

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FRANCIELLI RODRIGUES RIBEIRO BATISTA

USO POTENCIAL DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO NA DISCRIMINAÇÃO DE
MADEIRA E CARVÃO DE ESPÉCIES DA CAATINGA

CURITIBA
2016

FRANCIELLI RODRIGUES RIBEIRO BATISTA

USO POTENCIAL DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO NA DISCRIMINAÇÃO DE
MADEIRA E CARVÃO DE ESPÉCIES DA CAATINGA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Florestal. Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Coorientadora: Profa. Dra. Mayara Elita Carneiro

CURITIBA
2016

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Batista, Francieli Rodrigues Ribeiro

Uso potencial do infravermelho próximo na discriminação de madeira e carvão de espécies da caatinga / Francieli Rodrigues Ribeiro Batista. – Curitiba, 2016.

88 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Coorientadora: Profa. Dra. Mayara Elita Carneiro

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 01/03/2016.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Identificação. 2. Espectroscopia de infravermelho. 3. Caatinga. 4. Teses. I. Nisgoski, Silvana. II. Carneiro, Mayara Elita. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.


CDD – 634.9

CDU – 634.0.811

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **FRANCIELLI RODRIGUES RIBEIRO BATISTA**, intitulada: "**USO POTENCIAL DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO NA DISCRIMINAÇÃO DE MADEIRA E CARVÃO DE ESPÉCIES DA CAATINGA**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 01 de Março de 2016.


Prof SILVANA NISGOSKI (UFPR)
(Presidente da Banca Examinadora)


Prof ANA MARIA ISABEL GIMENEZ (UNSE)


Prof SIMONE RIBEIRO MORRONE (UFPR)



*Aos meus pais,
Jandira Rodrigues, Francisco A. R. Batista e Ivo Pelin
à todas as pessoas que mesmo de forma indireta, me
deram força para seguir nessa jornada.*

Dedico...

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos por Deus, uma vez que Ele colocou pessoas tão especiais em mais esta etapa da minha vida. Sem elas certamente nada disso seria possível. Obrigada Deus por estar sempre comigo, por tantas vezes me abençoar além do que posso merecer e pela fé que deposita em meu coração.

Aos meus pais Jandira, Francisco e Ivo, meu infinito agradecimento por todo apoio e por serem a base de minha existência. Agradeço pela compreensão ao serem privados em muitos momentos da minha companhia e atenção. Obrigada pelo esforço para que eu pudesse superar cada obstáculo e principalmente, pelo amor incondicional. À vocês, minha família, sou eternamente grata por tudo que sou, que consegui conquistar e pela felicidade que tenho.

Agradeço à minha orientadora, professora Silvana Nisgoski que acreditou em meu potencial quando imaginei não ser capaz de corresponder. Obrigada por sempre ter depositado sua confiança em mim ao longo de todos esses anos de trabalho que iniciaram ainda na graduação. Também à professora Graciela Muniz por todo o apoio e carinho. Vocês são a referência profissional e pessoal para meu crescimento.

À Universidade Federal do Paraná, pela estrutura disponibilizada para realização deste projeto e de seus servidores, os secretários da Pós Graduação em Engenharia Florestal, Reinaldo e David, também a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal por essa oportunidade.

Ao laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira (LANAQM) e todos seus colaboradores.

Ao CNPQ pelo financiamento do projeto e pela formação e contribuição no meu conhecimento científico.

À minha amiga Fernanda por todo incentivo e apoio ao longo desses mais de dez anos de amizade, principalmente nessa fase, seu incentivo e companheirismo me ajudaram imensamente.

À minha madrinha Maria Cristina por todo apoio e preocupação, pelo amor de mãe incondicional e tantas orações.

Felizmente, estou longe de ser uma pessoa sozinha. Quem tem amigos, nunca está só. Não citarei nomes de todos os que me ajudaram nesse percurso pois sabem quem são e sabem de sua importância em minha vida pessoal e acadêmica. Portanto meus amigos, este é meu muito obrigado a vocês.

Ao longo desse período, tive inúmeras conquistas, oportunidades, alegrias, aprendizado e também muitos obstáculos. Mas com certeza, posso afirmar que aproveitei tudo que me foi oportunizado, nada foi em vão. Cada momento, cada tempo dedicado aos estudos e trabalhos, valeram muito a pena.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de mais uma conquista, o meu muito obrigado.

"A Moral não me ajuda. Sou antagônico nato. Sou uma daquelas pessoas que são feitas para exceções, não para regras."

Oscar Wilde

RESUMO

A correta identificação da espécie de madeira é de fundamental importância para sua adequada aplicação tecnológica, controle de comércio ilegal e possíveis fraudes. A técnica da espectroscopia no infravermelho pode ser uma ferramenta adequada para este fim, exigindo estudos mais detalhados e aprofundados. O trabalho teve como objetivo testar o potencial do infravermelho próximo na discriminação da madeira e carvão de seis espécies da Caatinga. Também avaliar o melhor pré-tratamento dos dados e a influência do tipo de material, maciço ou em partículas para diferenciação das espécies. Foram coletadas quatro árvores das espécies Catingueira, Jurema, Marmeleiro, Mufumbo, Pau serrote, Pião, sendo retirados discos a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura do fuste. Foram coletados os espectros do material maciço que posteriormente seguiu para carbonização em forno mufla com temperatura final de 450°C e taxa de aquecimento de 1,1°C/min. O material particulado foi moído em moinho de facas tipo Wiley e classificado, sendo analisadas as partículas que ficaram retidas na peneira de 40 mesh. Foram coletados 20 espectros por espécie para o material maciço, 30 (madeira) e 40(carvão) para o material particulado em espectrofotômetro Tensor 37 da Bruker, operando na faixa do infravermelho próximo (4000-10000cm⁻¹) resolução de 4cm⁻¹ com 64 varreduras. As análises dos espectros foram efetuadas através do software The Unscrambler X versão 10.1. A Análise dos Componentes Principais (PCA) mostra a discriminação da madeira das espécies para o material maciço com segunda derivada; para madeira particulada a análise dos dados originais foi eficiente. Para o carvão existiu uma maior dificuldade na discriminação das espécies, sendo observado apenas uma tendência. Em relação aos métodos de classificação, a SIMCA apresentou bons resultados para a madeira discriminando 95% das amostras particuladas com correção da linha base e 90% das amostras maciças em segunda derivada. Para o carvão não foi eficiente. A aplicação do PCA-LDA discriminou 100% das amostras de madeira com diferentes pré-tratamentos. Para o carvão cerca de 80% das amostras foram discriminadas em material particulado. Este trabalho mostrou que o tipo das amostras e o pré-tratamento utilizado influenciaram na discriminação das espécies da Caatinga, com base nos espectros de infravermelho próximo.

Palavras chave: Infravermelho, Caatinga, Identificação de espécies.

ABSTRACT

The correct identification of wood species is very important for its adequate technological application, control of illegal commerce and possible fraud. Infrared spectroscopy can be an adequate tool for it, being necessary further and detailed study's. This study has the objective of testing the potential of near infrared in discrimination of wood and charcoal of six species from Caatinga. Also evaluate the best pretreatment and influence of material type, solid or particle, for species differentiation. It were collected four trees by species Catingueira, Jurema, Marmeleiro, Mufumbo, Pau serrote, Pião, being obtained four discs at 0, 25, 50, 75 and 100% of height of commercial trunk. Were collected spectra of solid material and it was carbonized in muffle furnace at final temperature of 450°C and heating rate of 1,1°C/min. Particle material was ground in a Willey mill and classified, being analyzed samples retained in 40 mesh sieve. Were collected 20 spectra by species for solid material, 30 (wood) and 40 (charcoal) for particle samples in a spectrophotometer Tensor 37 from Bruker, working in near infrared (4000-10000cm⁻¹), 4cm⁻¹ resolution and 64 scans. The analysis was performed on The Unscrambler X versão 10.1 software. Principal Component Analysis (PCA) showed the distinction of wood species for solid material and second derivative, for particle material analysis of original data was efficient. For charcoal more difficult was observed in species discrimination, being observed only a tendency. In relation of classification methods SIMCA presented adequate results for wood discriminating 95% of particle samples with baseline correction and 90% of solid samples with second derivative. For charcoal this method was not efficient. The application of PCA-LDA resulted in 100% of samples discrimination for wood based on different pretreatments. For charcoal, approximately 80% of samples were discriminated in particle material. This study showed that sample type and pretreatment applied have influence on Caatinga species discrimination, based on near infrared spectra.

Keywords: infrared, Caatinga, species identification.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DAS FLORESTAS DO BIOMA CAATINGA.....	19
FIGURA 2 - TIPOS DE PARÊNQUIMA AXIAL APOTRAQUEAL EM SEÇÃO TRANSVERSAL.....	25
FIGURA - 3 TIPOS DE PARÊNQUIMA AXIAL PARATRAQUEAL EM SEÇÃO TRANSVERSAL.....	25
FIGURA - 4 TIPOS DE PARÊNQUIMA AXIAL EM FAIXAS EM SEÇÃO TRANSVERSAL.....	26
FIGURA - 5 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	30
FIGURA 6 - TIPOS DE VIBRAÇÕES MOLECULARES, ONDE + = VIBRAÇÃO PARA FORA DO PLANO; - = VIBRAÇÃO PARA DENTRO DO PLANO.....	33
FIGURA 7 - ESQUEMA DE UM ESPECTROFOTÔMETRO.....	34
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DA MATRIZ DE DADOS DECOMPOSTA EM MATRIZ DE SCORES E LOADINGS.....	39
FIGURA 9 - ETAPAS ENVOLVIDAS NA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	40
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ANÁLISE DISCRIMINANTE LINEAR.....	44
FIGURA 11 - ESQUEMA COLETAS DOS DISCOS PARA AMOSTRAGEM.....	47
FIGURA 12 - REGIME DE CARBONIZAÇÃO ADOTADO.....	48
FIGURA 13 - ESPECTROS DA MADEIRA MACIÇA.....	50
FIGURA 14 - ESPECTROS DAS AMOSTRAS PARTICULADAS.....	51

FIGURA 15 - ESPECTROS COM CORREÇÃO DA LINHA BASE – MADEIRA MACIÇA	52
FIGURA 16 - ESPECTROS COM CORREÇÃO DA LINHA BASE – MADEIRA EM PÓ	52
FIGURA 17 - ESPECTRO COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA - MADEIRA MACIÇA	54
FIGURA 18 - ESPECTRO COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA - MADEIRA PARTICULADA	54
FIGURA 19 - PCA DADOS ORIGINAIS	56
FIGURA 20 - PCA CORREÇÃO DA LINHA BASE.....	56
FIGURA 21 - PCA SEGUNDA DERIVADA	57
FIGURA 22 - ESPECTROS DO CARVÃO MACIÇO.....	60
FIGURA 23 - ESPECTROS DO CARVÃO PARTICULADO.....	60
FIGURA 24 - ESPECTRO COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA – CARVÃO MACIÇO.....	61
FIGURA 25 - ESPECTRO COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA – CARVÃO PARTICULADO.....	61
FIGURA 26 - APROXIMAÇÃO (BANDAS EM SEGUNDA DERIVADA (7400-6900) cm^{-1})	62
FIGURA 27 - APROXIMAÇÃO (BANDAS EM SEGUNDA DERIVADA (4400 -4000) cm^{-1})	62
FIGURA 28 - PCA DADOS ORIGINAIS	63
Figura 29 - PCA COM CORREÇÃO DA LINHA BASE.....	63
FIGURA 30 - PCA COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA.....	64

FIGURA 31 - ESPECTROS MÉDIOS DA MADEIRA E CARVÃO MACIÇO EM SEGUNDA DERIVADA	68
FIGURA 32 - ESPECTROS MÉDIOS DA MADEIRA E CARVÃO EM PÓ EM SEGUNDA DERIVADA	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 BIOMA DA CAATINGA	18
3.2 IMPORTÂNCIA DA IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS	20
3.3 MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS	22
3.3.1 Anatomia e morfologia vegetal	22
3.3.2 DNA.....	27
3.3.3 A técnica de espectroscopia no infravermelho	30
3.3.3.1 Espectrofotômetro por transformada de Fourier.....	33
3.4 ANÁLISE DOS DADOS ESPECTRAIS	36
3.4.1 Método de análise de componentes principais.....	38
3.4.2 Classificação SIMCA.....	41
3.4.3 Análise Discriminante Linear (LDA).....	43
4 MATERIAL E MÉTODOS	45
4.1 MATERIAL	45
4.2 MÉTODOS.....	47
4.2.1 Carbonização.....	47
4.2.2 Infravermelho Próximo.....	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 INFRAVERMELHO MADEIRA.....	50
5.2 INFRAVERMELHO CARVÃO	59

5.3 COMPARAÇÃO ESPECTRAL ENTRE MADEIRA E CARVÃO	65
5.4 CLASSIFICAÇÃO SIMCA E PCA-LDA.....	70
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Ainda em forma de toras, as espécies florestais chegam às empresas comercializadas através de denominações comuns ao local de origem, muitas vezes existindo várias espécies com a mesma nomenclatura. Cada material apresenta características individuais, embora o nome popular seja o mesmo ou semelhante, as propriedades podem ser totalmente diferentes, ocasionando problemas no momento da utilização.

O conhecimento do nome correto, baseado em características anatômicas, botânicas, químicas e propriedades em geral, permite prever quais os melhores usos, evitando gastos desnecessários e problemas futuros. Outros fatores de extrema importância que exigem uma correta identificação é a comercialização ilegal de espécies ameaçadas de extinção e proibidas ao corte ou a venda de uma espécie de baixo valor comercial em substituição à outra já consagrada comercialmente. Em virtude de que a exploração florestal vem ocorrendo de forma irracional, na maioria dos casos, sem atender qualquer regime de manejo, a carbonização da madeira torna-se muitas vezes meio de burlar a fiscalização, ou até mesmo por falta de conhecimento técnico, madeiras nativas são confundidas com espécies de reflorestamento.

A utilização da madeira para fins energéticos tem sido responsável por cerca de 50% do total de madeira consumida anualmente no mundo (MOREIRA, 2011). Historicamente, a madeira proveniente de florestas nativas era a principal matéria prima carbonizada, hoje a combinação da legislação ambiental e aumento na fiscalização tem contribuído para o aumento do uso de florestas plantadas, para a produção de carvão com finalidade industrial. Por outro lado, em pequenas

comunidades, quando espécies comumente utilizadas ficam escassas, inicia-se o uso de qualquer material combustível disponível, sem considerar a sustentabilidade, fatores ecológicos ou efeitos ambientais (YAZDANI et al., 2012).

Para identificação de madeiras, a metodologia mais utilizada baseia-se na descrição de sua estrutura anatômica e propriedades organolépticas, porém para muitos grupos de espécies, somente são obtidas informações a nível de gênero, em alguns casos a identificação permite afirmar a família botânica à qual uma amostra provém e nada mais. O processo de identificação científica de uma espécie é complexo, dificultado ainda mais nos biomas brasileiros devido à enorme diversidade de espécies e envolve diversas etapas, sendo muitas vezes demorado (CORE *et al.*, 1979; GASSON, 2011).

A anatomia da madeira mostra-se como método satisfatório para a identificação das espécies lenhosas outrora empregadas, porém é crescente a busca por novos recursos, mais rápidos e eficazes.

A espectroscopia se apresenta como uma técnica rápida e eficiente em diversos campos de aplicação, tipicamente utilizada na medição quantitativa de grupos funcionais orgânicos. O espectro gerado pode ser empregado para estimar concentração de uma dada substância ou uma propriedade física quando esta for, de qualquer maneira, reflexo de mudanças significativas na intensidade e/ou comprimento de onda dos espectros produzidos pela amostra, isto é, o espectro pode ser utilizado para identificar espécies moleculares em complexas misturas químicas, como a madeira, e avaliar as proporções de diversos constituintes além de suas interações (KAWANO, 2003).

O presente estudo aborda seis espécies do Bioma Caatinga, com o intuito de discriminar, através da técnica de espectroscopia no infravermelho próximo, a

madeira e o carvão vegetal das amostras pertencentes ao único bioma exclusivamente brasileiro. As espécies estudadas foram:

Combretum leprosum Mart. – Combretaceae R. Br. É uma espécie melífera encontrada nos estados do norte e nordeste brasileiros e também no Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Conhecida popularmente pelos nomes de Mofumbo, Mufumbo, Cipoaba, Pente-de-macaco e Carne-de-vaca. Árvore pequena de 2 a 4 metros. Madeira utilizada para caixotaria, miolo de painéis compensados, lenha e carvão e também como planta medicinal com função cicatrizante, na prevenção de irritações cutâneas, limpeza de feridas, na contenção de hemorragias, como sedativo, antitussígeno e expectorante (VELLOSO et al., 2002; PIETROVSKI et al., 2006; AGRA et al., 2007; CHAVES et al., 2007; MAIA-SILVA et al., 2012; MAIA, 2012).

Croton argyrophyloides Müll. Arg. – Euphorbiaceae Juss. É um arbusto também conhecido como Marmeleiro. Trata-se de uma espécie que além do uso da madeira é muito utilizada para fins medicinais (FARIAS, 2006).

Jatropha mutabilis Benth. – Euphorbiaceae Juss. É uma espécie endêmica da Caatinga, pertencente à subfamília Crotonoideae, encontrada desde o Piauí até a Bahia. O gênero *Jatropha* é formado por 175 espécies tropicais e subtropicais (SANTOS et al, 2005).

Luetzelburgia auriculata (Allemão) Ducke – Fabaceae Lindl. Espécie do nordeste brasileiro, pertencente a subfamília Faboideae, conhecida popularmente de Pau- mocó, Pau de mocó, Pau de chapada ou Pau serrote. Árvore geralmente de 3 a 7 m de altura na Caatinga, em outros ambientes alcança 22 metros de altura, sendo utilizada para acabamentos internos na construção civil, e para geração de energia (LIMA, 2011; NOGUEIRA et al., 2012; MAIA, 2012).

Mimosa tenuiflora (Willd.) Poir. – Fabaceae Lindl. Espécie das regiões semiáridas do Brasil, pertencente à subfamília Mimosoideae. Conhecida popularmente como Jurema ou Jurema-Preta. É uma árvore com altura entre 2,5 e 10 metros, com tronco de até 30 cm de diâmetro, de madeira muito pesada, com boa resistência mecânica e grande durabilidade, dentre suas formas de utilização destaca-se o uso para mourões, lenha e carvão. A espécie é pertencente às plantas tóxicas, na literatura encontram-se relatos de que ingestão de Jurema durante a gestação em bovinos, caprinos e ovinos, provocam defeitos congênitos (RIET-CORRÊA et al., 2006; PEREIRA, 2010; LIMA, 2011).

Poincianella bracteosa (Tul.) L. P. Queiroz. – Fabaceae Lindl. É uma espécie que ocorre nos mais variados ambientes como caatinga, cerrados, florestas estacionais e dunas litorâneas, cujo crescimento é rápido, sendo assim útil para recuperação de áreas degradadas. Denominada como Catingueira, Pau-de-porco e Pau-de-rato devido ao odor das folhas. A espécie é utilizada de diversas formas, uso energético como lenha e carvão bem como em edificações rurais, inclusive apresenta grande potencial para paisagismo. A árvore chega à 12 metros de altura (QUEIROZ, 2009; FERRAZ et al., 2012)

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de uso da espectroscopia de infravermelho próximo na discriminação da madeira e carvão de espécies da Caatinga.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter espectros por infravermelho próximo da madeira e carvão de seis espécies da Caatinga;
- Testar o melhor pré- tratamento para os espectros com a finalidade de diferenciação das espécies;
- Comparar a influência do tipo de material, maciço e pó, na discriminação das espécies.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BIOMA DA CAATINGA

A exploração predatória de madeira nativa aumenta gradativamente no mundo, deixando evidente a necessidade de medidas para implementação de programas visando à conservação e ao manejo sustentável dessas espécies. Estima-se que mais de 200.000 km² de matas naturais da caatinga nordestina foram substituídas por culturas agrícolas e/ou pastagens e a madeira das espécies nativas utilizadas como carvão para uso doméstico e industrial (SILVA et al.,2009).

A Caatinga se destaca por ser o único bioma exclusivamente brasileiro. No entanto, cientificamente, é o menos conhecido e vem sendo tratado sem prioridade, não obstante ser um dos biomas mais ameaçados devido ao uso inadequado e insustentável dos seus solos e recursos naturais (TABARELLI e SILVA, 2004).

Caatinga é uma palavra originária do tupi. *Caa*, significa mata e *tinga* equivale à branca. O nome de Caatinga foi adotado pelos índios da região e o significado se relaciona à aparência da vegetação nos períodos mais secos do ano. Este bioma se caracteriza pelo seu aspecto esbranquiçado, seco e espinhoso (PRADO, 2003).

No Brasil, mais particularmente na parte localizada no Nordeste, foram constados diversos tipos de vegetação, na qual se destaca a Caatinga (RODAL et al., 2008). O bioma Caatinga (FIGURA 1) engloba parte dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais, com uma área pouco menor que 1.000.000 km² (LIMA, 2011).

A Caatinga é uma floresta tropical seca, as temperaturas são altas e pouco variáveis, a diferença média é de poucos graus entre os meses mais frios e quentes (SAMPAIO, 2010). A região é caracterizada como semiárida em função das

particularidades climáticas, forte insolação, temperaturas altas e sazonalidade hídrica, que pode durar de seis a oito meses em anos normais, e secas extraordinárias que podem chegar até dois anos sem chuvas significativas (PENNINGTON et al., 2009). A maior parte das essências exóticas testadas na região tem demonstrado sucesso relativo em termos de sobrevivência e crescimento em anos normais; porém, não tem resistido às secas extraordinárias (RIEGELHAUPT e PAREYN, 2010).

Mapa das florestas do Bioma Caatinga



FIGURA 1 - MAPA DAS FLORESTAS DO BIOMA CAATINGA
 FONTE: (MMA, 2009).

As plantas existentes se adaptam nos longos períodos de seca, onde suas raízes e caules armazenam nutrientes e água para sobrevivência. Apesar do clima quente, a Caatinga contém variedades de plantas e animais, geralmente típicos somente daquela região (EMBRAPA, 2007).

Sobre a amplitude vegetal, a Caatinga tem identificadas 932 espécies, sendo 318 endêmicas, que só ocorrem no bioma. Existem 12 tipos de vegetações na Caatinga, que vão das mais abertas, como as Caatingas arbustivas e arbustivo-arbóreas, até as mais florestais, como as florestas estacionais (SEYFFARTH, 2012).

As famílias Fabaceae (ex Leguminosae) com os gêneros *Acacia*, *Caesalpinia*, *Mimosa*, *Senna*; *Apocynaceae*; *Cactaceae* e *Euphorbiaceae*, com grande diversidade dos gêneros *Croton*, *Cnidoscolus* e *Jatropha*, são as mais frequentes da região (DRUMOND et al., 2000; ANDRADE et al., 2005 e QUEIROZ, 2006 apud FRANÇA, 2015).

