósforo e potássio. Para teores de nitrogênio, em que pese à exigência de recomendação, os solos apresentaram igual proporção a ser

utilizada para viabilizar ao atendimento das necessidades da cultura de sisal, não sendo um fator preponderante e definidor das diferenças possivelmente encontradas na fibra.

Um aspecto a ser levantado na cultura do sisal é o tipo de solo utilizado para cultivo, tendo em vista que Latossolos, Argissolos e Neossolos promovem o esgotamento com dois ou três ciclos de sisal, resultando em diminuição da produtividade. Segundo Amorim Neto e Beltrão (1999) o sisal é frequentemente cultivado em Neossolos distróficos, Nitossolos vértico e não-vértico, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, Neossolos Líticos distróficos e eutróficos, Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos e distróficos, Planossolos, Neossolos Regolíticos e suas associações. Entretanto, apenas os Nitossolos e, talvez, os Planossolos têm condições de ser cultivados continuamente sem reposição de nutrientes com pouco efeito sobre os estoques de nutrientes e a produtividade da cultura.

É possível afirmar que a redução da fertilidade, com os anos de cultivo na mesma área, sem reposição de nutrientes pela adubação, seja química e/ou através da utilização do resíduo resultante do desfibramento do sisal, impõe sérias perdas de produtividade e possivelmente da qualidade da fibra colhida. Não obstante, comprovar a qualidade observada nos solos em questão posto que os atributos como S (Soma das Bases), CTC (Capacidade de Troca Catiônica) e %V (Porcentagem de Saturação Por Base) apresentam-se satisfatórios. Nesse ínterim, inclui-se a necessidade de estabelecer associações entre tipo de solo, pH e disponibilidade de certos nutrientes, visto que alguns trabalhos sinalizam para redução da produtividade da cultura quando os atributos do solo encontram-se em desequilíbrio, destacando ensaio realizado na Tanzânia sobre diversos Latossolos com redução da produtividade do sisal de 2,3 t/ha/ano para 1,5 t/ha/ano quando se reduziu o pH de 6,5 para 5,0, o P de 5 mg/dm³ para 3 mg/dm³, saturação de bases (%V) de 79% para 16%, em condições de ausência de Al⁺ para 11 mmol_c/dm³ de Al⁺ (saturação de 18%), respectivamente. Essas informações foram comprovadas por Hartemink (2002), entre as décadas de 70 e 90, resultando em redução no número e tamanho das folhas, com diminuição da proporção de folhas longas de 80% para 40%, refletindo possivelmente na qualidade da fibra, com redução da fertilidade pela não reposição nutricional.

Nesse sentido, atributos como soma de base (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação de bases (%V) apresentam-se adequados para o melhor aproveitamento da cultura. Isso pode ser evidenciado por quantidades adequadas de cátions, como cálcio, magnésio, potássio e sódio que expressam o valor S, a elevada CTC que reflete solos com argilas ativas e eutróficos

(alta fertilidade) e %V também superior, expressos em solos de excelente qualidade. Desse modo, em função das recomendações é provável que as diferenças encontradas entre as áreas estejam vinculadas às maiores necessidades de fósforo e potássio para áreas I, II e V, em virtude de estarem mais próximas e, portanto, apresentarem mais semelhanças edáficas e climáticas, maior índice pluviométrico e, portanto solos mais lixiviados, com possibilidades de maiores perdas de nutrientes e ausência de reposição.