Para Schistek (2012), a Caatinga ocupa 11% do território nacional e mereceria, sem dúvidas, um enfoque apropriado e políticas públicas feitas exclusivamente para a área que engloba, a qual equivale às superfícies da Alemanha e França juntas. O desmatamento fica em torno de 46% daquele bioma (SEYFFARTH, 2012). O grande fato é que no Nordeste o setor florestal gera cerca de 170 mil empregos diretos e 500 mil indiretos e a lenha obtida da Caatinga tende a representar uma considerável fonte de renda e emprego, particularmente para os pequenos produtores. A exploração desses recursos se dá de três maneiras: o desmatamento legal, que prevê o uso alternativo do solo para abertura de áreas para agropecuária, o manejo florestal autorizado pelos órgãos competentes e inclusive o desmatamento ilegal (GOMES et al., 2013).

3.2 IMPORTÂNCIA DA IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS

A correta identificação científica das espécies florestais é de extrema importância, pois o uso do nome vernacular omite a verdadeira ocorrência geográfica das espécies. Uma espécie chega a ter até dez nomes vernaculares e existe ainda a

relação de diversos nomes para um mesmo táxon (SILVA, 2002). O livro do Laboratório de Produtos Florestais lançado pelo IBAMA, demonstra, bem expresso, a dificuldade de relacionar nome científico a um único nome vernacular, visto que não há uma padronização que associe um nome popular a um nome científico, havendo duas ou mais espécies conhecidas por um único nome científico, ou uma única espécie conhecida por mais de um nome popular (CAMARGOS et al., 1996).

Cada uma das espécies, inclusive as de mesmo gênero apresentam características individuais, e embora apresentem nomes semelhantes, suas propriedades podem ser totalmente distintas. Portanto o conhecimento científico, anatômico, botânico e propriedades em geral permite avaliar e destinar quais os usos apropriados para cada espécie, evitando gastos desnecessários e problemas futuros (NISGOSKI, 1999).

A semelhança macroscópica para olhos não treinados gera confusão e exploração desordenada e não sustentáveis das espécies. A correta identificação é necessária para minimizar prejuízos econômicos e colaborar para o controle da manutenção da biodiversidade (KANASHIRO, 2002). Pesquisadores demonstram claramente em seus estudos os diferentes comportamentos para cada espécie madeireira, mesmo que aparentemente semelhantes, diferem-se em características peculiares, propriedades físicas, mecânicas e químicas, as quais definem não somente seu uso final como também o processo de beneficiamento (VASCONCELOS et al., 1993; NÉRI et. al., 1999).

A denominação comum do “tauari” serve claramente como exemplo da problemática das múltiplas espécies conhecidas por um único nome, dentre elas *Couratari guianensis* Aublet, *C. oblongifolia* Ducke & Knuth, *C. pulchra* Sandwith e

Cariniana micrantha Ducke citadas na publicação Padronização da Nomenclatura Brasileira da Madeiras Tropicais Amazônicas (IBAMA, 1991).

Baseada em características externas como cor e design, com a denominação de “angelim” são comercializadas muitas espécies dos gêneros *Andira*, *Dinizia*, *Hymenolobium* e *Vatairea*, distintas anatomicamente e principalmente nas propriedades físicas e mecânicas (FERREIRA et al., 2004). Apresentados por Soares et al. (2014), duas espécies do gênero *Bowdichia* e quatro pertencentes ao gênero *Diploptropis* são relacionadas ao nome “sucupira”.

Outro fato que evidencia a importância da correta identificação das espécies é o corte ilegal de madeiras nativas presentes na Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014). Ressalta-se o caso da imbuia (*Ocotea porosa*) juntamente com o sassafrás (*Ocotea odorifera*) e a canela preta (*Ocotea catharinensis*) (MMA, 2014).

3.3 MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS

3.3.1 Anatomia e morfologia vegetal

A anatomia da madeira engloba o estudo das células que integram o xilema secundário, comumente chamado de lenho, sua organização, funções e particularidades estruturais (ZENID, 2008). A estrutura anatômica da madeira é de fundamental importância no que tange à sua qualificação para atender a grande variedade de usos, evitando-se emprego inadequado e desperdício (PAULA, 2003).

O uso dos caracteres anatômicos macro e microscópicos do lenho para a identificação de espécies e estabelecimento de relações entre elas ou grupos taxonômicos superiores é assunto da Anatomia Sistemática, e se baseia na diversidade estrutural das madeiras. Características como a cor, o peso, o tipo de grã

e a figura (características organolépticas), também se apresentam importantes para descrição das espécies (MARCHIORI, 1990). Fundamentados nestes aspectos, são elaboradas chaves dicotômicas, manuais e atlas fotográficos (CURY, 2001).

Na descrição anatômica macroscópica são observadas características que requerem pouco ou nenhum aumento, como os anéis de crescimento, tipo de parênquima, poros e raios, comumente observados a olho nu ou com lupa 10 vezes de aumento (ZENID, 1997). As propriedades organolépticas que abrangem cor, cheiro, gosto, brilho, grã e texturas também são utilizadas na descrição macro (LOPES, 2013).

A descrição microscópica é mais precisa, porém, requer lâminas de alta qualidade da parte analisada, o grande desafio é a realização do corte de partes das plantas que possuem tanto tecidos rígidos quanto tecidos flexíveis (BARBOSA et al., 2010). Análises utilizando técnicas de aumento possibilitam a obtenção de uma gama maior de informações como composição dos raios, presença ou ausência de células oleíferas, tipos de placa de perfuração, fibras septadas entre outras características (NISGOSKI et al., 2003).

De acordo com IPT (2007), Nisgoski (1999) e Cury (2001) as principais características observadas na descrição anatômica são:

Vasos: Tubos de pequeno diâmetro (20 μm a 500 μm), responsáveis pela ascensão da seiva das árvores. Identificados no plano de corte transversal, aos quais aparecem na forma de orifícios de formato circular a elíptico. A característica distintiva refere-se ao diâmetro dos vasos, a visibilidade sem equipamento de aumento, diâmetro tangencial, frequência em que são encontrados, porosidade, arranjo, agrupamento e possíveis obstruções por outras substâncias como, por exemplo, tiloses.

Parênquima axial (FIGURAS 2-4): Relacionado às funções de armazenamento de reservas e do metabolismo geral das plantas, formado geralmente por células cilíndricas ou prismáticas orientadas paralelamente ao maior eixo da árvore. Observado em corte transversal macroscopicamente, o parênquima axial quando presente é característica essencial na identificação de madeiras, possibilitando sozinho assegurar muitas vezes a que família botânica a espécie pertence, devido às configurações distintas assumidas, classificados através do desenho formado. O arranjo é observado em seção transversal, em que se distinguem dois tipos básicos de distribuição: parênquima paratraqueal, associado aos vasos; parênquima apotraqueal, não associado aos vasos (BURGER e RICHTER, 1991).

Quando o parênquima é dito indistinto, somente é perceptível com auxílio de microscópio, podendo estar ausente ou não na madeira. Se distintos sob lentes, o parênquima axial pode ser classificado conforme seu posicionamento em relação aos vasos e sua organização. Em muitos casos, existem mais de um tipo de parênquima em uma mesma espécie.

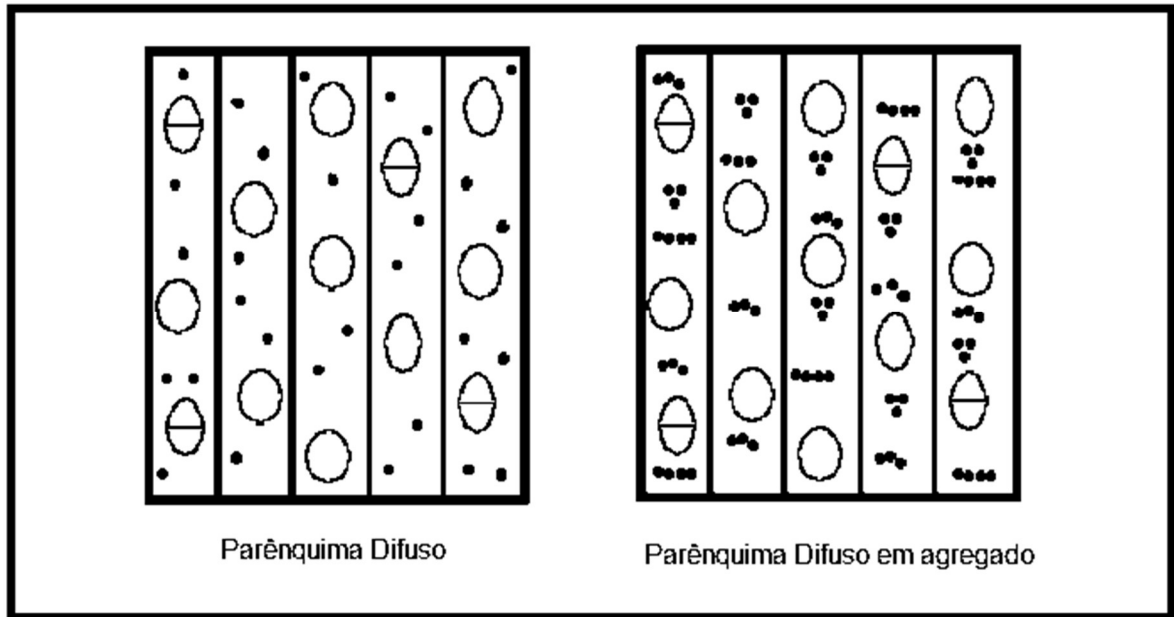


FIGURA 2 - TIPOS DE PARÊNQUIMA AXIAL APOTRAQUEAL EM SEÇÃO TRANSVERSAL
 FONTE: (IPT, 2007).

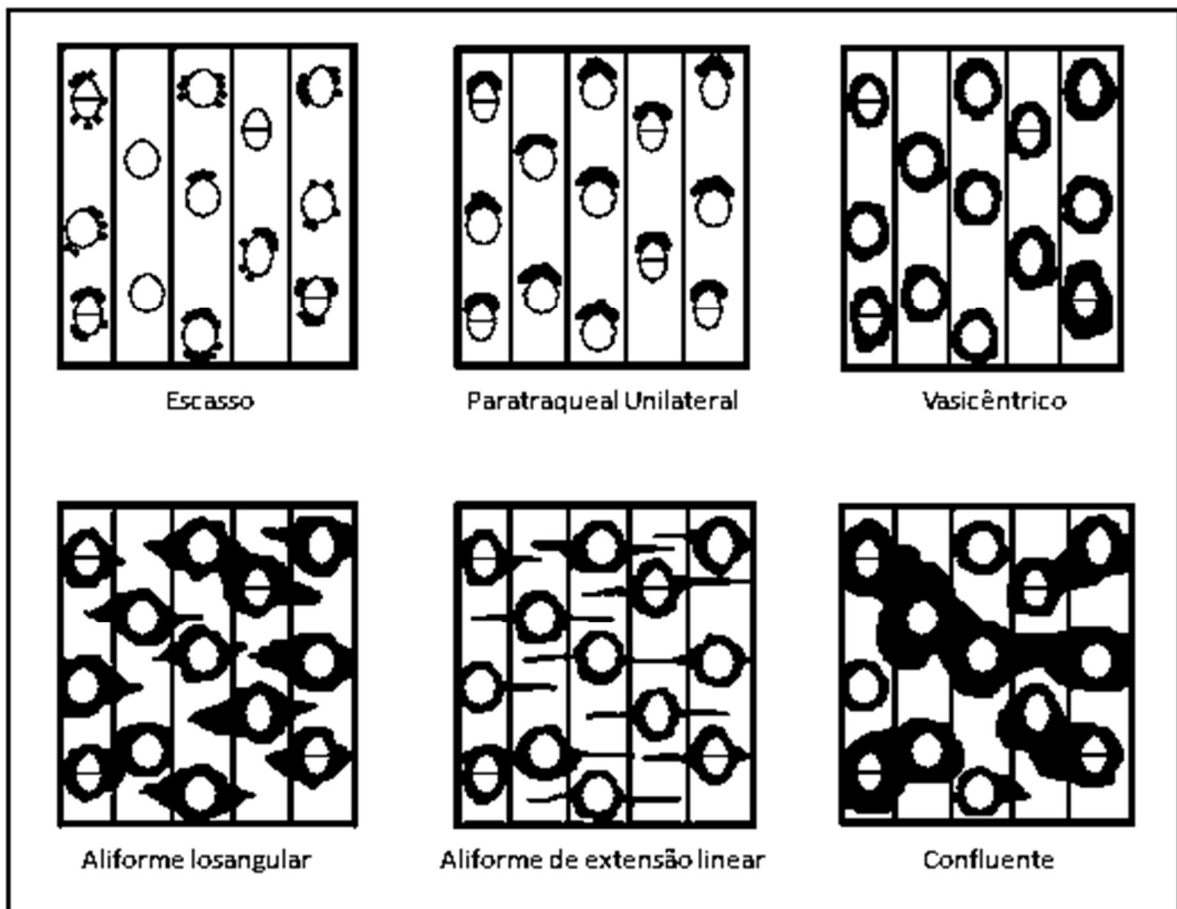


FIGURA - 3 TIPOS DE PARÊNQUIMA AXIAL PARATRAQUEAL EM SEÇÃO TRANSVERSAL
 FONTE: (IPT, 2007).

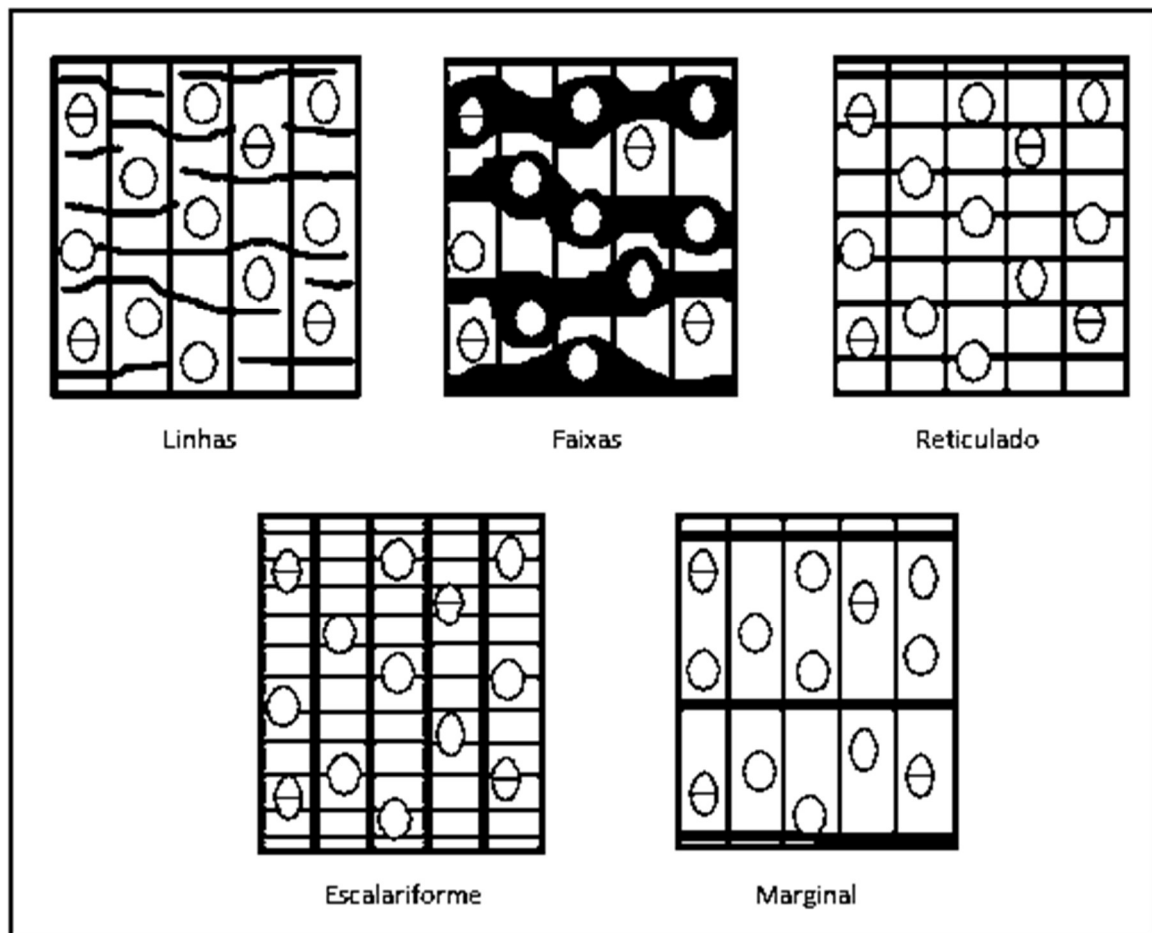


FIGURA - 4 TIPOS DE PARÊNQUIMA AXIAL EM FAIXAS EM SEÇÃO TRANSVERSAL
 FONTE: (IPT, 2007).

Fibras: São tecidos de sustentação, constituem geralmente a maior parte do lenho das folhosas. Não possuem valor para a identificação macroscópica, porém na microscopia, a presença de septos e pontuações tem grande valor na identificação.

Raios: Atividade semelhante à do parênquima axial na condução de seiva entre madeira e casca, são feixes de células dispostos horizontalmente do centro para a periferia da árvore. Na identificação macroscópica, os raios são observados nas seções transversal e tangencial.

Também na identificação de alguma espécie são encontrados caracteres especiais peculiares à algumas famílias como: Canais Intercelulares, que contém substâncias diversas como resinas, gomas, bálsamos, taninos, látex, etc.; Células

Oleíferas, Mucilaginosas são células parenquimáticas especializadas que contém óleo, mucilagem ou resinas, facilmente distinguíveis das demais por suas grandes dimensões; Floema Incluso, característica à qual o câmbio forma esporadicamente células de floema para o interior do tronco; Estruturas Estratificadas, fenômeno evidenciado no plano tangencial em que os elementos axiais podem estar organizados formando faixas regulares ou estratos.

3.3.2 DNA

A molécula de DNA (*ácido desoxirribonucleico*) consiste em duas longas cadeias de poli nucleotídeos unidas por pontes de hidrogênio. Os nucleotídeos são compostos por um açúcar de cinco carbonos, uma pentose, denominado desoxirribose, uma base nitrogenada e um até três grupos fosfatado (PO_4^-). As bases nitrogenadas podem ser purina, adenina (A) e guanina (G) ou pirimidinas, citosina (C), timina (T), pertencentes ao código genético, ou caracteres hereditários, de modo que todos os seres vivos assemelham-se aos seus ancestrais, específico para cada organismo (BONACCORSO, 2005). O DNA pode ser utilizado para a discriminação de madeiras, embora com mais dificuldades, uma vez que as células analisadas estão mortas, ou seja, a quantidade de informações coletadas é reduzida e pode sofrer interferência no momento do sequenciamento por organismos xilófagos, como por exemplo, fungos.

Os principais estudos visando identificação genética de madeiras utilizando o DNA visam à construção de impressões digitais genéticas (*DNA-fingerprinting*) e código de barras de DNA (*DNA barcode*), que consiste em um sistema único e universal com o objetivo de identificar todos os organismos em nível específico,

utilizando-se sequências de regiões específicas do DNA (NYBOM *et al.*, 2014, HEBERT *et al.*, 2003).

A técnica consiste na abordagem genômica para diagnosticar o táxon, em termos reais análise da sequência do DNA, em forma de código de barras que estão contidos em todas as células. De acordo com Azeredo (2005) o Código Universal de Produtos (código de barra universal dos produtos), utilizado para identificar produtos do mercado varejista, emprega 10 números alternados em 11 posições para gerar 100 bilhões de identificadores únicos, enquanto um código de barras genômico tem somente quatro nucleotídeos alternados em cada posição, mas a cadeia de sítios disponíveis para a inspeção é maior. A análise de apenas 15 dessas posições de nucleotídeos, criam 4^{15} , portanto 1 bilhão de códigos, isto é, 100 vezes mais que o número requerido para discriminar vida se cada táxon fosse unicamente marcado.

Em diversas aplicações biológicas, tais como identificação de espécies críticas, detecção de espécies invasivas no ecossistema, espécies recentemente descritas, revisões taxonômicas, detecção de teias alimentares e relação entre predador-presa, o código de barras de DNA vem sendo utilizado. Costion *et al.* (2011) evidenciam esse fato também na luta contra o comércio ilegal de espécies ameaçadas de extinção e madeira extraída ilegalmente.

O código de barras de DNA trata-se de um conjunto único de pares de bases, ao qual utiliza um fragmento curto de DNA mitocondrial como padrão para todas as espécies partindo do princípio de que cada espécie tem sua própria sequência, ou seja, um conjunto único de pares bases (HEBERT *et al.*, 2003a; HEBERT *et al.*, 2003b; HEBERT *et al.*, 2004a; BLAXTER 2004 apud BEZERRA, 2013). Em plantas a escolha de uma região adequada para representar o DNA *barcode* ainda não está bem

definida como nos animais devido ao genoma mitocondrial vegetal apresentar baixa variação em sequências para ser utilizado como código de barras (CHASE, 2005).

A região ideal para o estudo do DNA *barcoding* deve atender a alguns critérios, facilitando a amplificação e sequenciamento, o fragmento deve ter sequência com comprimento curto; suficientemente variável para separar espécies irmãs; e apresentar sítios conservados para o desenvolvimento de primers universais (FORD et al., 2009).

O procedimento descrito por Azeredo (2005) aborda a vantagem do sequenciamento do DNA extraído de pequenas quantidades de tecido. Este DNA serve como uma amostra referência para que uma ou várias regiões gênicas possam ser amplificadas pela técnica de PCR (reação em cadeia da polimerase) e em seguida sequenciadas.

O uso de marcadores moleculares possibilita a avaliação da variabilidade genética existente dentro e entre espécies distintas (BERED et al., 1997). Para garantir que potenciais táxons irmãos sejam discriminados, as análises precisam ser taxonomicamente mais amplas com necessidade de estender a área de estudos além das regiões geográficas focais (MORITZ e CICERO, 2004).

Assim como em outros métodos, o sistema de identificação baseado em DNA requer um banco de dados robusto, caso contrário a identificação do sequenciamento descreve uma nova espécie, contudo trata-se apenas de uma sequência de espécie não cadastrada (DAYRAT, 2005).

Schardosin (2015) ressalta um grande otimismo e estímulo ao desenvolvimento de metodologias de identificação de madeiras baseadas em marcadores de DNA. Na maioria desses trabalhos, as sequências utilizadas na geração dos bancos de dados foram amplificadas de isolados obtidos de folhas ou outros tecidos vegetais frescos.

3.3.3 A técnica de espectroscopia no infravermelho

Luz é uma forma de energia que se propaga em onda eletromagnética. Consiste em campos elétrico e magnético perpendiculares entre si e à direção de propagação, caracterizada por um comprimento de onda (distância entre dois picos sucessivos) e frequência. Existem várias aplicações das ondas eletromagnéticas no cotidiano, como, por exemplo, o rádio, a televisão e o forno micro-ondas (LIMA e BAKKER, 2011).

Apenas uma pequena faixa de frequências é sensível ao olho humano, a região da luz visível do espectro eletromagnético. A luz com frequência levemente superiores (ou comprimentos de onda mais curtos) está na faixa do ultravioleta e a luz com frequência levemente inferiores (comprimentos de onda mais longos) está na faixa do infravermelho (TAIZ e ZEIGER, 2004). O infravermelho encontra-se na região do espectro eletromagnético situado entre as regiões do visível e micro-ondas (FIGURA 5), engloba radiações com número de onda de 12.800 cm^{-1} a 10 cm^{-1} , ou com comprimentos de onda de 780nm a $1,0 \times 10^6\text{ nm}$.

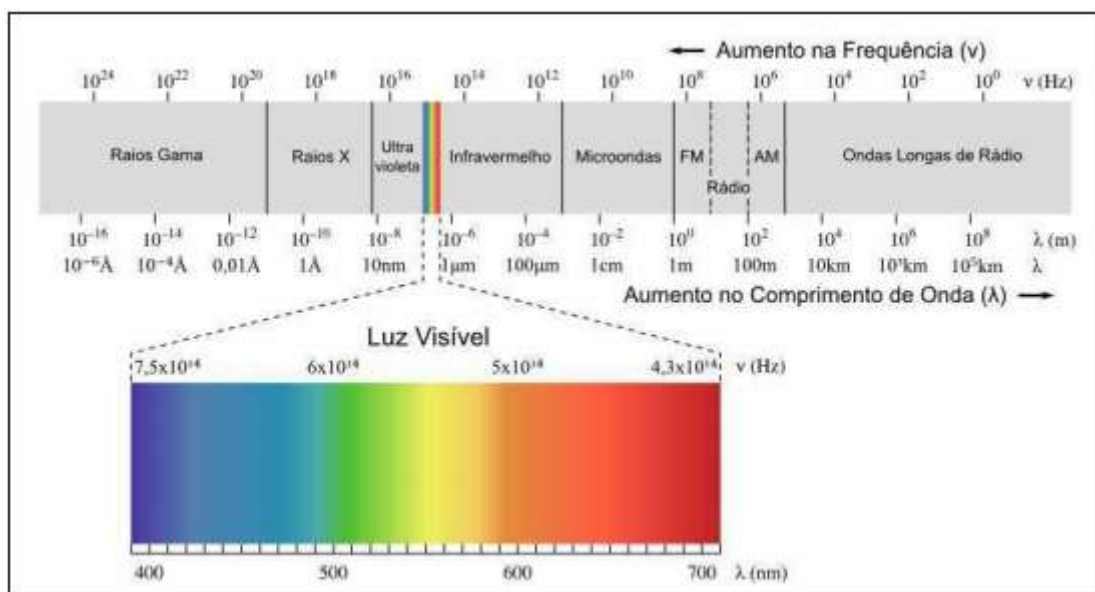


FIGURA - 5 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO
 FONTE: FERREIRA (2013)

Uma onda eletromagnética é capaz de se propagar mesmo no vácuo. Maxwell chegou à conclusão que a luz visível é análoga às restantes, com diferenças somente na frequência e comprimento de onda. Conforme a frequência e comprimento de onda pode-se definir um espectro com várias zonas (DALLAGNOL, 2012).

O espectro infravermelho pode ser dividido em infravermelho próximo (NIR, do inglês *Near Infrared*) ($12820 - 4000\text{cm}^{-1}$), médio (MID, do inglês, *Middle Infrared*) ($4000 - 400\text{cm}^{-1}$) e distante (FAR, do inglês, *Far Infrared*) ($400 - 10\text{cm}^{-1}$) (RIBEIRO, 2012 e KAWANO, 2003).

A espectroscopia no infravermelho longínquo ou afastado (FIR) é pouco utilizada no estudo de polímeros, pois nesta faixa espectral aparecem as frequências em modos de rede, modos de torção, estiramentos e deformações angulares de átomos pesados. A maior parte dos estudos referem-se à região média (MIR), onde se localizam as frequências vibracionais fundamentais, que correspondem às transições entre o nível de energia vibracional fundamental ($v=0$) e o primeiro nível vibracional excitado ($v=1$) (KAWANO, 2003).

A espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), é tipicamente usada na medição quantitativa de grupos funcionais orgânicos, especialmente O-N, N-H, e C=O (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Quando uma molécula absorve radiação, seus átomos vibram com maior amplitude, de maneira similar a um oscilador diatômico. O espectro NIR contém informações relacionadas com a diferença entre as forças de ligações químicas, espécies químicas presentes, eletronegatividade e a ligação de hidrogênio. A luz pode interagir com a amostra por meio de reflexão, refração, absorção, espalhamento, difração e transmissão. A perda no sinal pode ocorrer por refletância difusa especular, espalhamento interno e uma completa absorção (SCAFI, 2005).

A espectroscopia vibracional estuda a transição das vibrações normais moleculares e compreende a absorção no infravermelho e espalhamento Raman (NISGOSKI, 2005).

As vibrações de estiramento (FIGURA 6) resultam em bandas mais intensas do que deformações angulares, portanto, grupos funcionais formados por átomos de grande diferença de eletronegatividade, como carbonila, hidroxila e amino., normalmente darão origem a bandas de absorção intensas (BARBOSA, 2007).

Para que determinada vibração resulte em absorção da radiação na região do infravermelho, é necessário que esta cause alteração no momento dipolar da molécula, em outras palavras, apenas os modos vibracionais que alteram o momento dipolar da molécula são detectados através de um espectro. Assim, destacam-se as moléculas diatômicas heteronucleares, as moléculas poliatômicas com vibrações assimétricas e grupos funcionais ligados a polímeros, o que engloba a maioria dos compostos orgânicos, e muitos dos inorgânicos, como a água. Espécies atômicas e moléculas diatômicas homonucleares não são excitáveis (BARBOSA, 2007; SANTOS, 2007).

A absorção no infravermelho somente ocorre quando a energia da radiação tem o mesmo valor da diferença de energia entre dois estados vibracionais, ou seja, o processo envolve uma ressonância entre a diferença de níveis de energia da molécula e da radiação eletromagnética (PEREIRA, 2012).

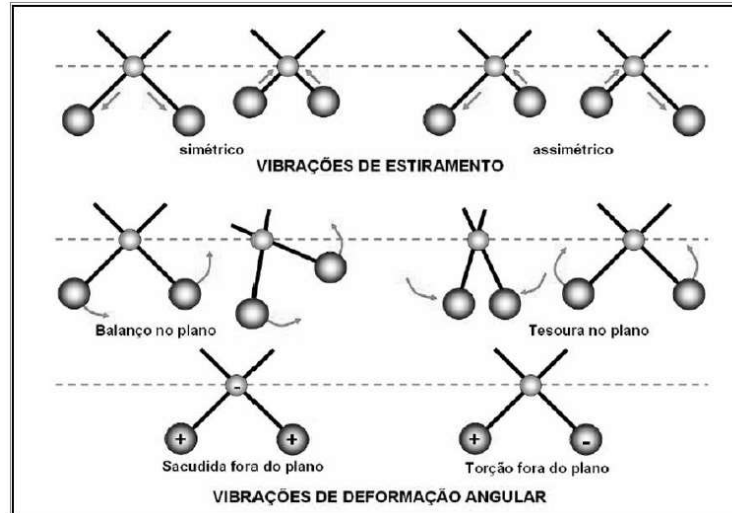


FIGURA 6 - TIPOS DE VIBRAÇÕES MOLECULARES, ONDE + = VIBRAÇÃO PARA FORA DO PLANO; - = VIBRAÇÃO PARA DENTRO DO PLANO
 FONTE: PEREIRA (2012).

A espectroscopia vibracional é uma ferramenta poderosa na identificação, determinação de grupos funcionais e nos estudos de conformação da molécula. As moléculas simples ou macromoléculas são constituídas de átomos e formam uma estrutura tridimensional, com distâncias de ligação química e ângulos de ligações definidas, apresentando uma determinada simetria molecular (KAWANO, 2003).

3.3.3.1 Espectrofotômetro por transformada de Fourier

A espectroscopia no NIR associada com a técnica quimiométrica tem sido implementada para uso na determinação quantitativa em controle de qualidade e controle de processo industrial. Os aparelhos usados para se obter o espectro IR são de dois tipos: espectrofotômetro dispersivo e por transformada de Fourier (FTIR) (KAWANO, 2003).

O equipamento mais antigo, o espectrofotômetro de dispersão, era formado por três partes básicas, uma fonte de radiação infravermelha contínua, um monocromador para dispersar a radiação e um detector sensível à radiação infravermelha. Esses

equipamentos foram utilizados durante muito tempo, e devido à algumas limitações, foram sendo substituídos pelo espectrofotômetro com transformada de Fourier, ou FTIR (BARBOSA, 2007). Os dois equipamentos fornecem o mesmo tipo de espectro, de modo que não há diferença em termos de interpretação dos dados obtidos.

O Espectrofotômetro com Transformada de Fourier (FTIR) foi desenvolvido a fim de ultrapassar as limitações encontradas com os instrumentos de dispersão. A principal dificuldade era o processo de digitalização lenta. O FTIR é composto de um dispositivo óptico muito simples chamado de um interferômetro (FIGURA 7), utilizado para a medição de todas as frequências de infravermelhos simultaneamente, sendo assim, o sinal pode ser medido rapidamente, reduzindo o tempo por amostra para uma questão de alguns segundos, em vez de vários minutos (NICOLET, 2001).

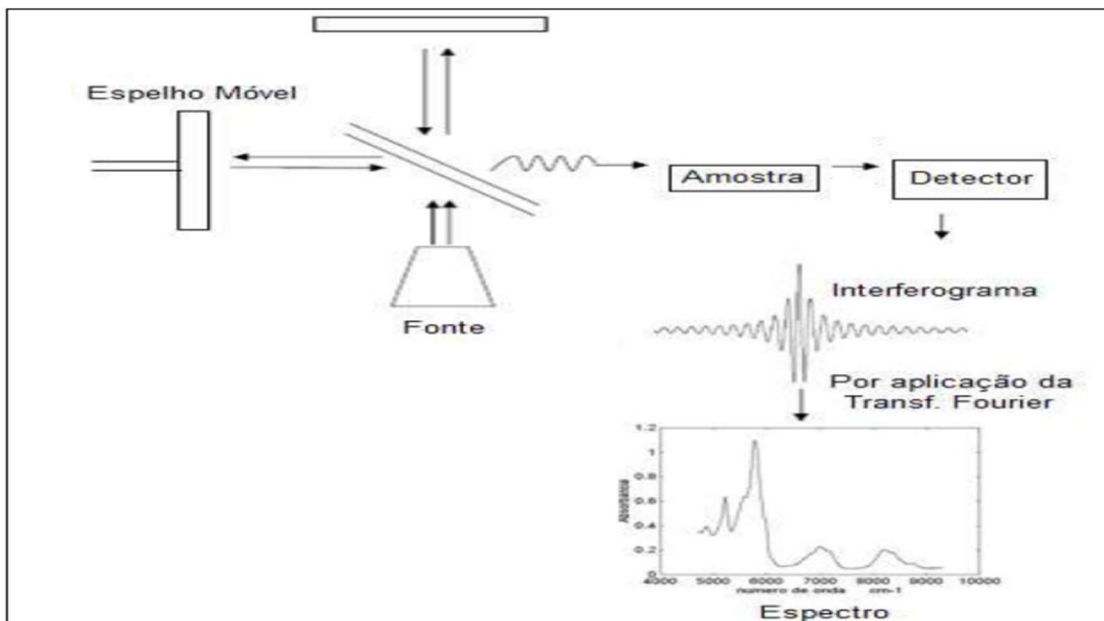


FIGURA 7 - ESQUEMA DE UM ESPECTROFOTÔMETRO.
FONTE: DALLAGNOL (2012).

Entre as vantagens de um equipamento FTIR, que utiliza o método interferométrico para obtenção dos espectros, estão a maior sensibilidade ou maior razão sinal/ruído, maior entrada de energia, obtenção de espectros em poucos

segundos, obtenção de espectros com maior resolução e amostras em quantidades bem menores e maior precisão nas medidas de números de onda (BARBOSA, 2007).

A obtenção de espectros de infravermelho de boa qualidade é sempre desejável. Entende-se por bom espectro aquele que apresenta o seguinte perfil espectral: linha base plana, nenhuma banda saturada, bandas resolvidas, alta razão sinal/ruído (S/N), ausência de franjas de interferência, ausência de bandas de impureza, de água e de CO₂ (KAWANO, 2003).

A existência de vários acessórios acoplados ao espectrômetro FTIR facilita a obtenção de espectros de amostras em diferentes estados físicos, formas e morfologias. É importante obtê-los sem induzir modificações físicas ou químicas na amostra. Podem-se listar os modos diferentes de obtenção mais utilizados para estudos de polímeros: transmissão ou absorção, refletância total atenuada (ATR), refletância difusa (DRIFTS), fotoacústico no infravermelho (PAS), refletância especular e microscopia no infravermelho (KAWANO, 2003).

A qualidade do espectro depende do preparo da amostra e do tipo de acessório utilizado para sua obtenção, assim a maneira como a amostra é tratada, bem como seu estado físico pode afetar a aparência do espectro (BARBOSA, 2007).

A obtenção de informações rápidas referentes à composição específica de um produto é uma ferramenta de valor incalculável para a garantia da qualidade deste produto. Quanto mais rápido é determinada uma mudança na especificação deste produto, mais rápido uma correção pode ser feita, implicando em um melhor controle da qualidade e redução de custos, pois haverá menos desperdício (SILVA, 2002 apud NISGOSKI, 2005).

O uso do infravermelho para a discriminação de espécies com base em folhas, madeiras, carvão ou diferenciação entre cerne alburno, e lenhos em misturas aparece

em estudos de Easty e Berben (1990), Brunner *et al.* (1996), Schimleck *et al.* (1996), Furumoto *et al.* (1999), Tsuchikawa *et al.* (2003a,b), Yonenobu e Tsuchikawa (2003), Csoka *et al.* (2005), Midorikawa e Fujita (2005), Midorikawa *et al.* (2005), So e Eberhardt (2006), Adedipe *et al.* (2008), Huang *et al.* (2008), Rana *et al.* (2008), Evans *et al.* (2008), Castillo *et al.* (2008a,b), Popescu *et al.* (2009), Muniz *et al.* (2013), Oliveira (2013), Bergo (2014), Zhang *et al.* (2014), Nisgoski *et al.* (2015a,b,c), Oliveira *et al.* (2015), Horikawa *et al.* (2015), entre outros.

Os trabalhos mostraram que é possível a diferenciação do material madeira, uma vez que os espectros coletados são baseados na constituição anatômica e química que é específica, sendo necessários estudos mais aprofundados e direcionados para as madeiras brasileiras, além da criação de banco de dados e modelos matemáticos adequados para as características estudadas.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS ESPECTRAIS

A quimiometria, área destinada à análise matemática ou estatística de dados químicos de origem multivariada, surgiu da necessidade de analisar e interpretar os dados e informações contidas em um único espectro, devido à sua quantidade e complexidade, uma vez que a análise univariada não era suficiente.

O modelo estatístico dos métodos multivariados considera a correlação entre muitas variáveis analisadas simultaneamente, permitindo a extração de uma quantidade muito maior de informação quando comparado a análise univariada (LOPES, 2008). Pode ser definida como a ciência que utiliza métodos matemáticos e estatísticos para extrair de dados químicos complexos de natureza multivariada, o máximo de informações relevantes (PEREIRA, 2012).

A quimiometria divide-se em áreas principais como: processamento de sinais analíticos, planejamento e otimização de experimentos, reconhecimento e classificação de padrões, calibração multivariada, monitoramento e modelagem de processos multivariados e métodos de inteligência artificial (CARNEIRO, 2008).

Diferentes unidades de medida e fatores com grande amplitude de variação podem afetar a distribuição e uniformidade dos dados espectrais, assim podendo ocasionar dificuldade na análise dos dados, interferindo na extração de informações relevantes, bem como na sua interpretação. Sendo assim, apenas a coleta de dados no infravermelho não garante a uniformidade das informações. Dessa forma, aplicam-se pré-tratamentos uma fase que envolve o processo de análise de dados oriundos do infravermelho e que, em alguns casos, facilita a análise e a obtenção de respostas (BRERETON, 2007).

Os objetivos dos pré-tratamentos dos dados são minimizar ruídos, eliminar amostras anômalas e informações sobrepostas da propriedade de interesse, bem como de interferentes. São aplicados antes dos métodos de análises multivariadas (LOPES, 2008). Entre os mais utilizados na área madeireira estão: cálculo da primeira e segunda derivada, que permite corrigir deslocamentos da linha de base e melhorar a separação de sinais não-sobrepostos, quando empregado a dados espectrais, gera mudanças na informação processada, podendo ter efeito positivo, ao evidenciar um sinal analítico de interesse, ou ter efeito negativo, ao acentuar ruídos instrumentais (SAUER, 2007) e normalização, que é realizada a fim de regularizar a importância relativa de cada variável, assim todas as variáveis se tornam equivalentes em termos de magnitude. A escala do espectro pode ser normalizada dividindo-se cada intensidade espectral pela raiz quadrada da soma dos quadrados de todas as intensidades do espectro correspondente (FERRARINI, 2004 apud RIBEIRO, 2012)

Existem diversas técnicas de estatística multivariada, com as mais variadas aplicações. Tais métodos podem ser classificados em dois tipos principais: os métodos de análise exploratória e os métodos de calibração multivariada. A aplicação de um ou outro método, ou até mesmo da combinação, depende da natureza do problema que se deseja resolver, ou do tipo de informação que se deseja obter. (MALINOWSKI, 1991 apud CARNEIRO, 2008).

O objetivo dos métodos de análise exploratória é fazer a avaliação inicial dos dados, para definir diretrizes de estudos e descobrir o tipo de informações possíveis de se extrair deles, feito por meio de algoritmos que permitem reduzir a dimensão dos dados, ou organizá-los numa estrutura que facilite a visualização de todo o conjunto, de forma global (CARNEIRO, 2008).

3.4.1 Método de análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais (PCA - *Principal Component Analysis*) é um método matemático qualitativo utilizado para reorganizar informação de um conjunto de dados de amostragem. O que um PCA faz é descobrir novas variáveis, os componentes principais (PCs), que consigam reunir a maioria da variabilidade dos dados. Ou seja, cada componente principal é calculado por forma a reter a maior quantidade de variância presente nas variáveis originais. Isto permite descrever a informação com consideravelmente menos variáveis do que as originalmente presentes (SANTOS, 2007).

Na construção de um novo conjunto de vetores de base, um conjunto de novas variáveis é criado, linearmente independentes para descrever estes dados. Cada novo vetor base é expresso em termos da combinação linear das antigas variáveis. Estes novos eixos, representados pelas chamadas componentes principais, são ortogonais

entre si e ordenados em termos da quantidade de variância explicada pelos dados, sendo que o primeiro vetor encontra-se na direção de maior variância. (PARREIRA, 2003).

O princípio da PCA é a aproximação da matriz original X em um produto de duas matrizes menores: a matriz de *loadings* P e a matriz de *scores* T ;

$$X = TP^t, \quad (1)$$

Em termos geométricos, os *scores*, colunas em T são as novas coordenadas para o novo sistema de eixos e contém informações a respeito das amostras. Os *loadings*, linhas P , fornecem a direção dos eixos ou componentes principais e estão relacionados com informações sobre as variáveis (CARNEIRO, 2008). O sobrescrito t indica a transposta da matriz e q é um escalar que indica o número de componentes principais que descreve a maior parte da variância dos dados. O ε indica o resíduo das análises (ARAÚJO, 2011). Representado esquematicamente na (FIGURA 8), está o princípio PCA.

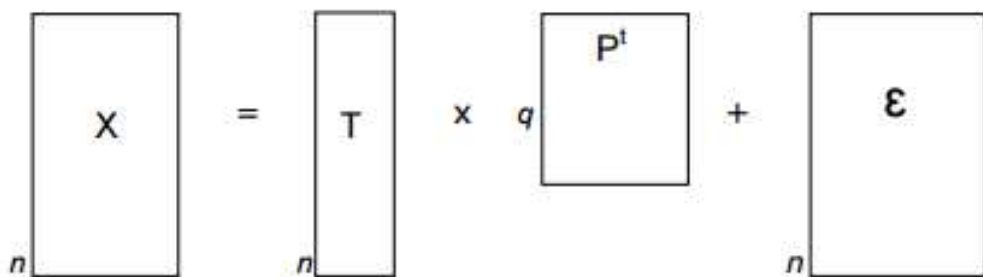


FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DA MATRIZ DE DADOS DECOMPOSTA EM MATRIZ DE SCORES E LOADINGS.

Os mapas de componentes principais permitem, adicionalmente, agrupar amostras com características semelhantes, assim como detectar amostras que não pertencem ao sistema (*outliers*), por algum motivo, ou apenas amostras muito

diferente das restantes. As etapas envolvidas na análise de componentes principais está representada na (FIGURA 9).

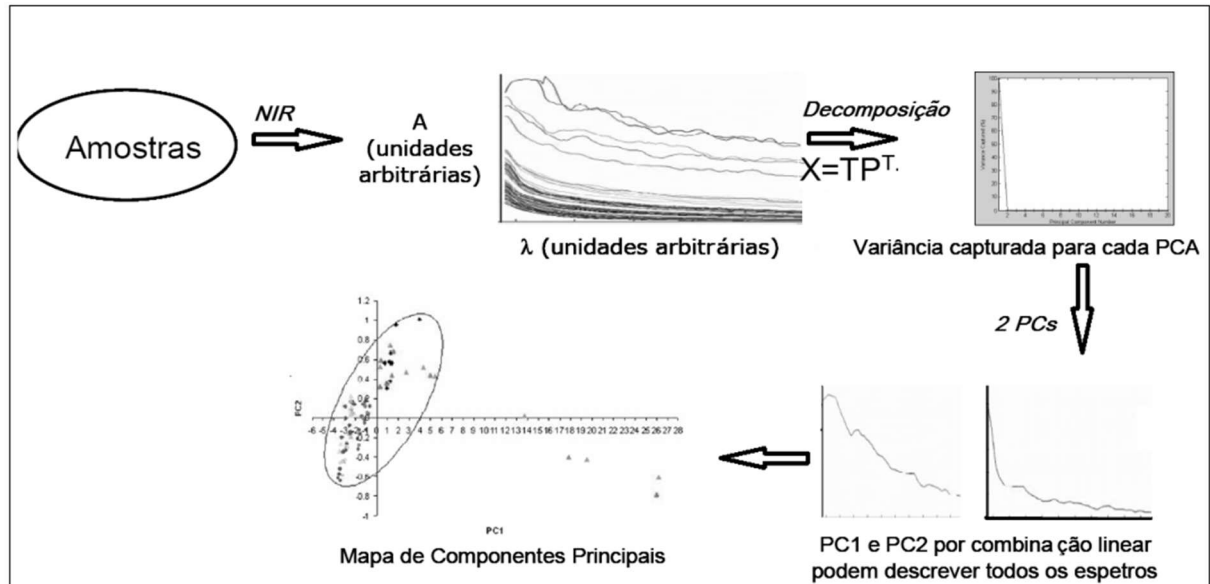


FIGURA 9 - ETAPAS ENVOLVIDAS NA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.
 FONTE: ADAPTADO DE SANTOS (2007).

Os “scores” fornecem a composição dos PC’s em relação aos objetos (amostras), os “loadings” fornecem essa mesma composição em relação às variáveis. É possível examinar as relações entre os objetos através dos gráficos dos “scores” projetados nas primeiras PC’s, e entre as variáveis através dos gráficos dos “loadings”, uma vez que os PC’s são ortogonais. Esses gráficos apresentam informações úteis sobre tendências subjacentes e características da estrutura dos dados, tais como, agrupamentos de objetos ou variáveis e caracterização dos chamados “outliers” (amostras anômalas, que não se encaixam no modelo). O estudo conjunto de “scores” e “loadings” permite estimar a influência de cada variável em cada objeto.