CONCLUSÕES

- As áreas avaliadas, assim como as distintas regiões de ápice e base das fibras em estudo, possuem pequenas diferenças quanto às características micro estruturais.
- As fibras da área II porção de base foliar, de Morro do Chapéu, apresentam características com resistência a tração superior às demais áreas devido ao teor de celulose estimado pelo índice de cristalinidade.
- A região de Lages do Batata (Área V), apresentam fibras com excelentes qualidades e bastante flexibilidade devido ao alto teor de regiões amorfas, o que implica em maior teor de lignina e hemicelulose.
- A constituição química não difere ao longo da fibra.
- Diferentes condições edafoclimáticas não intervêm na constituição química, mas interferem na quantidade dos compostos orgânicos entre os genótipos.
- As áreas I, II e V apresentam menor fertilidade que pode estar atrelado a variações nas condições edafoclimáticas.
- Estudos mais profundos e que correlacionem diretamente a variação mecânica da fibra com manejo da cultura e condições edafoclimáticas devem ser realizados, uma vez que a redução da fertilidade impõe sérias perdas de produtividade, podendo resultar em variações nas fibras lignocelulósicas.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, B.D.; BROUTMAN, L.J. Analysis and Performance of Fiber Composites, Nova York: **John Wiley e Sons**, 2000.
- AGOPYAN, V. *et al.* Elastic properties of three-phase composites: analytical model based on the modified shear-lag model and method of cells. **Composites sci. Technol**, v.65, p.1264-1275, 2005.
- AHMED, Z., M. S. HAQUE, F. AKHTER, and M. BEGUM. Study of the chemical composition of different pipeline varieties of jute fibres. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 6(16): 1463–1467, 2003.
- AMORIM NETO, M. S., BELTRÃO, N. E. de M. **Zoneamento do algodão herbáceo no Nordeste. In: O agronegócio do algodão no Brasil** (BELTRÃO, N.E.M.), Embrapa Comunicação para Transferência, Brasília, pp 211-229, 1999.
- BELTRÃO, N. E. M. A planta. In: ANDRADE, W. (Ed.). **O Sisal do Brasil**. 1. ed. Salvador: SINDIFIBRAS; Brasília: APEX-Brasil, 2006.
- BRIGIDA, A. I. S.; CALADO, V. M. A.; GONCALVES, L. R. B.; COELHO, M. A. Z. Effect of Chemical Treatments on Properties of Green Coconut Fiber. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 4, p. 832-838, 2010.
- CAO, Y. SHILBATA, S. FUKUMOTO, I. Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. **Compos. Part A-Appl. S.** 73(3), 423-429, 2006.
- CERQUEIRA, G. *et al.* Effects of hecogenin and its possible mechanism of action on experimental models of gastric ulcer in mice. **European Journal of pharmacology**, v.683, pag. 260-269, 2012.
- CORRÊA, A. C. **Preparação de nanofibras de celulose a partir de fibras de curauá para desenvolvimento de nanocompósitos poliméricos com EVA**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.
- DEBNATH, M. *et al.* Biotechnological intervention of Agave sisalana: A unique fiber yielding plant with medicinal property. **Journal of Medicinal Plants Research**, v.4, n.3, pag.177-187, 2010.
- FANG, J. M.; SUN, R. C.; TOMKINSON, J.; FOWLER, P. Acetylation of wheat straw hemicellulose B in a new non-aqueous swelling system. **Carbohydrate Polymers**, v.41, p.379-387, 2000.

GEHLEN, L. R. **Efeitos da utilização de fibras lignocelulósicas (açai e curauá) em compósitos com matriz de resina poliéster insaturado**. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2014.

GEORGE, J; BAGHAWAN, S. S.; THOMAS, S. Effects of environment on the properties of low-density polyethylene composites reinforced with pineapple-leaf fibre. **Composites Science and Technology**, v.58, pp. 1471-1485, 2001.

GEORGOPOULOS, S. T.; TARANTILI, P. A.; AVGERINOS, E.; ANDREOPOULOS, A. G.; KOUKIOS, E. G. Thermoplastic polymers reinforced with fibrous agricultural residues. **Polym. Degrad, Stab.**, v. 90, pp.303-312, 2005.

GOWDA, T. M., NAIDU, A. C. B., CHAYA, R. “Some Mechanical properties of Untreated Jute Fabric-Reinforced Polyester Composites”, **Composites Part A - Applied Science and Manufacturing**, 30, 277-248, 1999.