Os componentes principais podem fornecer a porcentagem de variância contida em cada fator. Todos os componentes juntos em um modelo fornecem 100% de variância e a maior porcentagem é explicada pelo primeiro componente principal (CARNEIRO, 2008).

Para discriminação de madeiras o PCA se mostra mais assertiva com o pré-tratamento em segunda derivada. Sandak et al., (2011) através do PCA em segunda derivada conseguiu a discriminação do país de origem das amostras das madeiras estudadas. Nisgoski et al. (2015c) apresentaram resultados satisfatórios na discriminação de espécies da família Moraceae e Euphorbiaceae.

3.4.2 Classificação SIMCA

O SIMCA (*Soft Independent Modeling of Class Analogy*) é uma técnica de reconhecimento de padrões supervisionado, em outras palavras é um método baseado na similaridade para prever se uma amostra desconhecida pertence a uma classe conhecida. Considera para a classificação informações da distribuição da população, estima um grau de confiança desta classificação e pode prever novas amostras como pertencentes a uma ou mais classes ou ainda a nenhuma das classes. Utiliza a análise de componentes principais (PCA) para modelar a forma e a posição das classes no espaço (DANTAS, 2010; VERAS et al., 2011).

É obtida uma hipercaixa com tantas dimensões quanto o número de PC's mais adequados para cada classe. A verificação da existência de sobreposição entre diferentes classes se faz de extrema importância. Uma vez que o poder de discriminação dos modelos SIMCA se baseia na não existência de sobreposição entre duas classes diferentes, bem como na maior distância interclasses possível. A classificação de uma amostra externa àquelas empregadas na modelagem SIMCA é baseada nas diferentes projeções possíveis no espaço dos *scores* avaliando-se se a mesma encontra-se dentro das fronteiras definidas para a respectiva classe em todas as projeções obtidas (SABIN, 2004).

O SIMCA cria um modelo matemático para cada classe através da PCA e a amostra do grupo de teste é classificada se a distância do modelo não é significativamente diferente do desvio padrão residual daquela classe. Entre os métodos supervisionados, o SIMCA tem vantagens, pois ao invés de apenas criar limites entre classes do grupo de treinamento, ele constrói um modelo para cada classe.

Portanto, cria um espaço n dimensional para cada classe do grupo de treinamento, onde n é o número de componentes utilizados na modelagem daquela classe. Para definir a amostra do grupo teste, são calculadas as distâncias do espaço do modelo através da equação (2).

$$D_j = \sqrt{\left(\frac{T_j^2}{T^2_{lim}}\right)^2 + \left(\frac{Q_j^2}{Q^2_{lim}}\right)^2} \quad (2)$$

Onde;

T²= distância da amostra dentro do espaço do modelo;

Q= distância da amostra fora deste espaço.

Essa equação é válida para 95% de significância, comumente se D_j for menor que $\sqrt{2}$ a amostra é considerada um *outlier* e rejeitada para aquela classe.

Considera que cada classe é delimitada por uma região do espaço, o que representa uma percentagem do nível de confiança (geralmente 95%) que um determinado objeto pertence a uma classe. Nesse caso, podem ocorrer dois tipos de erros, a amostra não ser incluída na sua própria classe, ou uma amostra é incluída em uma classe incorreta (DINIZ, 2013).

A aplicação da SIMCA na discriminação de espécies de madeira com resultados positivos envolvem trabalhos como Adedipe et al. (2008) classificando espécies de *Quercus alba* e *Quercus rubra*, Bächle et al. (2012) classificando madeira

termo retificada e Carneiro et al. (2013) para segregação de laminas de *Pinus* spp. com presença de fungos. Em outras áreas, tem-se Cremonese (2013) que utilizou o SIMCA para classificação de microrganismos. Marcelo (2013) apresentou resultados satisfatórios na discriminação geográfica de erva mate, Yang et al. (2014) obtiveram bons resultados na classificação de diferentes tipos de papel decorativo, Mellado-Mojica e López (2015) conseguiram identificação de xaropes.

3.4.3 Análise Discriminante Linear (LDA)

A análise discriminante linear é uma ferramenta estatística multivariada que busca a separação dos indivíduos e, ou, classificação de novos indivíduos em grupos previamente definidos, com base em variáveis mensuradas nos indivíduos que compõem cada um dos grupos (JOHNSON e WICHERN, 1988). Assim como o SIMCA, o LDA é um método de reconhecimento padrão supervisionado, buscam construir uma vizinhança entre as classes, ou seja, limita o espaço N -dimensional para cada classe, onde N compreende ao número de variáveis, com objetivo de classificar amostras de acordo com a sua localização no espaço (BORBA, 2012).

O LDA pode ser interpretado como um tipo especial de análise fatorial, onde das variáveis ortogonais extrai fatores para evidenciar as diferenças entre os grupos. A (FIGURA 10) ilustra esquematicamente uma função discriminante linear e como opera a classificação de um dado elemento. Os grupos formados por círculos e quadrados são inicialmente determinados, equidistante e perpendicular à linha que une os grupos traça-se um plano, formando duas distintas regiões R1 e R2. Se um ponto qualquer estiver presente na região R1, o mesmo é classificado como pertencente ao grupo 1. Caso contrário, obrigatoriamente pertencerá à categoria 2 (GAMARRA NETO et al., 2009).

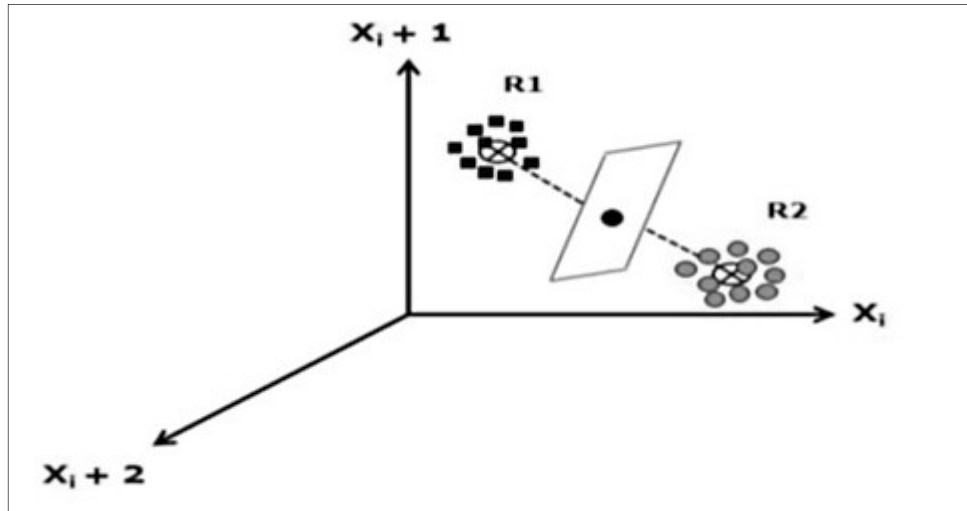


FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ANÁLISE DISCRIMINANTE LINEAR.
 FONTE: (GAMARRA-NETO et al., 2009)

O LDA bem como o PCA promovem a redução da dimensionalidade, criando um subespaço de características discriminantes. A grande vantagem é que o LDA executa a extração de características discriminantes com o objetivo de classificar a informação, já o PCA trabalha com intuito de destacar a informação com maior variância (KITANI,2007).

A análise discriminante vem se mostrando eficiente na identificação de madeiras, Pastore et.al. (2011), Braga et al. (2011) e Bergo (2014) obtiveram bons resultados na discriminação de mogno, cedro, andiroba e curupixá, outros estudos mostram a discriminação de plantas medicinais, ervas e folhas (CHEN et al. 2011; LEE et al. 2011; MARCELO, 2013; MENDES, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

As espécies foram coletadas no município de Coremas, na Paraíba, com Latitude 07° 00' 52" S e Longitude 37° 56' 45" W, a 266 m de altitude, e clima, com verão seco e temperatura do mês mais frio de aproximadamente 23 °C (Alvares et al., 2013).

As espécies estudadas foram:

Catingueira - *Poincianella bracteosa* (Tul.) L.P. Queiroz – Fabaceae;

Jurema - *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. – Fabaceae;

Marmeleiro - *Croton argyrophyloides* Müll. Arg. – Euphorbiaceae;

Mufumbo- *Combretum leprosum* Mart. – Combretaceae;

Pau serrote - *Luetzelburgia auriculata* (Allemão) Ducke – Fabaceae;

Pião - *Jatropha mutabilis* Benth. – Euphorbiaceae.

Nenhuma das espécies utilizadas no presente trabalho consta na Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014).

As principais características anatômicas das espécies estudadas estão resumidos na Tabela 1.

L. auriculata* *M. tenuiflora* *P. bracteosa* *C. leprosum* *C. argyrophyloides* *J. mutabilis

Anel de crescimento	Indistinto	Distinto	Indistinto	Distinto	Distinto	Distinto
Porosidade	Difusa	Difusa	Difusa	Anel Poroso	Anel Semi-Poroso	Difusa
Vasos	Solitários em maioria	Solitários e múltiplos de 2 a 3 em cadeia	Solitários e múltiplos	Solitários	Solitários e múltiplos radiais	Solitários em maioria
Parênquima Axial	Difuso em agregado e em faixas	Vasicêntrico e aliforme (Confluente)	Unilateral confluyente	Vasicêntrico confluyente e marginal	Difuso em agregado	Difuso e difuso em agregado
Raios	Heterogêneo multisseriados e unisseriados	Homogêneo e multisseriados	1 a 3 células, homogêneo, estratificado com presença de cristais	Homogêneo unisseriados	Heterogêneo unisseriados	Heterogêneo unisseriados e multisseriados
Parede da Fibra	9,6 µm	3,5 µm	2,9 µm	8,2 µm	5,6 µm	8,2 µm
Fibras Septadas	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente/ Gelatinosas	Presente

Foram coletados 4 (quatro) indivíduos de cada espécie e selecionados discos (FIGURA 11) com 2,5 cm de espessura, distribuídos de acordo com a altura do fuste, 0%, 25%, 50%, 75% e 100%.

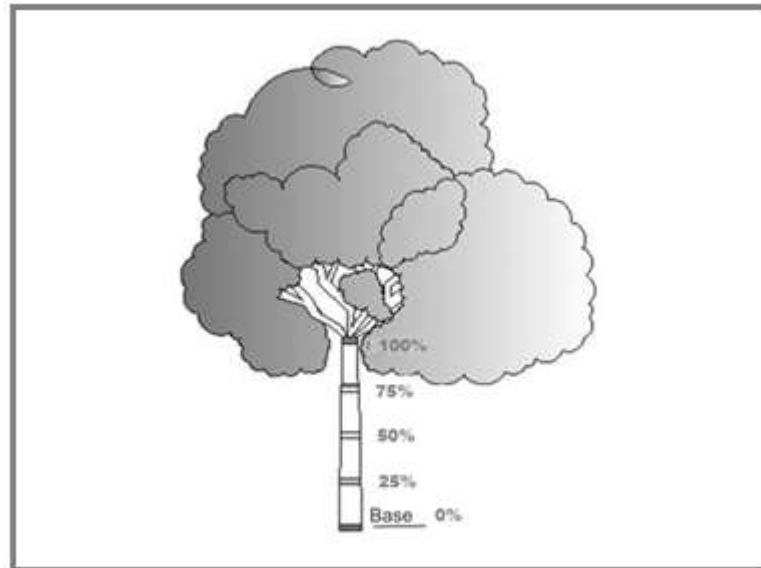


FIGURA 11 - ESQUEMA COLETAS DOS DISCOS PARA AMOSTRAGEM.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Carbonização

Os discos foram fracionados em pedaços menores, seguindo partes para a carbonização. As amostras foram identificadas com lápis cópia e envolvidas por papel alumínio, impedindo a mistura de amostras no caso de quebra das mesmas. A carbonização foi realizada em forno mufla com controlador eletrônico de temperatura e programação para rampas e patamares com temperatura final de 450° C. O tempo total de carbonização foi de 392 min, com uma taxa calculada de 1,1° C/min (Figura 12). Após o término do programa, as amostras permaneceram no forno por aproximadamente 12 horas para resfriamento.

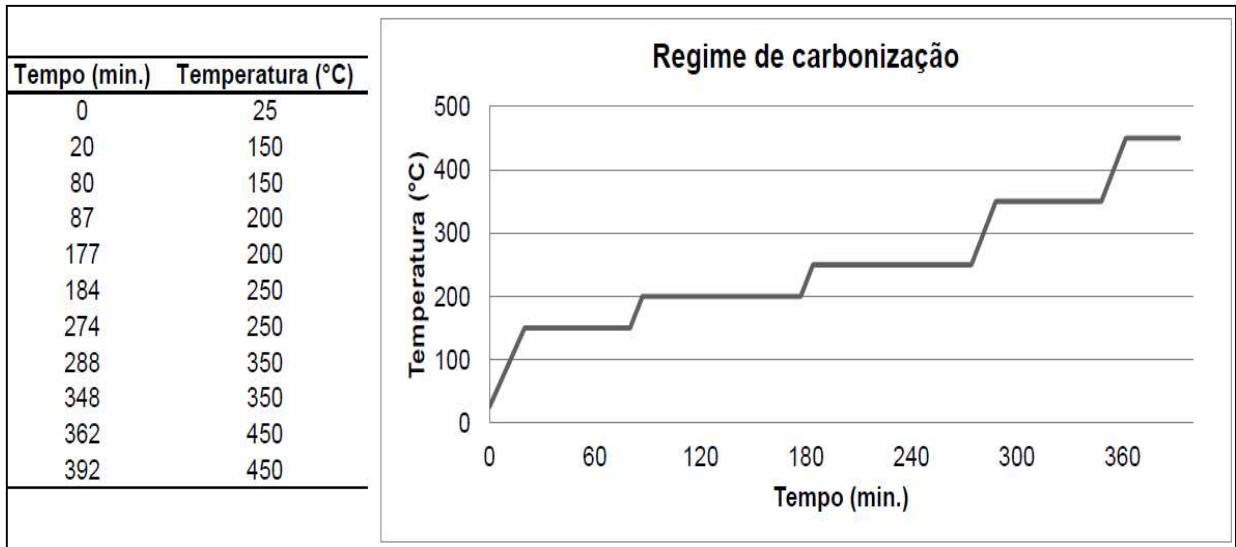


FIGURA 12 - REGIME DE CARBONIZAÇÃO ADOTADO.

4.2.2 Infravermelho Próximo

Foram coletados espectros com o material maciço e em pó, de madeira e carvão, colocados diretamente no equipamento. Para as amostras maciças de madeira, foram coletados 5 espectros na lateral do disco e 3 no topo, num total de 40 por árvore e 160 por espécie. Para as análises foi utilizada a média por disco, resultando em 5 espectros por árvore e 20 por espécie. Para o carvão foram coletados 20 espectros por espécie, em amostras aleatórias e em todos os planos (transversal, radial e tangencial).

O material particulado foi moído em moinho de facas tipo *Wiley* e classificado, sendo analisadas as partículas que ficaram retidas na peneira de 40 mesh. Para a madeira foram coletados 30 espectros por espécie, e para o carvão 40 espectros por espécie.

Os espectros foram coletados em Espectrofotômetro Tensor 37 (Bruker) equipado com esfera de integração e operando em modo de reflectância difusa. As leituras foram efetuadas com 64 scans e resolução de 4 cm^{-1} , na faixa de $10.000\text{--}4.000\text{ cm}^{-1}$.

Para a análise dos dados foi utilizado o programa Unscrambler X (versão 10.1, da CAMO Software AS). Modelos exploratórios foram obtidos analisando-se os gráficos de *scores* e *loadings* obtidos através da análise de componentes principais (PCA). A coleta de dados e análise seguiu a norma ASTM E1655-05 (ASTM, 2012). Foram utilizados 75% dos espectros para a construção dos modelos e 25% para a classificação das amostras através da SIMCA e PCA-LDA. Foram testados os dados originais, com correção da linha base, segunda derivada e MSC.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 INFRAVERMELHO MADEIRA

Os espectros NIR para as seis espécies de madeiras estudadas, obtidos através de madeira maciça (FIGURA 13) e em pó (FIGURA 14) apresentam os mesmos perfis de tendência e bandas características de materiais lignocelulósicos (SCHIMLECK et al. 2009, TSUCHIKAWA e SCHWANNINGER 2013).

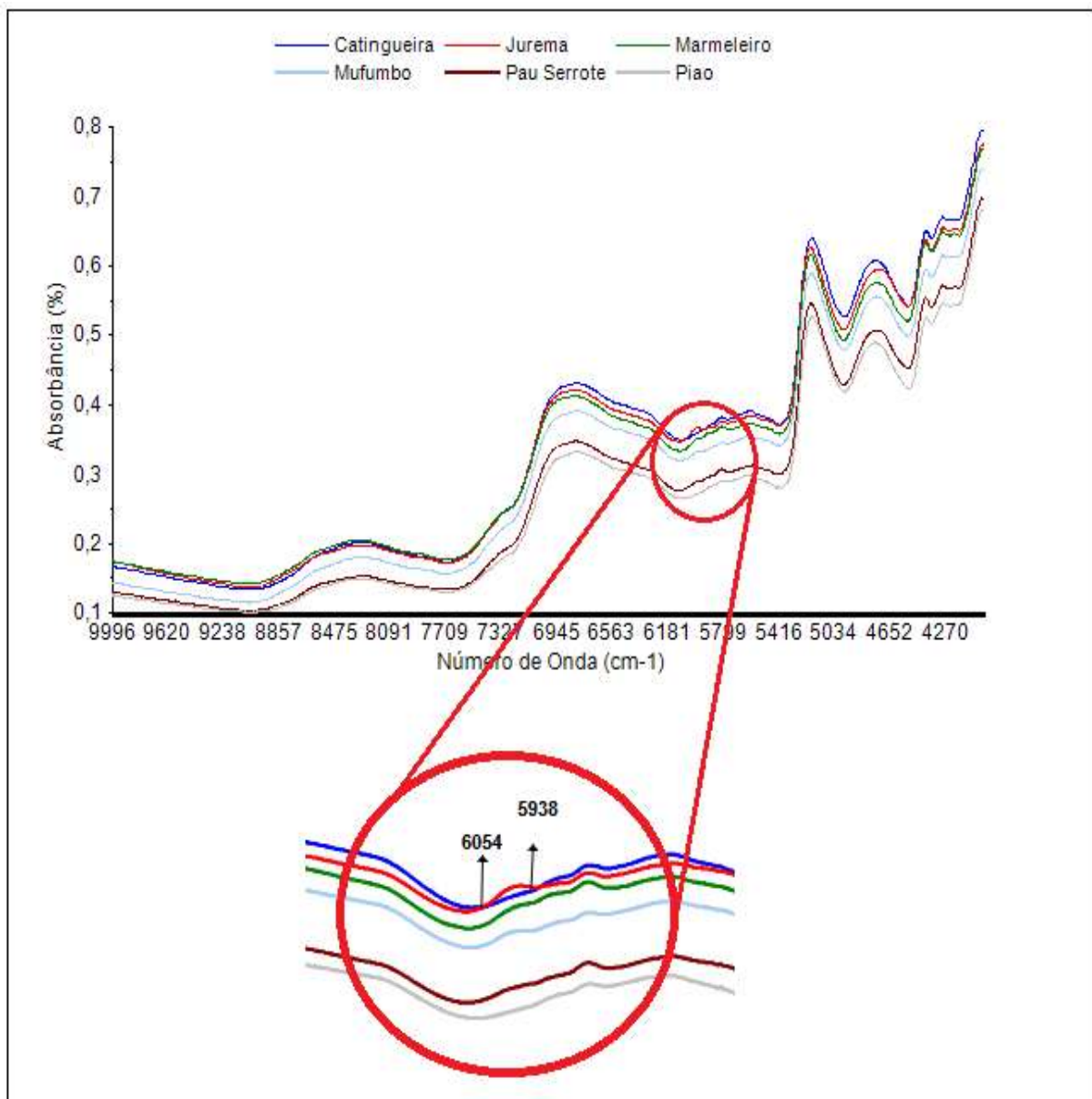


FIGURA 13 - ESPECTROS DA MADEIRA MACIÇA

Em relação aos espectros originais, a jurema apresenta um pico diferenciado na faixa entre (5938-6054) cm^{-1} , relacionada aos extrativos presentes e anéis aromáticos da lignina.

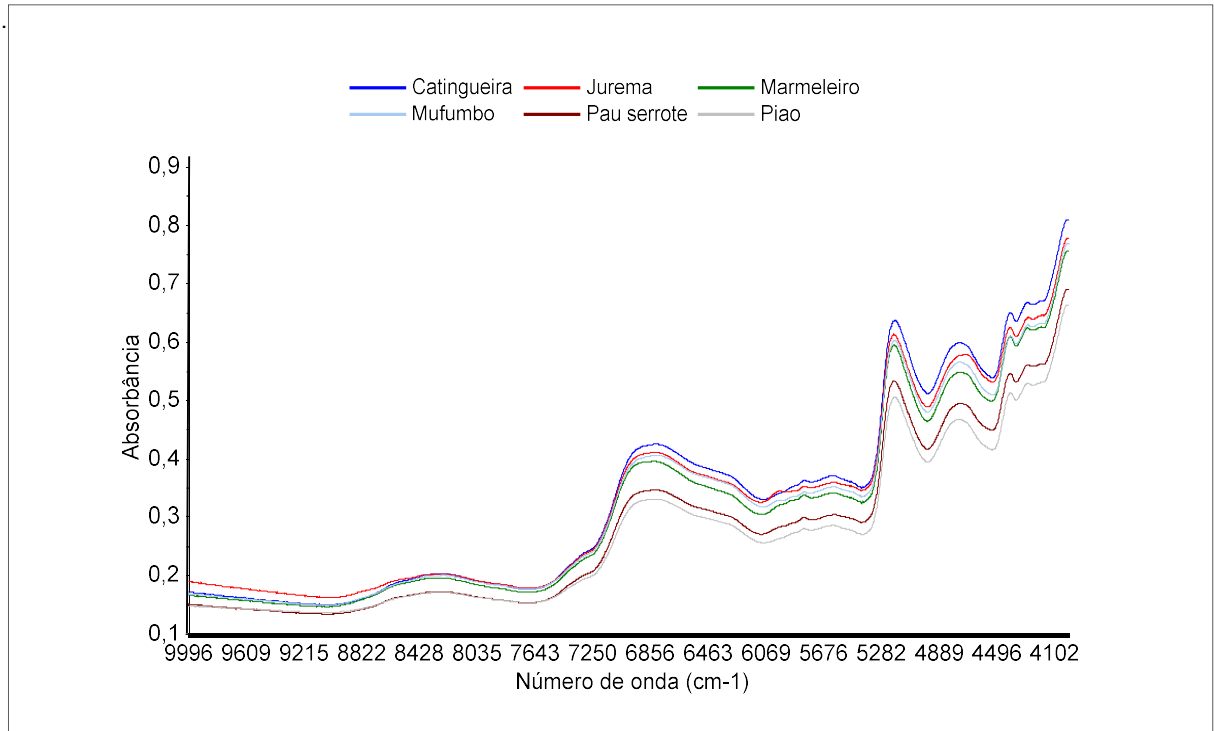


FIGURA 14 - ESPECTROS DAS AMOSTRAS PARTICULADAS

A discrepância na linha de base pode afetar negativamente a qualidade do modelo. Para anular o efeito deste deslocamento os espectros sofreram o pré-tratamento correção da linha base (FIGURAS 15 e 16).

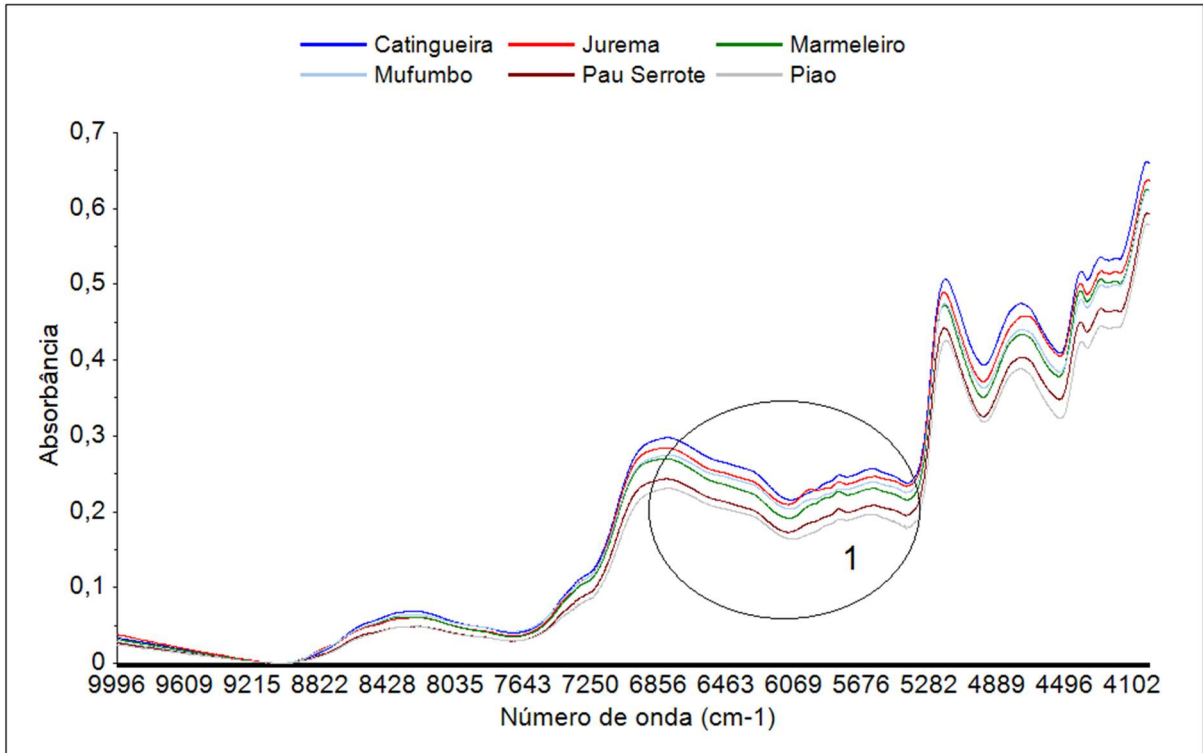


FIGURA 15 - ESPECTROS COM CORREÇÃO DA LINHA BASE – MADEIRA MACIÇA

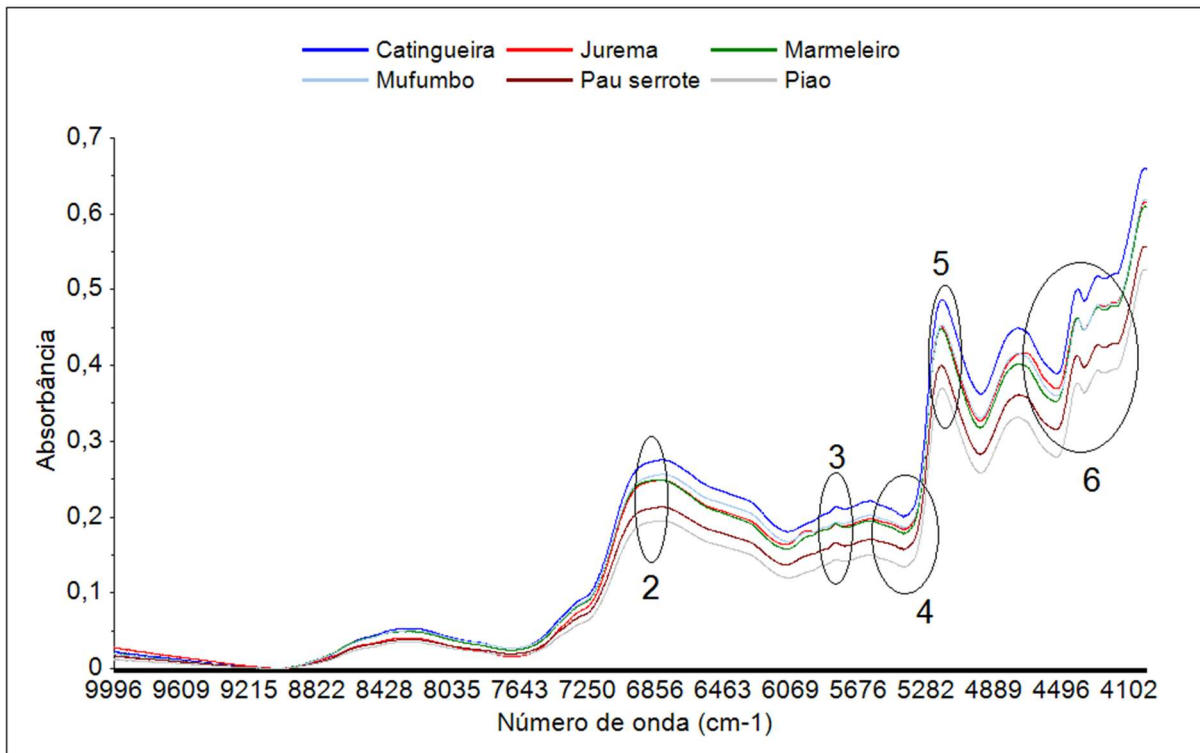


FIGURA 16 - ESPECTROS COM CORREÇÃO DA LINHA BASE – MADEIRA EM PÓ

Os diferentes componentes da madeira são identificados através dos números de onda que ocorrem pela interação da radiação com substâncias presentes na estrutura celular. As regiões (1) entre (7000 e 5200) cm^{-1} são atribuídas às vibrações de estiramento das ligações hidroxila –OH e –CH, presentes na celulose e lignina; a região (2) entre (6900-6850) cm^{-1} está relacionada com a combinação C-H dos compostos aromáticos e grupos fenólicos da lignina e extrativos; (3) 5800 cm^{-1} corresponde aos açúcares furanose/piranose presentes nas hemiceluloses; as regiões (4) entre (5600 a 4900) cm^{-1} são atribuídas ao estiramento - CH, - OH combinado – CO e o estiramento – OH com a deformação – OH, ligações atribuídas à celulose e a água; o pico (5) em 4700 cm^{-1} corresponde ao estiramento -OH e a deformação -CH atribuídas às moléculas de água. A região (6) de 4545 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} refere-se às bandas de combinação de CH+CH, CH+C-C, C-C, CH, CH₂, CH₃ e H₂O (TSUCHIKAWA e SIESLER 2003, SIESLER et al. 2002, CARNEIRO, 2008).

Os espectros coletados produziram os melhores resultados na distinção das amostras na forma de segunda derivada (FIGURAS 17 e 18).

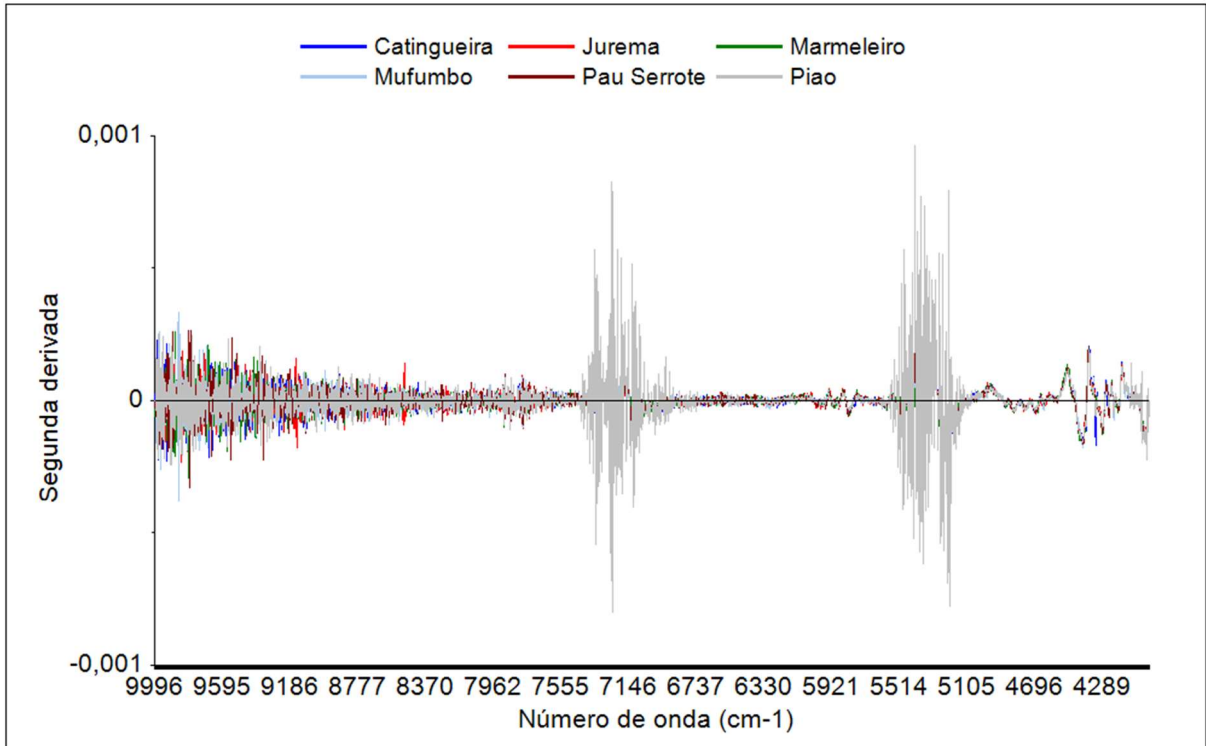


FIGURA 17 - ESPECTRO COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA - MADEIRA MACIÇA

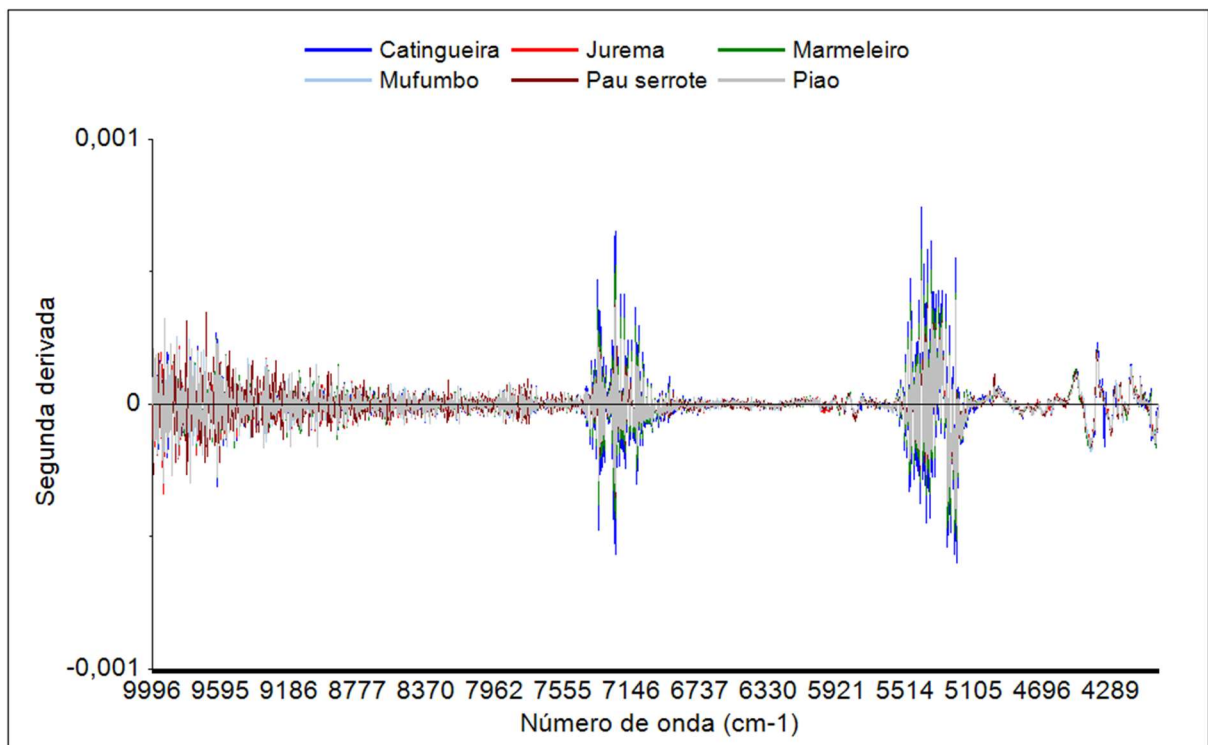


FIGURA 18 - ESPECTRO COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA - MADEIRA PARTICULADA

As bandas de absorção na região de 9090- 7692 cm^{-1} referem-se à região do terceiro harmônico do CH (grupos funcionais presentes na estrutura da lignina) e a segunda região de harmônicos de CH, CH_2 (grupos presentes na celulose, hemicelulose e lignina) e CH_3 (porção lignina). A região próxima de 7000 cm^{-1} é relacionado com as regiões amorfas de celulose, entre 6900-6850 cm^{-1} está associada com as combinações aromáticas de C-H, grupos fenólicos OH de lignina e extrativos. Para o número de onda de 6287 cm^{-1} são atribuídas as regiões cristalina de celulose e em 5974 cm^{-1} e 5935 cm^{-1} os anéis aromáticos de lignina. A região próxima a 5848 cm^{-1} está relacionada com furanose e piranose das hemicelulose; as regiões de 5816-5814 cm^{-1} são evidenciadas para todos os componentes da madeira, em 5760 cm^{-1} e 4739 cm^{-1} são associadas com celulose, as deformações de CH correspondem a 4700 cm^{-1} atribuídas a água, que em 4686 cm^{-1} associa-se com os grupos acetílicos, lignina e extrativos, As bandas de 4490 cm^{-1} , 4411 cm^{-1} e 4280 cm^{-1} são relacionadas a lignina, 4365 cm^{-1} e 4250-4120 cm^{-1} são relacionadas para celulose, 4198 cm^{-1} correspondem a hemicelulose e a região de 4014 cm^{-1} está associada com C-H e C-C (SCHWANNINGER et al., 2011; CARNEIRO, 2008).

Para a distinção do material foi efetuada a análise de componentes principais (PCA) com os dados originais (FIGURA 19), com correção da linha base (FIGURA 20) e em segunda derivada (FIGURA 21).

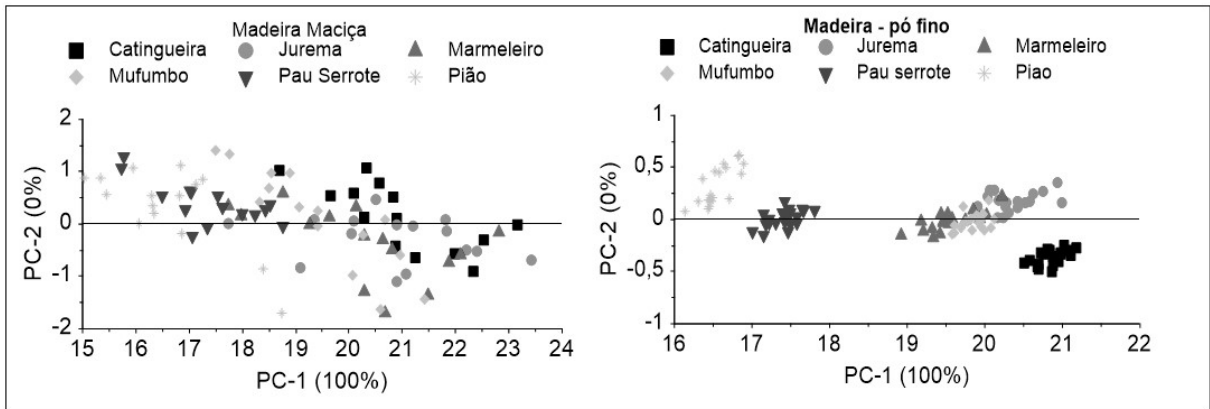


FIGURA 19 - PCA DADOS ORIGINAIS

Analisando os gráficos com os scores apresentados na Figura 19, observou-se que tanto para madeira maciça quanto para as amostras em pó o primeiro componente principal explica 100% da variação.

Para a madeira maciça, as amostras das diferentes espécies apresentam-se misturadas, não sendo possível a separação clara de nenhuma delas. Já no caso do material em pó é possível a distinção de todas as espécies, com uma maior proximidade entre marmeleiro, mufumbo e jurema.

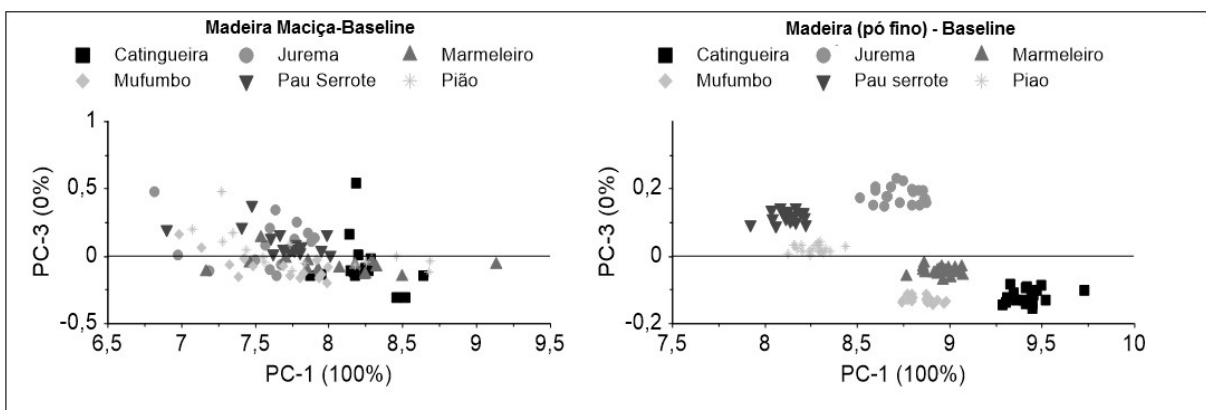


FIGURA 20 - PCA CORREÇÃO DA LINHA BASE

Para os gráficos com os scores de correção da linha base, as análises do primeiro componente principal explicam 100% da variação, sendo possível discriminar

100% das espécies em amostragem em pó e não há separação para amostragem maciça.



FIGURA 21 - PCA SEGUNDA DERIVADA

No gráfico de scores com segunda derivada para a madeira maciça, a primeira componente principal (PC1) explicou 73% da variância total e pode ser interpretada como uma média entre as variáveis com maior coeficiente na combinação linear. A terceira componente principal (PC2) explicou apenas 4% da variância, sendo possível a discriminação de 100% das amostras. Para as amostras de madeira em pó a primeira componente principal (PC1) explicou 68% da variância total e pode ser interpretada como uma média entre as variáveis com maior coeficiente na combinação linear. A segunda componente principal (PC2) explicou apenas 5% da variância, não sendo possível a discriminação das espécies.

Para o presente estudo o pré tratamento em segunda derivada apresentou melhor resultado para as amostras maciças. Para a discriminação do material em pó os melhores resultados foram obtidos nos dados com correção da linha base.

No PCA em segunda derivada para madeira maciça (FIGURA 20), nota-se uma clara separação em dois grupos. O primeiro composto pelas espécies Catingueira, Jurema e Pau Serrote, no segundo estão presentes Marmeleiro, Mufumbo e Pião.

Essa separação pode ser explicada pela diferenciação das características anatômicas do material. No primeiro grupo as três espécies são pertencentes à família Fabaceae. No segundo grupo as espécies Marmeleiro e Pião pertencem à família Euphorbiaceae e o Mufumbo à família Combretaceae. As três espécies apresentam em sua maioria raios unisseriados; Marmeleiro e Mufumbo não apresentaram porosidade difusa, mas anéis porosos, também apresentaram paredes disjuntivas nas células de raio, características contrárias às encontradas nas espécies do primeiro grupo, onde observa-se porosidade difusa e raios multisseriados. A quantidade e distribuição das células, além do tipo, influenciam na composição química do material, ou seja a informação utilizada pelo infravermelho para a distinção das amostras.

Trabalhos utilizando madeira maciça são escassos na literatura. Alguns exemplos com resultados adequados na discriminação de espécies baseado apenas em PCA envolvem trabalhos de Brunner et al. (1996), Nisgoski et al. (2015c); Nisgoski et al. (2016). Para material particulado Russ et al. (2009), Sandak et al. (2011), Bouslamti et al. (2013).

A discriminação das espécies em material pó sem que fosse necessário aplicação de pré-tratamento pode ser explicada com base em que dados espectrais sofrem inúmeras interferências. Estudos mostram a sensibilidade do infravermelho em relação à granulometria e outras propriedades físicas das amostras para processos de discriminação de espécies (BRAGA et al., 2011; NISGOSKI et al., 2015a) e análises em geral, além da comparação entre análise laboratorial e em campo (MEDER et al., 2011). A diferença nas medições do infravermelho entre madeira maciça e partículas pode ser o resultado da interação da amostra com a luz infravermelha, resultando em diferentes informações que sofrem influência da estrutura do lugar da leitura que podem contribuir para a presença de ruído nos

espectros. Em geral, em materiais sólidos a luz penetra em menor profundidade, a absorção é menor e as informações são mais superficiais (HEIN et al., 2010).

5.2 INFRAVERMELHO CARVÃO

Os espectros originais para as regiões de sobreposição e combinação das bandas de absorção do carvão vegetal maciço e em pó estão representados nas (FIGURAS 22 e 23). Nos espectros de carvão ocorrem diferenças de absorção em relação à madeira maciça pela degradação química do material (DAVRIEUX et al., 2010, MUÑIZ et al., 2013).