GRAM, H. K., PERSON, H. and SKARENDAHL, A. Swedish Agency for Research Cooperation With Developing Countries . Sweden. **Natural Fibre Concrete**. Report R2. 1984.

HENRIQUE, M. A. **Estudo cinético da composição térmica de nanocristais de celulose de caroço de manga, eucalipto e celofane**. 2014. Dissertação (Mestrado em Química). UFU-Uberlândia/MG. 2014.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. Compósitos Estruturais. **Ciência e Tecnologia**. Ed. Edgard Blücher, 2006.

LI, Y.; MAI, Y. W.; YE, L. - **Composites Sci. Technol.**, 6, p.2037, 2005.

Libuy, Willian Rojo, 2007. CropKit – Manual Especializado sobre Manejo de Nutrição de Plantas – Tabaco. 107 p. (Pág. 53-61).

LIU, L. *et al.* Structural features, antioxidant and immunological activity of a new polysaccharide (SP1) from sisal residue. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.59, pag. 184-191, 2013.

LIU, X. M. Processing and Performaces of Electromagnetic-Shield Effectiveness Functionally Wood-Based Laminated Composites. **Chinese Academy of Forestry**, Beijing, pp.119-121, 2005.

LOPES, F. F. M., ARAÚJO, G.T., NASCIMENTO, J.W.B., GADELHA, T.S., SILVA, V.R. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.7, p.783–788, 2010 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – <http://www.agriambi.com.br> Protocolo 038.09 – 25/03/2009 - Aprovado em 22/02/2010.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para Interpretação de Espectros de Substâncias Orgânicas na Região do Infravermelho. **Quim. Nova**, v. 27, n. 4, p – 670 – 673, 2004.

MAHATO, D. N.; PRASAD, R. N.; MATHUR, B. K. Surface Morphological, Band and Lattice Strutural Studies of Cellulosic Fiber Coir under Mercerization by ESCA, IR 99 and XRD Techniques. **Indian Journal of Pure e Applied Physics**, v. 47, p. 643-647, 2009.

MARGEM, J. I. **Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes-RJ. 2013.

MEDINA, J. C. - “O sisal”, **Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo**, São Paulo 1954.
MELO FILHO, J.F. SOUSA, A.L.V.: O manejo e a conservação do solo no Semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade, **Bahia Agrícola**, 2006.

MENEZES, A, J. **Preparação e caracterização de Sistema Bifásico Monocomponente (SBM) a partir da reação de oxipropilação de fibras celulósicas e amido**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências (Físico-Química)). USP. 2007.

MERLINI, C.; A. L – QURESHI, H. A.; SALMÓRIA, G. V.; BARRA, G. M. O.; PIRES, E. N. Efeito do Tratamento Alcalino de Fibras de Juta no Comportamento Mecânico de Compósitos de Matriz Epóxi. **Polímeros**, v. 22, n. 4, p. 339 – 344, 2012.

MISHRA, S.; MISRA, M.; TRIPATHY, S. S.; NAYAK, S. K. ; MOHANTY, A. K. Potentiality of pineapple leaf fibre as reinforcement in PALF-polyester composite: surface modification and mechanical performance. **Journal of reinforced plastics and composites**, vol. 20, 4, 321-334. 2004.

MOHANTY, A.K., M. MISRA, and L.T. DRZAL, “Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World”. **Journal of Polymers and the Environment**, Vol. 0(1/2), 19-26, 2002.

MONTEIRO, J.F. **Avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo agrícola em ambiente tropical** / Joaquim Francisco Monteiro - Cruz das Almas, BA, 2012.

MORASSI, O.J. Fibras naturais – **Aspectos gerais e aplicações na indústria automobilística**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Águas de São Pedro. Anais. 1994.

MULVANEY, M.J.; WOOD, C.W.; BALKCOM, K.S.; SHANNON, D.A.; KEMBLE, J.M. Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. **Agronomy Journal**, v.102, p.1425-1433, 2010.

MWAIKAMBO, L.Y.; ANSELL, M. P. - J. **Appl. Polym. Sci.**, 84, pag. 2222. 2002.

OLIVEIRA, M. P. **Propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos poliméricos reforçados por fibras de bucha**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio Janeiro, 2013.

PORTELA, T.G.R.; LOPES, F.P.D.; LOIOLA, R.L.; MONTEIRO, S.N.; CARVALHO, E.A. “**Evaluation of the diameter influence on the tensile strength of buriti fibers by the Weibull method**” (in Portuguese), Proceedings of the 64th Annual Meeting of the Brazilian Society for Metallurgy, Materials and Mining, Belo Horizonte, MG, Brazil, July 1-10. 2009.

RAMÍREZ, M. G. L. **Caracterização de Biocompósitos de Amido Termoplástico Reforçados com Fibra de Côco Verde**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2011.

REDDY, N. YANG, Y. Properties and potential applications of natural cellulose fibers from cornhusks. **Green Chemistry**, 7(4), 190-195, 2005.

RIBEIRO FILHO, J. **Cultura do sisal**. Universidade Rural do Estado de Minas Gerais. Viçosa – MG, 1967.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359p, 1999.

ROMANZINI, D. et al. Influence of fiber content on the mechanical and dynamic mechanical properties of glass/ramie polymer composites. **Mater Des**. 47:9-15, 2013.

SAHEB, D.N.; JOG, J. P. Natural fiber polymer composites: a review. **Advances in Polymer Technology**, Vol. 18, No. 4, 351–363. 1999.

SANTOS CRUZ, C. V. M., Tese de Mestrado: —**Emprego do delineamento de experimentos para o desenvolvimento de compósitos polipropileno/fibra de sisal**, Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos / UFSCar , 2002.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; PIMENTEL, L. L. “Viabilidade do Aproveitamento de Resíduos de Fibras Vegetais para Fins de Obtenção de Material de Construção” **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 04, nº01, 2000.

SAVASTANO JÚNIOR; H; AGOPYAN; V; OLIVEIRA, L. “Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios.” v.17, n.1. **Eng. Agrícola**: Jaboticabal, p.113-124, 1997.

SENA NETO, A. R.; ARAUJO, M. A.; SOUZA, F. V.; MATTOSO, L. H.; MARCONCINI, J. M. Characterization and comparative evaluation of termal, 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.

SILVA, A. G. CARDOSO DA, **Biodeterioração Da Fibra De Sisal Em Compósitos À Base De Cimento**, Dissertação – Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2010.

SILVA, O. R. R. F. D. A; et al. Cultivo do Sisal no Nordeste Brasileiro, **Circular Técnica** n. 123, Embrapa, Campina Grande, PB, 2008.

SILVA, O. R. R. F. DA; SOFIATTI, V.; SANTANA, J. C. F. DE;. WANDERLEY, M. J. R.; SANTOS, J. W. DOS. Impacto do beneficiamento sobre o número de neps e quantidade de impurezas da fibra do algodão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.1, p.107–112, 2010.

SOUZA, E. H. **Pré-melhoramento e avaliação de híbridos de abacaxi e banana para fins ornamentais**. 2010. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas, 2010.

SPINACÉ, MÁRCIA A. S.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C.; GROSSI, T. A.; DE PAOLI, M.A. Poliolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal vs. curauá **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 21, núm. 3, pp. 168-174, 2011.

TOMCZAK, F. **Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de côco e curauá do Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná; 2010.

ZHU, J. et al. Electrospun polyimide nanocomposite fibers reinforced with core-shell Fe-FeO nanoparticles. **J Phys Chem C**. 114 (19): 8844-8850. Doi: 10.1021/jp1020033. 2013.