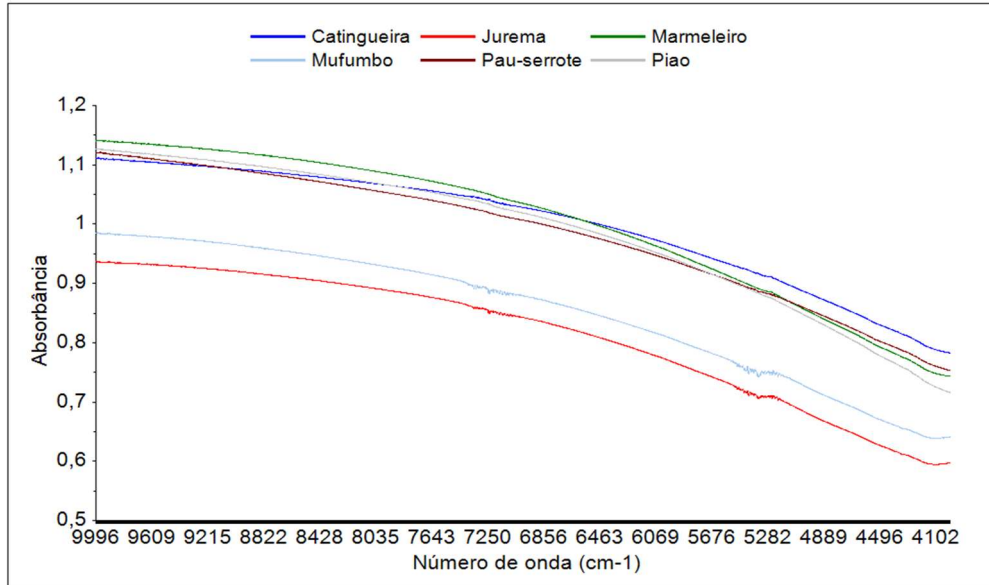


FIGURA 22 - ESPECTROS DO CARVÃO MACIÇO

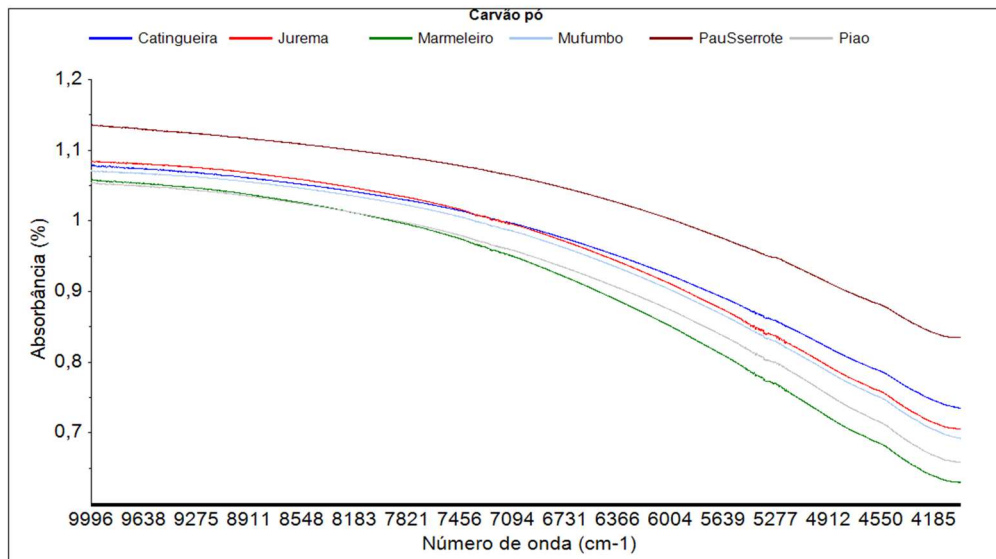


FIGURA 23 - ESPECTROS DO CARVÃO PARTICULADO

A segunda derivada (FIGURAS 24 e 25) foi utilizada para melhorar a definição de bandas que se encontram sobrepostas em uma mesma região espectral e para a correção de linha base. Dessa forma, as informações contidas nos diferentes comprimentos de onda são geralmente acentuadas. Como desvantagem da aplicação deste pré-tratamento, é que não só sinais espectrais, mas também os ruídos se tornam acentuados. Para a análise do carvão, a maior parte do ruído do espectro vem

de umidade do material e do próprio equipamento, além da região onde o feixe passa. Portanto, as pequenas variações não são suficientes para discriminação do material.

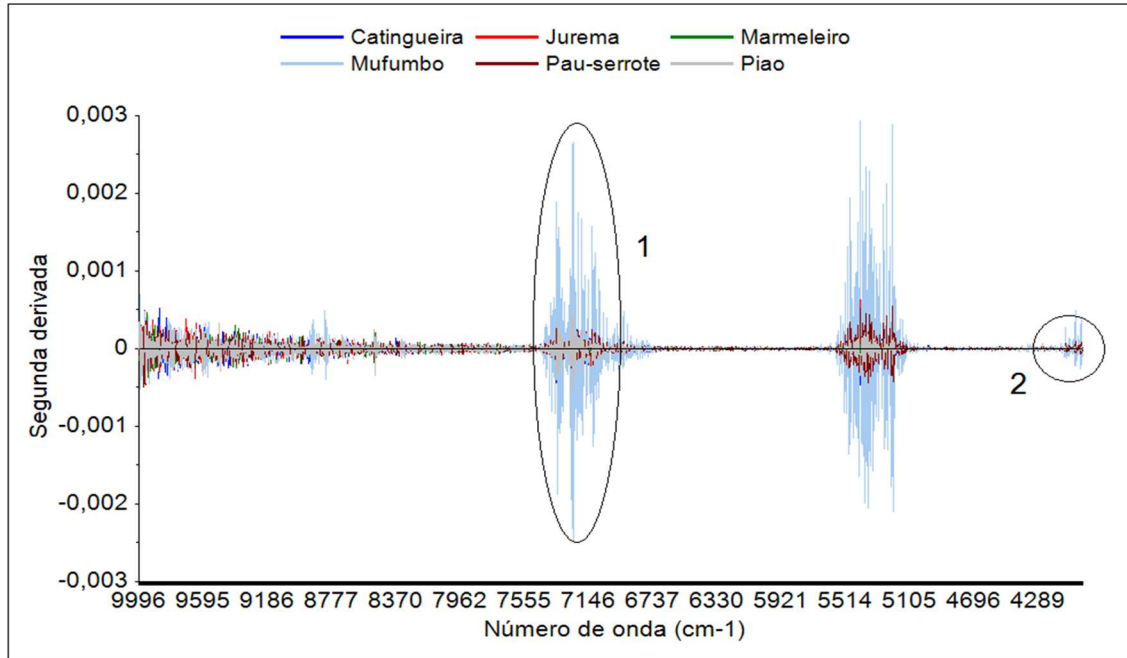


FIGURA 24 - ESPECTRO COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA – CARVÃO MACIÇO

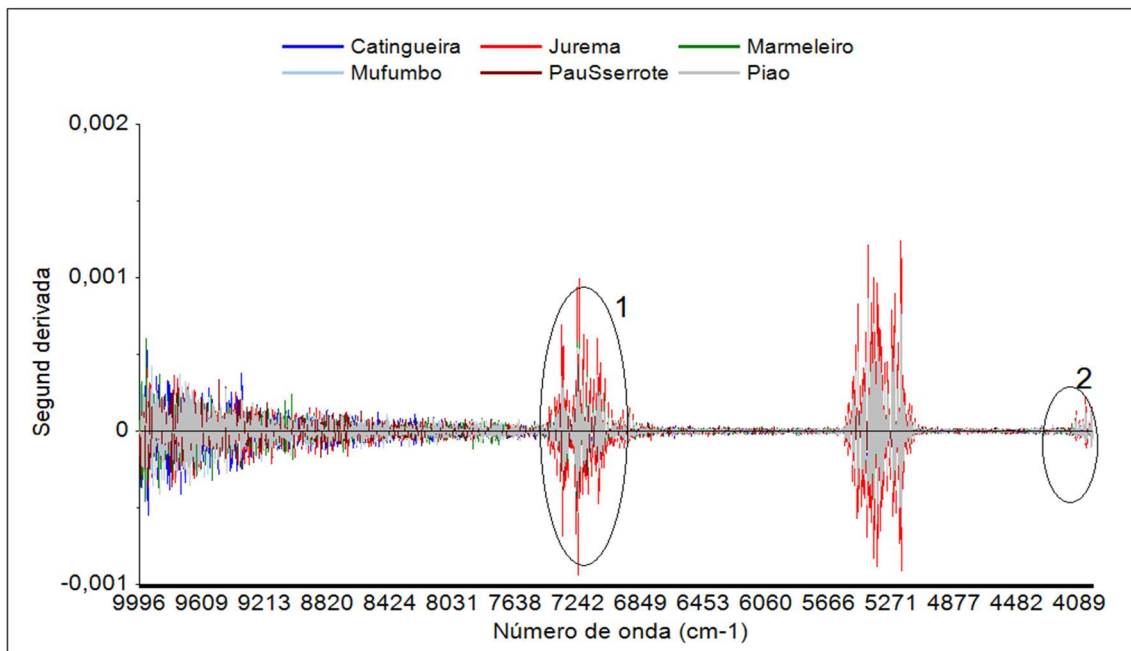


FIGURA 25 - ESPECTRO COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA – CARVÃO PARTICULADO

As regiões de maior influência na discriminação das espécies estão na faixa (1) de $(6900-7400) \text{ cm}^{-1}$ e (2) $(4000-4400) \text{ cm}^{-1}$, que se referem aos componentes

químicos da parede celular (FIGURAS 26 e 27). O Mufumbo e a Jurema apresentaram maiores picos de absorção em relação as outras espécies, resultado da diferente degradação entre as espécies.

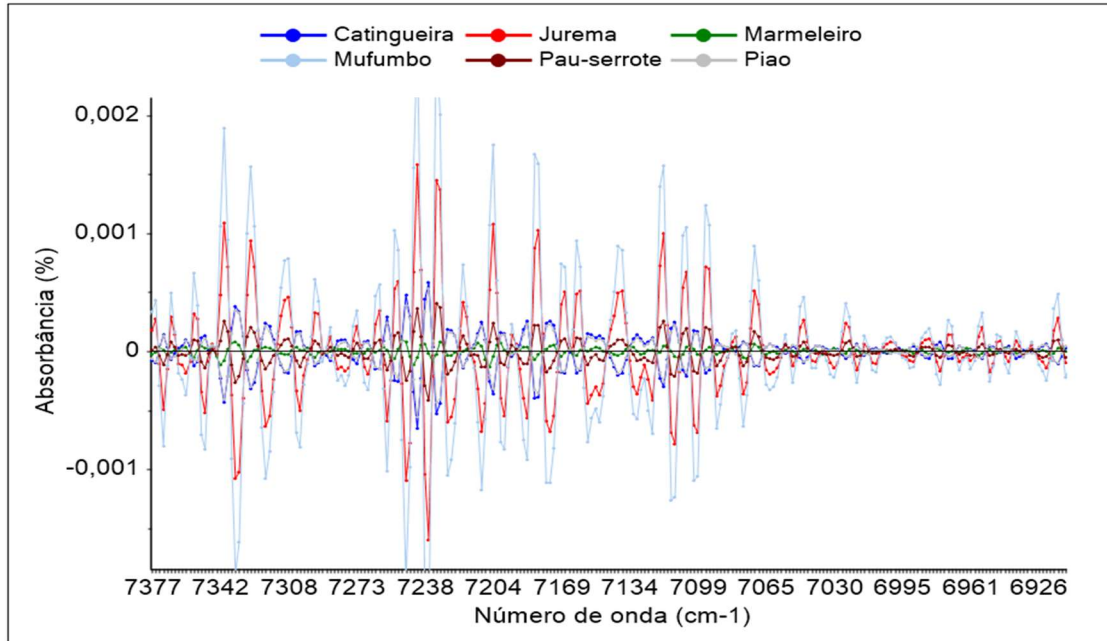


FIGURA 26 - APROXIMAÇÃO (BANDAS EM SEGUNDA DERIVADA (7400-6900) cm^{-1})

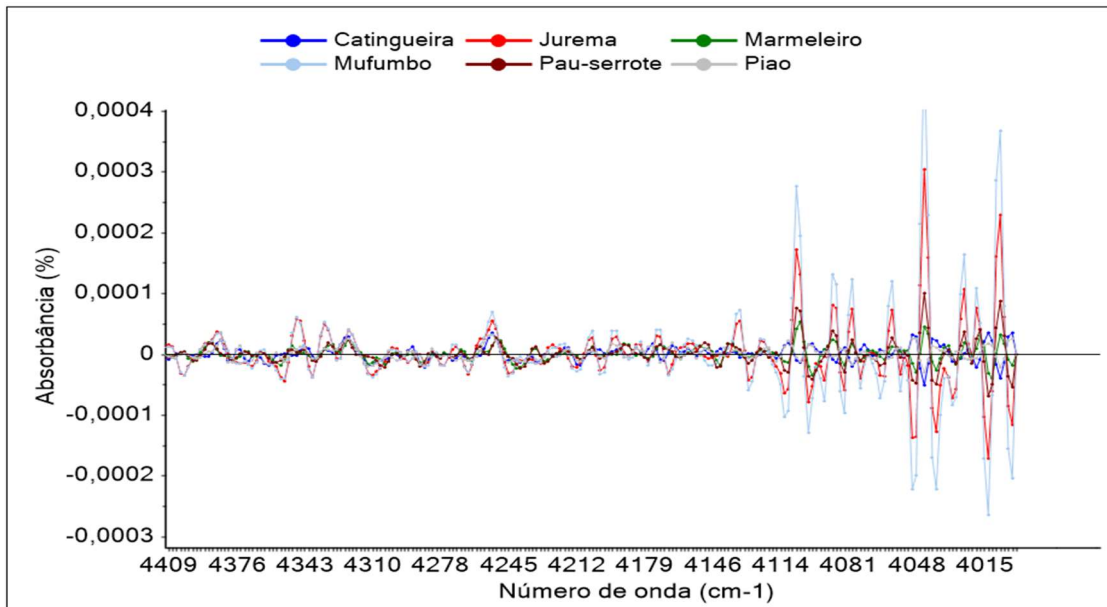


FIGURA 27 - APROXIMAÇÃO (BANDAS EM SEGUNDA DERIVADA (4400 -4000) cm^{-1})

A região em torno de 7000cm^{-1} é atribuída as regiões amorfa de celulose, as bandas de 4490cm^{-1} , 4411cm^{-1} e 4280cm^{-1} são relacionadas a lignina, 4365cm^{-1} e

4250-4120 cm^{-1} são relacionadas para celulose, 4198 cm^{-1} correspondem a hemicelulose e a região de 4014 cm^{-1} está associada com C-H e C-C. (SCHWANNINGER et al., 2011).

Para a discriminação do carvão das espécies da caatinga foi efetuada a análise de componentes principais com os dados originais (FIGURA 28), com correção da linha base (FIGURA 29) e em segunda derivada (FIGURA 30).

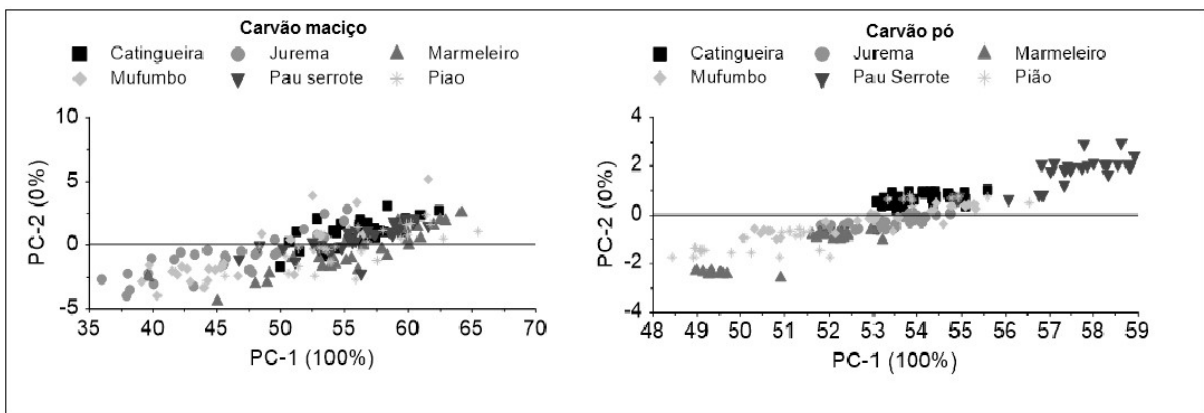


FIGURA 28 - PCA DADOS ORIGINAIS

No gráfico de scores das análises com os dados originais, a primeira componente principal (PC1) explicou 100% da variância total. Nota-se uma melhor discriminação das espécies em material particulado. Observa-se tendência de agrupamento para Pau serrote, Jurema e Catingueira.

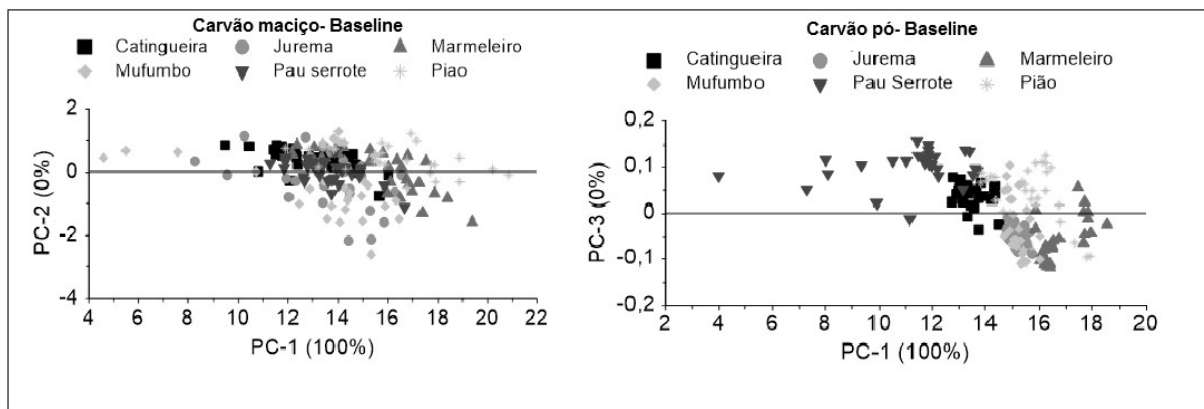


Figura 29 - PCA COM CORREÇÃO DA LINHA BASE

No gráfico de scores com correção da linha base (FIGURA 29) a primeira componente principal (PC1) explicou 100% da variância total. Assim como para os espectros originais, as espécies são melhor discriminadas com o material em pó.

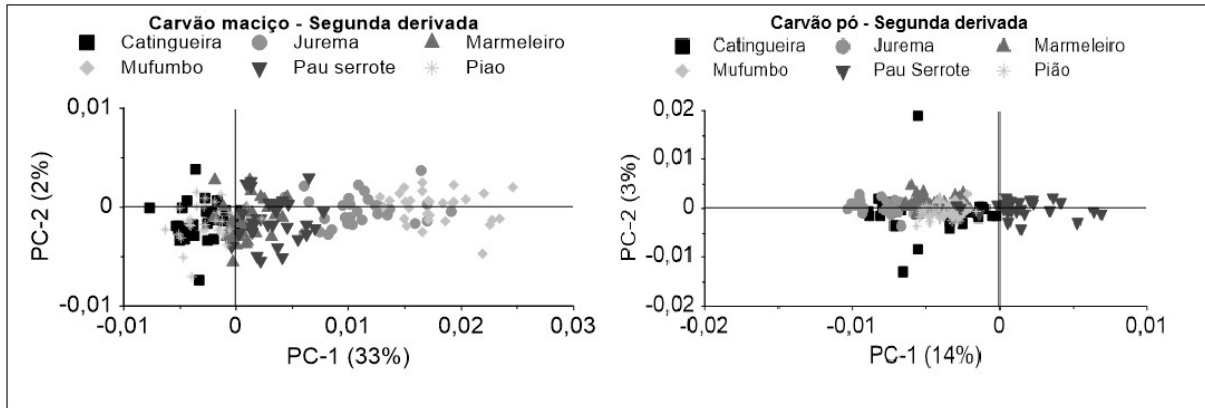


FIGURA 30 - PCA COM DADOS EM SEGUNDA DERIVADA

No gráfico de scores com os dados em segunda derivada (FIGURA 30) para carvão maciço, a primeira componente principal (PC1) explicou 33% da variância total, apresentando uma tendência de separação entre as espécies. No gráfico de scores para carvão em pó, a primeira componente principal (PC1) explicou 14% da variância total e pode ser interpretada como uma média entre as variáveis com maior coeficiente na combinação linear. A segunda componente principal (PC2) explicou apenas 3% da variância, não demonstrando clareza na separação das espécies.

A melhor distinção do material foi observada com os dados em segunda derivada. Na madeira, os componentes químicos são responsáveis por diferentes propriedades como cor e aroma, assim a discriminação é possível em amostras sólidas. No carvão, os polímeros são degradados durante a carbonização e este comportamento, nas mesmas condições, dependem da espécie (PASTOR-VILLEGAS et al. 2007). A literatura mostra que altos conteúdos de extrativos são associados com baixa cristalinidade, a qual afeta o processo de degradação térmica (POLETTTO et al. 2012).

A discriminação de carvão por Infravermelho baseado na Análise de Componentes Principais ainda encontra-se em fase inicial de pesquisa. Muniz et al. (2013) e Nisgoski et al. (2015c) trabalharam com material maciço e Monteiro et al. (2010) e Davrieux et al. (2010) estudaram o material particulado. Todos os estudos indicam o potencial da técnica e ressaltam a variação em função das características da espécie analisada.

5.3 COMPARAÇÃO ESPECTRAL ENTRE MADEIRA E CARVÃO

Para uma avaliação dos comprimentos de onda mais importantes na distinção das espécies da Caatinga, e do comportamento em decorrer da carbonização, foi efetuada uma comparação entre os espectros médios da madeira e carvão.

O tratamento dos dados com segunda derivada eliminou a influência da linha base e os ruídos existentes na coleta dos espectros, ressaltando os números de onda com maiores contrastes entre a madeira e o carvão das seis espécies estudadas.

Observando-se os espectros médios do material maciço (FIGURA 31) e em pó (FIGURA 32) verificou-se que o comportamento é muito semelhante, compatível com a análise de materiais lignocelulósicos. Quando o material é particulado (FIGURA 32), aparece a influência de algumas regiões a mais que no material maciço (FIGURA 31).

A faixa espectral com maior influência na discriminação de espécies pode ser variável, em função da composição anatômica e química da madeira. Observando-se o gráfico com o espectro total foram selecionadas duas regiões para análise, eliminando-se a faixa com influência da umidade, seja do equipamento, seja das amostras. Para o material maciço a faixa (1) engloba $5700-6000\text{ cm}^{-1}$ e a faixa (2), $4000-4800\text{ cm}^{-1}$; para o material particulado a faixa (1) foi a mesma e a faixa (2) abrange um número maior de números de onda, de $4000-5000\text{ cm}^{-1}$.

A análise dos dados em faixas espectrais também pode ser observada em estudos de Pastore et al. (2011) que avaliou a eficiência do infravermelho na discriminação da madeira de andiroba, cedro, curupixá e mogno na faixa de 4249-6100 cm^{-1} . Outro estudo envolvendo a discriminação de espécies da Amazônica com base nas folhas apresentou potencial na região entre 4000-6000 cm^{-1} (DURGANTE et al., 2013).

Para o material maciço (FIGURA 31), as regiões mais distintas na faixa (1) foram entre 5950-5915 cm^{-1} , 5861-5828 cm^{-1} , 5825-5790 cm^{-1} , relacionados principalmente com a estrutura da hemicelulose e lignina, e a região entre 5776-5751 cm^{-1} , relacionada principalmente com a celulose. Na faixa (2), as regiões com maior contraste entre a madeira e o carvão foram 4767-4723 cm^{-1} , 4708-4654 cm^{-1} , 4538-4461 cm^{-1} , 4447-4376 cm^{-1} , 4374-4320 cm^{-1} , 4308-4262 cm^{-1} , 4235-4204 cm^{-1} , 4177-4133 cm^{-1} , representando todos os componentes da madeira, com maior predominância das ligações da celulose. A madeira da espécie catingueira apresentou um vale no número 4322 cm^{-1} , destacando-se das outras espécies.

Muñiz et al. (2013) estudando o carvão de jatobá, eucalipto, bracatinga e ipê observaram bandas com maior intensidade na região de 4740 cm^{-1} e 4253 cm^{-1} , correspondente à lignina, e também picos com maiores intensidades em jatobá e menor absorção no carvão da bracatinga, concluindo que a degradação durante o mesmo processo de carbonização está relacionado com as características da espécie.

Para o material em pó (FIGURA 32), na faixa (1) as mesmas bandas do material maciço foram observadas, verificando-se também a presença das regiões entre 5913-5890 cm^{-1} e 5722-5699 cm^{-1} relacionadas à estrutura da lignina. Na faixa (2), além das regiões observadas no material maciço, constatou-se diferença entre a madeira e carvão nas regiões entre 4990-4914 cm^{-1} , 4841-4785 cm^{-1} , 4272-4206 cm^{-1} , e 4038-

4013 cm^{-1} . Todas as espécies carbonizadas apresentaram um pico em 4362 cm^{-1} , relacionado à celulose, e a madeira de catingueira no material particulado também apresentou um vale no número 4322 cm^{-1} , da mesma forma que as amostras maciças.

Nas análises com o material particulado observou-se um número maior de regiões com absorção diferenciada entre a madeira e o carvão, assim a análise e discriminação das espécies é baseada em mais características espectrais relacionadas com a composição química do material, podendo, em alguns casos, ser mais eficiente.

Nisgoski et al. (2015a) comprovaram a influência da granulometria da amostra na identificação de espécies de vime através do infravermelho. Braga et al. (2011) avaliando material maciço relataram que a superfície analisada, ou seja, a face de corte, tem uma influência significativa na discriminação de espécies semelhantes ao mogno.

Nisgoski et al. (2015c) comparando a madeira e carvão de duas espécies da família Moraceae e duas da família Euphorbiaceae concluíram que no caso do carvão só é possível a discriminação das famílias, e na madeira todas as espécies foram separadas com base nos espectros em segunda derivada.

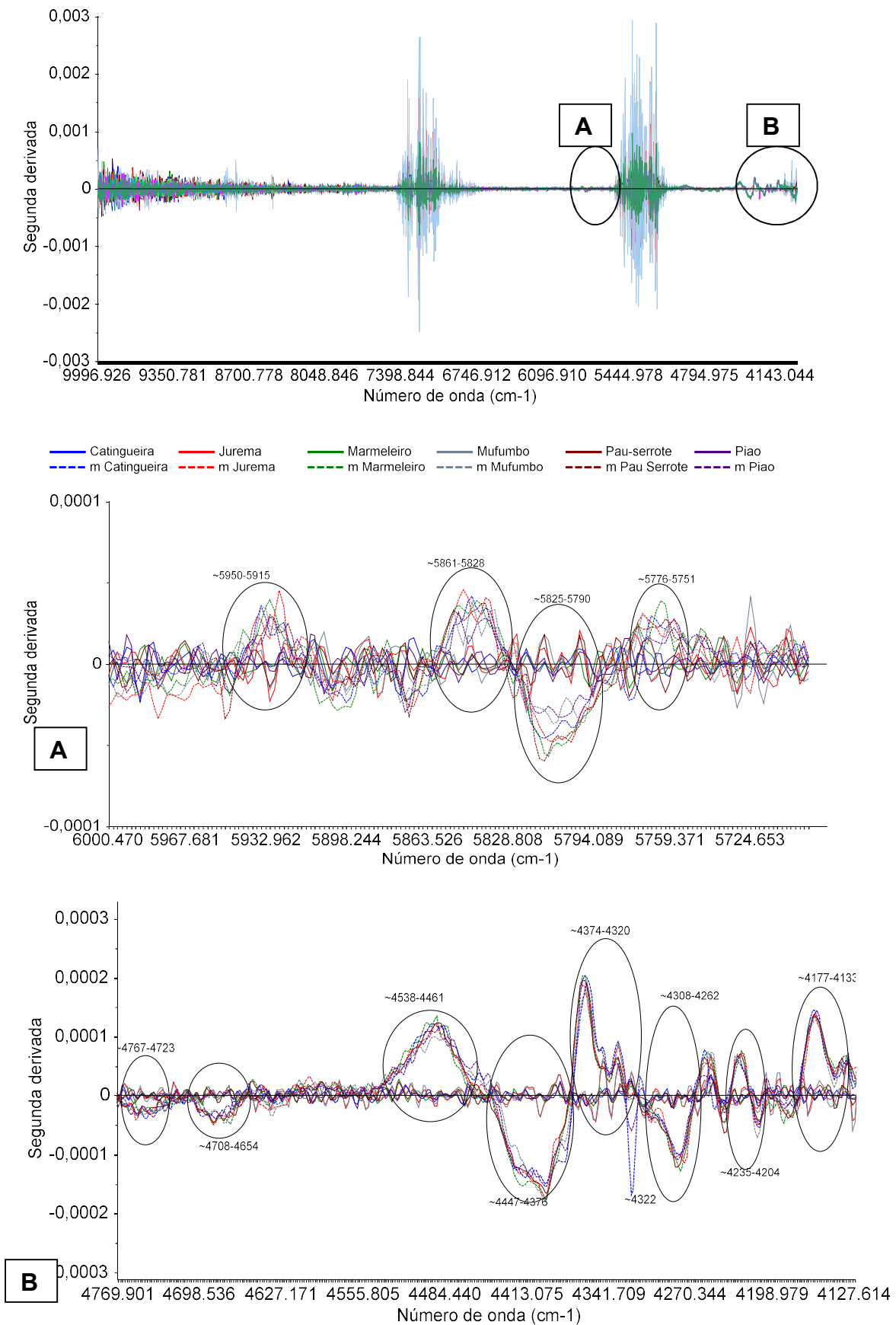
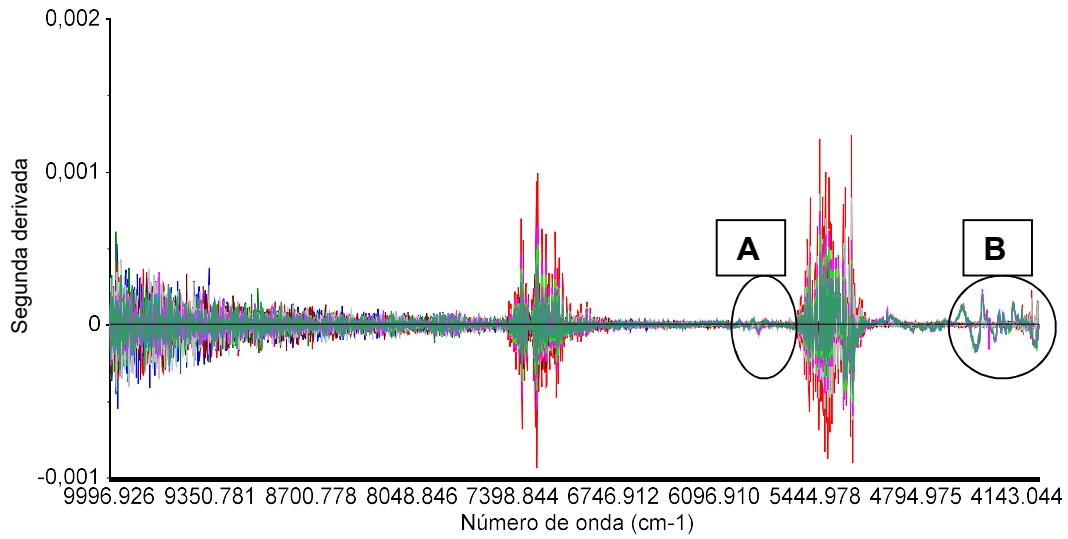


FIGURA 31 - ESPECTROS MÉDIOS DA MADEIRA E CARVÃO MACIÇO EM SEGUNDA DERIVADA



Catingueira Jurema Marmeleiro Mufumbo Pau-serrote Piao
 m Catingueira m Jurema m Marmeleiro m Mufumbo m Pau Serrote m Piao

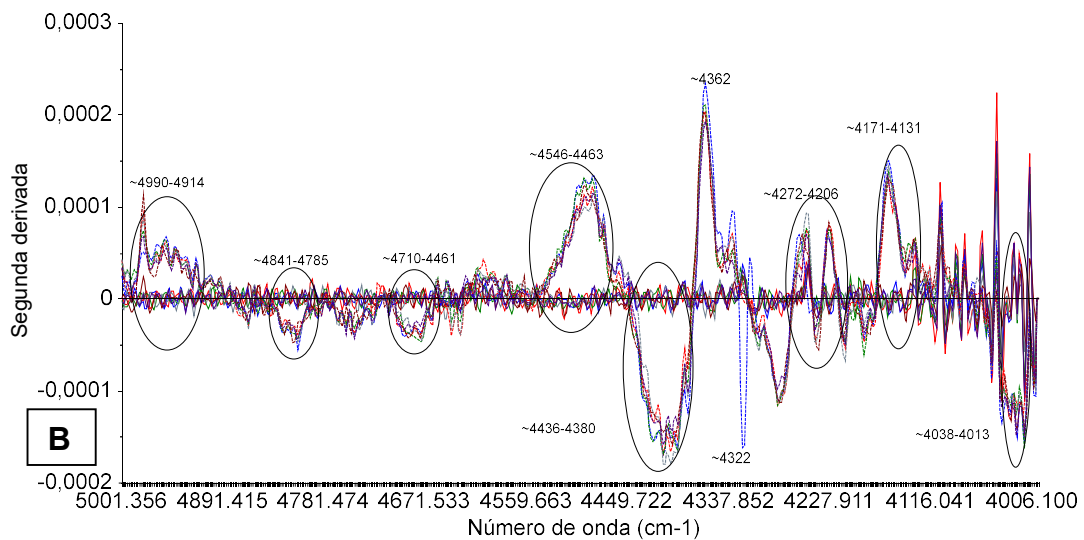
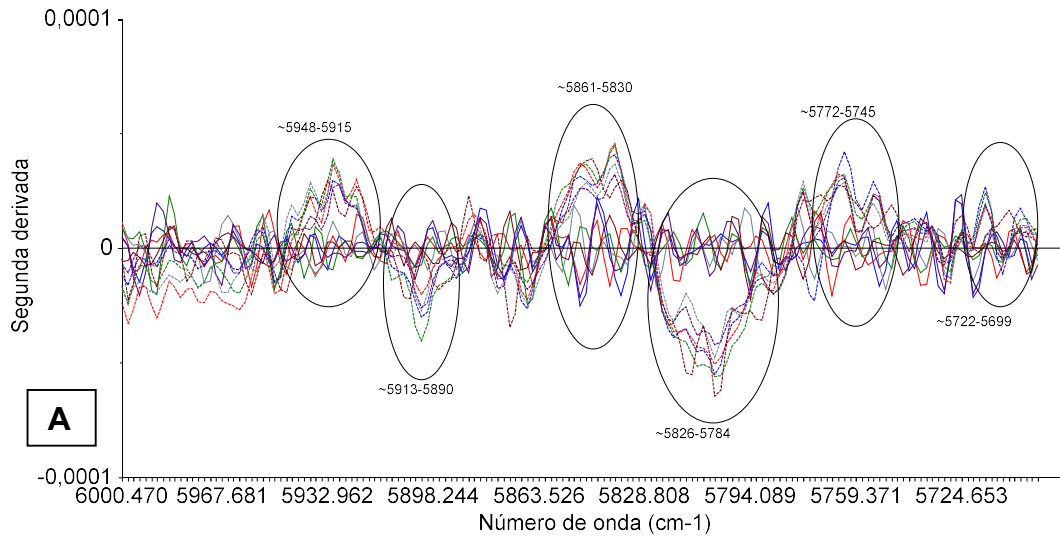


FIGURA 32 - ESPECTROS MÉDIOS DA MADEIRA E CARVÃO EM PÓ EM SEGUNDA DERIVADA

5.4 CLASSIFICAÇÃO SIMCA E PCA-LDA

Para verificar a possibilidade de utilização prática do infravermelho na discriminação das espécies da caatinga, foi efetuada uma classificação das amostras externas com 30 espectros (5 para cada espécie) para madeira maciça e 60 (10 para cada espécie) para material particulado e carvão.

O LDA foi feito com base nos scores do PCA, usando o método quadrático assumindo igual probabilidades. A (TABELA 2) mostra o percentual de classificação utilizando os dois métodos para o material maciço e em pó.

TABELA 2 CLASSIFICAÇÃO SIMCA E PCA-LDA PARA AMOSTRAS DE MADEIRA E CARVÃO, MACIÇO E EM PÓ DE SEIS ESPÉCIES DA CAATINGA.

MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO	PRÉ TRATAMENTO	CLASSIFICAÇÃO CORRETA DE AMOSTRAS DE MADEIRA (%)		CLASSIFICAÇÃO CORRETA DE AMOSTRAS DE CARVÃO (%)	
		Maciça	Pó	Maciça	Pó
SIMCA	Original	0	62	0	0
	Correção Linha Base	13	95	0	0
	Segunda derivada	90	0	0	0
PCA-LDA	Original	67	100	73	78
	Correção Linha Base	83	100	73	80
	Segunda derivada	100	83	52	27

Para a classificação SIMCA de madeira maciça somente a segunda derivada dos dados obteve uma boa classificação das amostras, apresentando desvios apenas para Jurema e Marmeleiro. Para o SIMCA das amostras em pó nos dados originais somente as espécies Catingueira, Jurema e Mufumbo foram corretamente

classificadas. Para a correção da linha base ocorreram erros apenas para o Mufumbo. As análises em segunda derivada não apresentaram discriminação.

O PCA-LDA apresentou melhores resultados. Para madeira maciça em segunda derivada foi 100% eficiente na discriminação de todas as espécies. Para madeira em pó com os dados originais e com correção da linha base, 100% das amostras foram discriminadas corretamente, em segunda derivada somente as espécies Jurema e Pau Serrote foram 100% classificadas corretamente, Pião e Marmeleiro apresentaram 90% de acerto, Mufumbo e Catingueira apresentaram assertividade de 70% e 50% respectivamente.

Para o carvão vegetal a Classificação SIMCA não apresentou discriminação. O PCA-LDA apresentou melhores resultados na discriminação do carvão em pó para os dados originais e com correção da linha base. Classificando 100% correto as espécies Jurema, Marmeleiro, Pau Serrote e Pião nos dados originais. Para os dados oriundos da correção da linha base, Marmeleiro, Mufumbo, Pau Serrote e Pião apresentaram 100% de assertividade.

O pré-processamento dos dados influenciou nos resultados, que foram diferentes para as amostras de madeira e carvão vegetal (TABELA 2). Para madeira maciça, o melhor desempenho foi com segunda derivada, enquanto para madeira em pó a correção da linha base apresentou os resultados mais satisfatórios. Para o carvão maciço e em pó os dados originais e com correção da linha base apresentaram o maior percentual de classificação correta.

A obtenção de espectros em pontos diferentes de uma dada amostra pode produzir variações, mas ainda permitem distinguir de outras amostras (BRUNNER et al., 1996). Maior amostragem é melhor para estabelecer a distribuição, uma vez que a superfície da madeira, forma e tamanho de partícula podem ter uma influência

significativa sobre a discriminação espécies por NIR (BRAGA et al. 2011, NISGOSKI et al. 2015a).

Adedipe et al. (2008), Casale et al. (2010), Braga et al. (2011), Pastore et al. (2011), Carneiro et al. (2013), Mendes (2014), Bergo (2014), Nisgoski et al. (2016), entre outros analisaram os métodos de classificação, SIMCA e Análise Discriminante, na diferenciação de espécies e obtiveram resultados variados, sofrendo influência das características do espectro, das espécies analisadas e da granulometria do material. Os autores observaram que nem sempre um único método de classificação é adequado, devendo-se levar em consideração a precisão requerida de análise.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espectroscopia no infravermelho próximo associada à Análise dos Componentes Principais mostrou-se eficiente para discriminar as seis espécies da Caatinga, com a vantagem de ser uma técnica rápida e não destrutiva, podendo ser aplicada como ferramenta auxiliar nas ações de fiscalização.

O melhor pré-tratamento para o material analisado foi a segunda derivada, sendo observado também a influência da granulometria do material.

Entre os métodos de classificação, a Análise Discriminante (LDA) foi mais eficiente para a madeira e carvão. No caso da madeira atingiu 100% de classificação correta e para o carvão 80%.

Para o carvão existe uma maior dificuldade na discriminação das espécies, sendo observada a tendência da separação, porém são necessários estudos com maior detalhamento utilizando a divisão dos espectros em partes com bandas mais contrastantes, outros pré- tratamentos ou aumento na amostragem.

REFERÊNCIAS

ADEDIPE, O. E.; DAWSON-ANDOB, B.; SLAHOR, J.; OSBORN, L. Classification of red oak (*Quercus rubra*) and white oak (*Quercus alba*) wood using a near infrared spectrometer and soft independent modeling of class analogies. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.16, n.1, p.49-57, 2008.

AGRA, M.F.; BARACHO, G.S.; NURIT, K.; BASÍLIO, I.J.; COELHO, V.P. Medicinal and poisonous diversity of the flora of "Cariri Paraibano", Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 111, p. 383-95, 2007.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. – **Theor. Appl. Climatol.** v.113, p.407–427, 2013.

ARAÚJO, E. M. P. **Técnicas espectroscópicas e quimiométricas como ferramentas na confirmação da estrutura de substâncias isoladas de produtos naturais ou obtidas por síntese.** Salvador- BA. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal da Bahia, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **E1655-05–Standard practices for infrared multivariate, quantitative analysis.** ASTM, 2012. 29p.

AZEREDO, A. M. L. **O código de barras da vida baseado no DNA “Barcoding of Life”:** Considerações e perspectivas. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2005. Disponível em: http://cria.org.br/cgee/documentos/DNAbarcoding_2005.doc. Acesso em: 15 de agosto de 2015.

BÄCHLE, H.; ZIMMER, B.; WEGENER, G. Classification of thermally modified wood by FT-NIR spectroscopy and SIMCA. **Wood Science and Technology.** v.46, n.6, p.1181-1192, 2012.

BARBOSA, L. C. A. **Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos.** Viçosa: Editora UFV, 189p, 2007.

BARBOSA, A. C. F.; PACE, M.R.; WITOVISK, L.; ANGYALOSSY, V. A new method to obtain good anatomical slides of heterogeneous plant parts. **IAWA Journals**, Utrecht, v. 31, n. 4, p. 373-383, 2010.

BERED, F.; BARBOSA, N.J.F.; CARVALHO, F. I. Marcadores Moleculares e sua Aplicação no Melhoramento Genético de Plantas. **Ciência Rural**, v.27, n.3, p.513-520, 1997.

BERGO, M. C. J. **Transferência de calibração na discriminação de mogno e espécies semelhantes utilizando NIRS e PLS-DA**. Brasília. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade de Brasília, 2014.

BEZERRA, E.F. **Código de barra de DNA como ferramenta na taxonomia de aves Amazônicas**. Manaus. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais.). Universidade do Estado do Amazonas. 2013.

BONACCORSO, N. S. **Aplicação do exame de DNA na elucidação de crimes. Mestrado em Medicina Forense**. Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, 2005.

BORBA, F. S. L. **Desenvolvimento de métodos espectroanalíticos aplicados à documentoscopia de bens culturais e alimentos**. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

BOUSLAMTI, M. A.; IRLE, M. A.; BELLONCLE, C.; SALVADOR, V.; HULOT, S.; CARON B.; QANNARI, E. M. Classification of treated wood using Fourier transform near infrared spectroscopy and multivariate data analysis. **International Wood Products Journal** v.4, n.2, p.116-121, 2013.

BRAGA, J. W. B.; PASTORE, T. C. M.; CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A.; SILVA, A. R. D. The use of near infrared spectroscopy to identify solid wood specimens of *Swietenia macrophylla* (cites appendix II). **Iawa Journal**, v.32, n.2: p.285-296, 2011.

BRERETON, R. C. **Applied Chemometrics for Scientists**. John Wiley & Sons, Inglaterra, 2007.

BRUNNER, M; EUGSTER, R; TRENKA, E; BERGAMIN-STROTZ, L. FTNIR spectroscopy and wood identification. **Holzforschung**, v.50, n.22, p.130–134, 1996.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo. Livraria Nobel S.A.1991.

CAMARGOS, J. A. A.; CZAMESKI, C. M.; MEGUERDITCHIAN, I.; OLIVEIRA, D. **Catálogo de árvores do Brasil**. IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis); Laboratório de Produtos Florestais 887p. Brasília, 1996.

CARNEIRO, M. E. **Classificação de lâminas de madeira de *Pinus* spp por espectroscopia óptica**. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2008.

CARNEIRO, M. E.; MAGALHÃES, W. L. E.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B. Classification of *Pinus* spp. veneers wood contaminated by blue stain fungi. **Revista Árvore**. v.37, n.2, p.369-375, 2013.

CASALE, M.; SCHIMLECK, L. R.; ESPEYD, C. Classification of Pernambuco (*Caesalpinia echinata* Lam.) wood quality by near infrared spectroscopy and linear discriminant analysis. **J. Near Infrared Spectroscopy**, v.18, n.6, p.435-442, 2010.

CASTILLO, R.; CONTRERAS, D.; FREER, J.; RUIZA, J.; VALENZUELA, S. Supervised pattern recognition techniques for classification of eucalyptus species from leaves nir spectra. **Journal of Chilean Chemical Society**, v.53, n.4, p.1709-1713, 2008a.

CASTILLO, R.; OTTO, M.; FREER, J.; VALENZUELA, S. Multivariate strategies for classification of *Eucalyptus globules* genotypes using carbohydrates content and NIR spectra for evaluation of their cold resistance. **Journal of Chemometrics**, v.22, n.3-4, p.268-280, 2008b.

CHASE, M. W. **The problems with plants: issues and possible solutions**. In: First International Scientific Conference on DNA Barcoding. Natural History Museum, London, 2005.

CHAVES, E. M. F.; BARROS, R. F. M.; ARAÚJO, F. S. Flora apícola do Carrasco no município de Cocal, Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 555-557, 2007.

CHEN, P.; LUTHRIA, D.; HARRINGTON, P. B. HARNLY, J. M. Discrimination among *Panax* species using spectral fingerprinting. **Journal AOAC Int**; v.94, n.5, p.1411-1421, 2011.

CORE, H.A.; CÔTÉ. W.A.; DAY, A.C. Wood structure and identification. USA: **Syracuse University Press**, p.182, 1979.

COSTION, C.; FORD, A.; CROSS, H.; CRAYN, D.; HARRINGTON, M.; LOWE, A. plant DNA Barcodes can accurately estimate species richness in poorly known floras. **Plos One**. v. 6, n.11, p. e26841, 2011.

CREMONESE, C. C. K. **Tecnologias limpas aplicadas à otimização de processo de identificação de *Candida* spp. por espectroscopia no infravermelho.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Universidade de Santa Cruz do Sul, 2013.

CSOKA, L.; ZHU, J.; TAKATA, K. Application of the Fourier analysis to determine the demarcation between juvenile and mature wood. **Journal of Wood Science**, v.51, n.3, p. 309–311, 2005.

CURY, G. **Descrição da estrutura anatômica do lenho e sua aplicação na identificação de espécies arbóreas do Cerrado e da Mata Atlântica do estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

DALLAGNOL, F. S. **Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR).** Curitiba. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2012.

DANTAS, H. V. **Triagem da qualidade de amostras de GNV e GLP usando espectrometria NIR e quimiometria.** Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal da Paraíba, 2010.

DAVRIEUX, F.; ROUSSET, P.L.A.; PASTORE, T.C.M.; MACEDO, L.A.; QUIRINO, W.F. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. **Química Nova** 33(5):1093–1097, 2010.

DAYRAT, B. “Towards integrative taxonomy.” **Biological Journal of the Linnean Society**. v.85, p.407-415, 2005.

DINIZ, P. H.G.D. **Novas estratégias para classificação simultânea do tipo e origem geográfica de chás.** Tese (Química, área de concentração Química Analítica). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2013.

DURGANTE, F.M.; HIGUCHI, N.; ALMEIDA, A.; VICENTINI, A. Species spectral signature: discriminating closely related plant species in the Amazon with Near Infrared Leaf-Spectroscopy. **Forest Ecology and Management** 291:240-248, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Preservação e uso da Caatinga**. Brasília- DF. 2007. Disponível em <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 12 de julho de 2015.

EASTY, D. B.; BERBEN, S. A. Near-infrared spectroscopy for the analysis of wood pulp: quantifying hardwood-softwood mixtures and estimating lignin content. **Tappi Journal**, v.73, n.10, p.257-261, out 1990.

EVANS, P.; HEADY, R.; CUNNINGHAM, R. Identification of yellow stringybark (*Eucalyptus muelleriana*) and silvertop ash (*E. sieberi*) wood is improved by canonical variate analysis of ray anatomy. **Australian Forestry**, v.71, n.2, p.94-99, jun, 2008.

FARIAS, M. S. Q. **Efeitos do óleo essencial do *Croton argyrophyloides* Muell. Arg. e do β -cariofileno sobre a contratilidade de anéis da aorta de ratos**. Dissertação (Mestrado em Ciências Fisiológicas). Fortaleza/CE. Universidade Estadual do Ceará. 126 p. 2006.

FERRAZ, J. S. F.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, M. V. F.; MEUNIER, I. M. J. Usos de espécies leñosas de La Caatinga Del município de Floresta em Pernambuco, Brasil: conocimiento de los índios de la aldea Travessão do Outro. **Bosque (Valdivia)**. v. 33, n. 2, p. 183-190. 2012.

FERREIRA, G. C.; GOMES, J. I.; HOPKINS, M. J. G. Estudo anatômico de espécies de Leguminosae no estado do Pará comercializadas como “angelim. **Acta Amazonica** v.34, n.3 p.387-398, 2004.

FERREIRA, P.J.S. **Análise do potencial de fotografias panorâmicas, captadas na zona do espectro visível e infravermelho próximo, para diferenciar vegetação e seu estado sanitário**. Vila Real. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação). Universidade de Trás-os- Montes e Alto Douro, 2013.

FORD, C. S.; AYRES, K. L.; TOOMEY, N.; HAIDER, N.; STAHL, J. V. A.; KELLY, L. J.; WIKSTROM, N.; HOLLINGSWORTH, P. M.; DUFF, R. J.; HOOT, S. B.; COWAN, R. S.; CHASE, M. W.; WILKINSON, M. J. Selection of candidate coding DNA Barcoding regions for use on land plants. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.159, p.1-11, 2009.

FRANÇA, R.F. **Estrutura anatômica da madeira e do carvão de espécies da caatinga e suas propriedades**. Curitiba Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 2015.

FURUMOTO, H; LAMPE, U; MEIXNER, H; ROTH, C. Infrarotanalyse zur Messung der Holzqualität. **Holz als Roh- und Werkstoff**. v.57, n.1, p.23-28, 1999.

GAMARRA-NETO, F. F.; MARINO, G.; ARAUJO, M.C. U.; GALVÃO, R. K. H.; PONTES, M. J. C.; MADEIROS, E. P.; LIMA, R. S. Classification of edible vegetable oils using square wave voltammetry with multivariate data analysis. **Talanta**, v.77. issue.5, p.1660-1666, 2009.

GASSON, P. How precise can wood identification be? Wood Anatomy's Role in Support of the Legal Timber Trade, Especially CITES. **IAWA Journal**, v. 32, e. 2, p137-154, 2011.

GOMES, M. J. S.; MENELAU, A. S.; MARQUES, M. W. C. F.; PAREYN, F. G. C.; BARROS, H. G. L. Geração de renda e o manejo florestal em assentamentos de Pernambuco. **Revista de Política Agrícola**. Ministério da Agricultura. Ano XXII, n. 4, p. 56-66. Out./Nov./Dez, 2013.

HEBERT, P. D. N.; CYWINSKA, A.; BALL, S. L.; de WAARD, J. R. Biological identifications through DNA barcodes. Proceedings of the Royal Society B: **Biological Sciences**, v.270, p.313-322, 2003.

HEIN, P.R.G.; LIMA, J.T.; CHAIX, G. Effects of sample preparation on NIR spectroscopic estimation of chemical properties of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake wood. **Holzforschung**, v. 64, n. 1, p. 45-54, 2010.

HORIKAWA, Y.; TAZURU, S. M.; SUGIYAMA, J. Near-infrared spectroscopy as potencial method for identification of anatomically similar *Japanese diploxylons*. **The Japan Wood Research Society**, v.61, p. 251-261, 2015.

HUANG, A.; ZHOU, Q.; FEI, B.; SUN, S. Study on the eucalyptus and poplar by generalized two-dimensional infrared correlation spectroscopy. **Spectroscopy and spectral analysis**, v.28, n.8, p.1749-1752, aug, 2008.

IBAMA. **Padronização da nomenclatura comercial brasileira das madeiras tropicais amazônicas**. Brasília: IBAMA, 1991.

IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Identificação Macroscópica de Madeiras**. Laboratório de Madeira e Produtos Derivados Centro de Tecnologia de Recursos Florestais, 2007.

JOHNSON, R. A. & WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1988.

KANASHIRO, M. **As diferenças entre as árvores**. Pesquisa FAPESP. 2002.

KAWANO, Y. Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho. In: Canevarolo Jr., Sebastião. Técnicas de caracterização de polímeros. São Paulo: Artliber, p.17-39, 2003.

KITANI, E. C. **Análise de discriminação linear para modelagem e reconstrução de imagem de face.** São Bernardo do Campo-SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Centro universitário FEI, 2007.

LEE, D. Y.; JEON, M.; SUH, Y.; KIM, S. H.; KIM, Y. G.; SUNG, S.H. Discrimination between *Artemisia princeps* and *Artemisia capillaris* based on near infrared spectroscopy combined multivariate analysis. **Journal of Pharmaceutical Investigation**, v.41, nº 6, p. 377-380, 2011.

LIMA, B. G. Composição florística e análise fitossociológica em duas áreas de Caatinga no centro-sul cearense. Mossoró. Tese- (Doutorado em Ciências Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semiárido, 2011.

LIMA, A.; BAKKER, J. Espectroscopia no infravermelho próximo para monitoração da perfusão tecidual. **Revista Brasileira Terapia Intensiva**. v.23, n.3, p. 341-351. Rotterdam, 2011.

LOPES, C. M. O. **Caracterização de resinas naturais e seus derivados por análise multivariada.** Dissertação (Mestrado em métodos instrumentais e controle da qualidade). Universidade de Aveiro. Programa Analítica. Aveiro-Portugal. 2008

LOPES, O. P. **Anatomia e identificação da madeira de genótipos de *Eucalyptus spp.* Plantados no estado de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, 2013.

MAIA, G. N. **Caatinga, árvores arbustos e suas utilidades.** Leitura & Arte. 2ª ed. São Paulo. 2012.

MAIA-SILVA, C. M. A.; SILVA, C. I.; HRNCIR, M.; QUEIROZ, R. T.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Guia de plantas visitadas por abelhas na Caatinga.** Fundação Brasil Cidadão, 1ª ed. 195 p. Fortaleza – CE, 2012.

MARCELO, M. C. A. **Identificação da procedência geográfica da erva mate (*Ilex paraguariensis*) mediante análise elementar, reflexão no infravermelho próximo**

e quimiometria. Dissertação mestrado em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

MARCHIORI, J.N.C. **Anatomia das madeiras do gênero Acacia, nativas e cultivadas no Estado do Rio Grande do Sul.** Curitiba. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 1990.

MEDER, R.; BRAWNER, J.T.; DOWNES, G.M.; EBDON, N. Towards the in-forest assessment of Kraft pulp yield: comparing the performance of laboratory and hand-held instruments and their value in screening breeding trials. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 19, n. 5, p. 421-429, 2011.

MELLADO-MOJICA, E.; LÓPEZ, M. G. Identification, classification and discrimination of agave syrups from natural sweeteners by infrared spectroscopy and HPAEC-PAD. **Food Chemistry**, v.167, p.349-357, 2015.

MENDES, R. A. G. **Utilização da espectroscopia em reflectância no infravermelho próximo para discriminação de espécies da família Myrtaceae.** Dissertação (Mestrado em Biologia). Universidade de Brasília, 2014.

MIDORIKAWA, Y.; FUJITA, M. Transverse shape analysis of xylem ground tissues by Fourier transform image analysis II: cell wall directions and reconstruction of cell shapes. **Journal of Wood Science**, v.51, n.3, p.209-217, 2005.

MIDORIKAWA, Y.; ISHIDA, Y.; FUJITA, M. Transverse shape analysis of xylem ground tissues by Fourier transform image analysis I: trial for statistical expression of cell arrangements with fluctuation. **Journal of Wood Science**, v.51, n.3, p.201-208, 2005.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Mapa das florestas do bioma Caatinga.** Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas?print=1&tmpl=component>. Acesso em 15/10/2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção.** Portaria 443, 2014.

MONTEIRO, T.C.; SILVA, R.V.; LIMA, J.T.; HEIN, P.R.G.; NAPOLI, A. Use of near infrared spectroscopy to distinguish carbonization processes and charcoal sources. **Cerne** v.16, n.3, p.381-390, 2010.

MOREIRA, J. M. M. A.P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n. 68, p. 363-372, abr./jun. 2011.

MORITZ, C.; CICERO, C. "DNA barcoding: Promise and Pitfalls". **PLoS Biology**, 1-October: 1529-1531. 2004.

MUNIZ, G. I. B.; CARNEIRO, M. E.; NISGOSKI, S.; RAMIREZ, M. G. L.; MAGALHÃES, W. L. E. SEM e NIR characterization of four forest species charcoal. **Wood Science and Technology**, v.1, p.10, 2013.

NERI, A. C.; GONÇALVES, R.; HERNANDEZ, R. E. Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de *Eucalyptus*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 239-244, 1999.

NICOLET. Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry, 2001. Disponível em: <http://mmrc.caltech.edu/FTIR/FTIRintro.pdf> . Acesso em 27/06/2015.

NISGOSKI, S. **Identificação e caracterização anatômica macroscópica das principais espécies utilizadas para laminação na região de Curitiba - PR**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, 1999.

NISGOSKI S.; MUÑIZ, G.I.B.; CECCANTINI, G. Caracterização anatômica macroscópica das madeiras utilizadas para laminação na região de Curitiba-PR. **Scientia Agraria (UFPR)**, Curitiba - PR, v. 4, n.1-2, p. 47-52, 2003.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Curitiba. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005.

NISGOSKI, S.; MUNIZ, G. I. B.; CARNEIRO, M. E. Influencia de la granulometria de la muestra en la discriminación de especies de *Salix* por infrarrojo cercano. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, v.17, p.195-204, 2015a.

NISGOSKI, S.; CARNEIRO, M. E.; LENGOWSKI, E. C.; SCHARDOSIN, F.Z.; MUNIZ, G. I.B. Potencial use of visible and near-infrared spectroscopy for pine species discrimination by examination of needles. **Southern Forests**, v.77, p. 1-5, 2015b.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G I. B.; MORRONE, S. R.; SCHARDOSIN, F. Z.; FRANÇA, R. F. NIR and anatomy of wood and charcoal from Moraceae and Euphorbiaceae species. **Ciência da Madeira**, v. 6(3) p.183-190, 2015c.

NISGOSKI, S.; BATISTA, F. R. R.; SCHARDOSIN, F. Z.; MUNIZ, G. I. B.; CARNEIRO, M. E. Potencial use of NIR spectroscopy to identify *Cryptomeria japonica* varieties from Southern Brasil. **Wood Science and Technology**, v.50, p. 71-80, 2016.

NOGUEIRA, F. C. B.; SILVA, J. W. L.; BEZERRA, A. M. E.; MEDEIROS FILHO, S. Efeito da temperatura e luz na germinação de sementes de *Luetzelburgia auriculata* (Alemão) Ducke – Fabaceae. **Acta Botanica Brasilica**. V. 26, n. 4, p. 772-778, Out./Dez. 2012.

NYBOM, H.; WEISING, K.; ROTTER, B. DNA fingerprinting in botany: past, present, future. **Investigative Genetics**, v.5, n.1, 2014.

OLIVEIRA, A. A. **Identificação de madeiras utilizando a espectroscopia no infravermelho próximo e redes neurais com a heurística de Levemberg-Marquardt**. Curitiba-PR. Dissertação (Mestrado Métodos Numéricos em Engenharia). Universidade Federal do Paraná, 2013.

OLIVEIRA, A. A.; SIQUEIRA, P. H.; NISGOSKI, S.; MUNIZ, G. I. B.; FERREIRA, J.H.; Identificação de madeiras utilizando a espectroscopia de infravermelho próximo e redes neurais artificiais. **TEMA**. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, v. 16, p.81-95, 2015.

PARREIRA, T. F. **Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada**. Campinas- SP. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Campinas. 2003

PASTOR-VILLEGAS, J.; MENESES, J. M. R.; PASTOR, J. F. V.; GARCÍA, M. G. Changes in commercial wood charcoals by thermal treatments. **Journal of Analytical Applied Pyrolysis** v.80, n. 2, p. 507–514, 2007.

PASTORE, T. C. M.; BRAGA, J. W. B.; CORADIN, V. T. R.; MAGALHÃES, W. L. E.; OKINO, E. Y. A.; CAMARGOS, J. A. A.; MUÑIZ, G. I. B.; BRESSAN, O. A.; DAVRIEUX, F. Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: discrimination of true magogany, cedar, andiroba and curupixá. **Holzforschung**, v.65, n.1, p.73-80, 2011.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazônica**, v.33, n.2, p. 243-262, 2003.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.40: p.437-457, 2009.

PEREIRA, A. V. **Estudo da ação dos extrativos de *Mimosa tenuiflora* (Wild). Poiret e *Piptadenia Stipulacea* (Benth) Ducke sobre cepas microbianas isoladas de mastite em búfalos**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

PEREIRA, W.A. **Calibração multivariada de misturas de óleos vegetais utilizando espectroscopia no infravermelho médio**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar) - Universidade Estadual da Paraíba, 2012.

PIETROVSKI, E.F.; ROSA, K.A.; FACUNDO, V.A.; RIOS, K.; MARQUES, M.C.; SANTOS, A.R. Antinociceptive properties of the ethanolic extract and of the triterpene 3beta,6beta,16beta-trihidroxilup-20(29)-ene obtained from the flowers of *Combretum leprosum* in mice. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v. 83, p. 90-99, 2006.

POLETO, M.; ZATTERA, A.J.; FORTE, M.M.C.; SANTANA, R.M.C. Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size. **Bioresource Technology**, v.109, p. 148–153, 2012.

POPESCU, C.M. *et al.* Vibrational spectroscopy and X-ray diffraction methods to establish the differences between hardwood and softwood. **Carbohydrate Polymers**, v.77, n.4, p.851-857, 2009.

PRADO, D.E. **As caatingas da América do Sul**. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. (Eds.) *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Editora Universitária da UFPE. p.3-74, 2003.

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da caatinga**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009.

RANA, R.; MUELLER, G.; NAUMANN, A.; POLLE, A. FTIR spectroscopy in combination with principal component analysis or cluster analysis as a tool to distinguish beech (*Fagus sylvatica* L.) trees grown at different sites. **Holzforschung**, v.62, n.5, p.530-538, sep, 2008.

RIBEIRO, L.F. **Uso de espectroscopia no infravermelho e análise multivariada para previsão de ácidos graxos em linhaça dourada e marrom**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, 2012.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética. In: Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. **Serviço Florestal Brasileiro**, p. 65-75. Brasília (DF), 2010.

RIET-CORREA, F.; MEDEIROS, R. M. T.; DANTAS, A. F. M. **Plantas Tóxicas da Paraíba**. Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Patos, PB. Ed. SEBRAE/PB. p. 58. 2006.

RODAL, M.J.N., F.R. MARTINS, E E.V.S.B. SAMPAIO. Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de caatinga em Pernambuco. **Revista Caatinga**, p. 192-200, 2008.

RUSS, A.; FIRESOVA, M.; GIGAC, J. Preliminary study of wood species identification by NIR spectroscopy. **Wood Research**, v. 54, n.4, p. 23-32, 2009.

SABIN, J. G; FERRÃO, M. F; FURTADO, J. C. Análise multivariada aplicada na identificação de fármacos antidepressivos. Parte II: Análise por componentes principais (PCA) e o método de classificação SIMCA. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**. v. 40, n. 3, jul./set., 2004.

SAMPAIO, E. C. S. B. Características e potencialidades. In: Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. **Serviço Florestal Brasileiro**, 368p. p. 29-48. Brasília (DF). 2010.

SANDAK, A.; SANDAK, J.; NEGRI, M. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber. **Wood Science and Technology**, v. 45, n.1, p. 35-48, 2011.

SANTOS, M. J.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Biologia reprodutiva de duas espécies de *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) em Caatinga, Nordeste do Brasil. **Revista Brasil. Bot.** V. 28, n. 2, p. 361-373, abr.-jun. 2005.

SANTOS, M.F.P. **Desenvolvimento e validação de métodos de espectroscopia no infravermelho próximo e médio para caracterização de lamas de ETAR para uso agrícola**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica). Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

SAUER, E. **Desenvolvimento de metodologias multivariadas para análise de queijos por espectroscopia DRIFT**. Tese (Doutorado em Química) Universidade Federal do Paraná, p. 157, 2007.

SCAFI, S.H.F. **Sistema de monitoramento em tempo real de destilações de petróleo e derivados empregando a espectroscopia no infravermelho próximo**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas UNICAMP. Campinas. 2005.

SCHARDOSIN, F. Z. **Identificação botânica de amostras de madeiras baseados na região do ITS (rDNA) associado à anatomia da madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 2015.

SCHIMLECK, L. R.; MICHELL, A. J.; VINDEN, P. Eucalyptus wood classification by NIR spectroscopy and principal components analysis. **Appita Journal**, v.49, p.319–324, 1996.

SCHIMLECK, L.R.; ESPEY, C.; MORA, C.R.; EVANS, R.; TAYLOR, A.; MUÑIZ, G.I.B. Characterization of the wood quality of pernambuco (*Caesalpinia echinata* Lam.) by measurements of density, extractives content, microfibril angle, stiffness, color and NIR spectroscopy. **Holzforschung**, v.63,p.457-463, 2009.

SCHISTEK, H. Caatinga, um bioma desconhecido e a “Convivência com o Semi Árido”, **Revista do Instituto Humanitas Unisinos**, Ed 389 p.6-8, 2012.

SCHWANNINGER M, RODRIGUES J, FACKLER K. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. **Journal Near Infrared Spectroscopy**, 2011.

SEYFFARTH, J.A. Semiárido o bioma mais diverso do mundo, **Revista do Instituto Humanitas Unisinos**, v. 389, p. 9-10. 2012.

SILVA, R.C.V.M. **Coleta e Identificação de Espécimes Botânicos**. Embrapa Amazônia Oriental, Doc. 143. Belém, 2002.

SILVA, L.B; SANTOS, F.A.R; GASSON, P; CUTLER, D. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil. **Acta Botânica Brasileira**. v.23, n.2, p.436-445. 2009.

SIESLER, H. W; OZAKI, Y.; KAWATA, S.; HEISE, M. Near Infrared Spectroscopy: Principle, Instrumentation and Applications. John Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2002.

SO, C. L.; EBERHARDT, T. L. Rapid analysis of inner and outer bark composition of Southern Yellow Pine bark from industrial sources. **Holz als Roh – und Werkstoff**, v.64, n.6, p.463-467, 2006.

SOARES, W.F; MELO, L. E. L.; LISBOA, P. L. B. Anatomia de cinco espécies de madeira comercializada como 'sucupira'. **Floresta e Ambiente** v.21, n.1,p. 114-125, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 719p, 2004.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Conhecimento sobre plantas lenhosas da caatinga: lacunas geográficas e ecológicas**. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, p. 101-111, 2004.

TSUCHIKAWA, S.; INOUE, K.; NOMA, J.; HAYASHI, K. Application of near-infrared spectroscopy to wood discrimination. **Journal of Wood Science**, v.49, n.1, p. 29-35, 2003a

TSUCHIKAWA, S.; YAMATO, K.; INOUE, K. Discriminant analysis of wood-based materials using near-infrared spectroscopy. **Journal of Wood Science**, v.49, n.3, p.275-280, 2003b.

TSUCHIKAWA, S.; SIESLER, H. W. Near-Infrared spectroscopy monitoring of the diffusion process of deuterium-labeled molecules in wood. Part I. Softwood. **Applied Spectroscopy** v.57, p.667, 2003.

TSUCHIKAWA, S.; SCHWANNINGER, M. A review of recent near-infrared research for wood and paper (Part 2). **Applied Spectroscopy Reviews** v.48, p.560-587, 2013

VASCONCELOS, F. J. DE; SILVA, A. C.; FREITAS, J. A. Deposição de sílica e cristais no xilema de espécies tropicais da família Caesalpiniaceae. **Revista Árvore**. v.17, n. 3, 1993.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Eco regiões propostas para o bioma Caatinga**. Associação Plantas do Nordeste. Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil. 76p. 2002.

VERAS, G.; BRITO, A. L. B.; SILVA, A. C.; SILVA, P.; COSTA, G. B.; FÉLIX, L. C. N.; FERNANDES, D. D. S.; FONTES, M. M. Classificação de Biodiesel na região do visível. **Química Nova**, p.1- 4, 2011

YANG, Z.; ZHANG, M.; PANG, X.; LV, B. Classification of decorative Paper using differential reflection spectrophotometry coupled with soft independent modeling of class analogy. **BioResources** v.9121, p.2521-2528, 2014.

YAZDANI, M.G.; HAMIZAN, M., SHUKUR, M.N. Investigation of the fuel value and the environmental impact os selected wood samples gathered from Brunei Darussalam. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v16, p.4965-4969, 2012.

YONENOBU, H.; TSUCHIKAWA, S. Near infrared spectroscopic comparison of antique and modern wood. **Applied Spectroscopy**, v.57, n.11, p.1451–1453, 2003.

ZENID, G.J. **Identificação e grupamento das madeiras serradas empregadas na construção civil habitacional na cidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeiras). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1997.

ZENID, G.J. Comercialização de madeiras no Brasil: a importância da correta identificação das espécies. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Jeronimo Monteiro, Ed. Suprema. p.73-97, 2008.

ZHANG, X.; YU, H.; LI, W.J.; LI, X.; BAO, C. Discrimination of *Pinus yunnanensis*, *P. kesiya* and *P. densata* by FT-NIR. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**,v.6, n.4, p.142-149, 2014.