

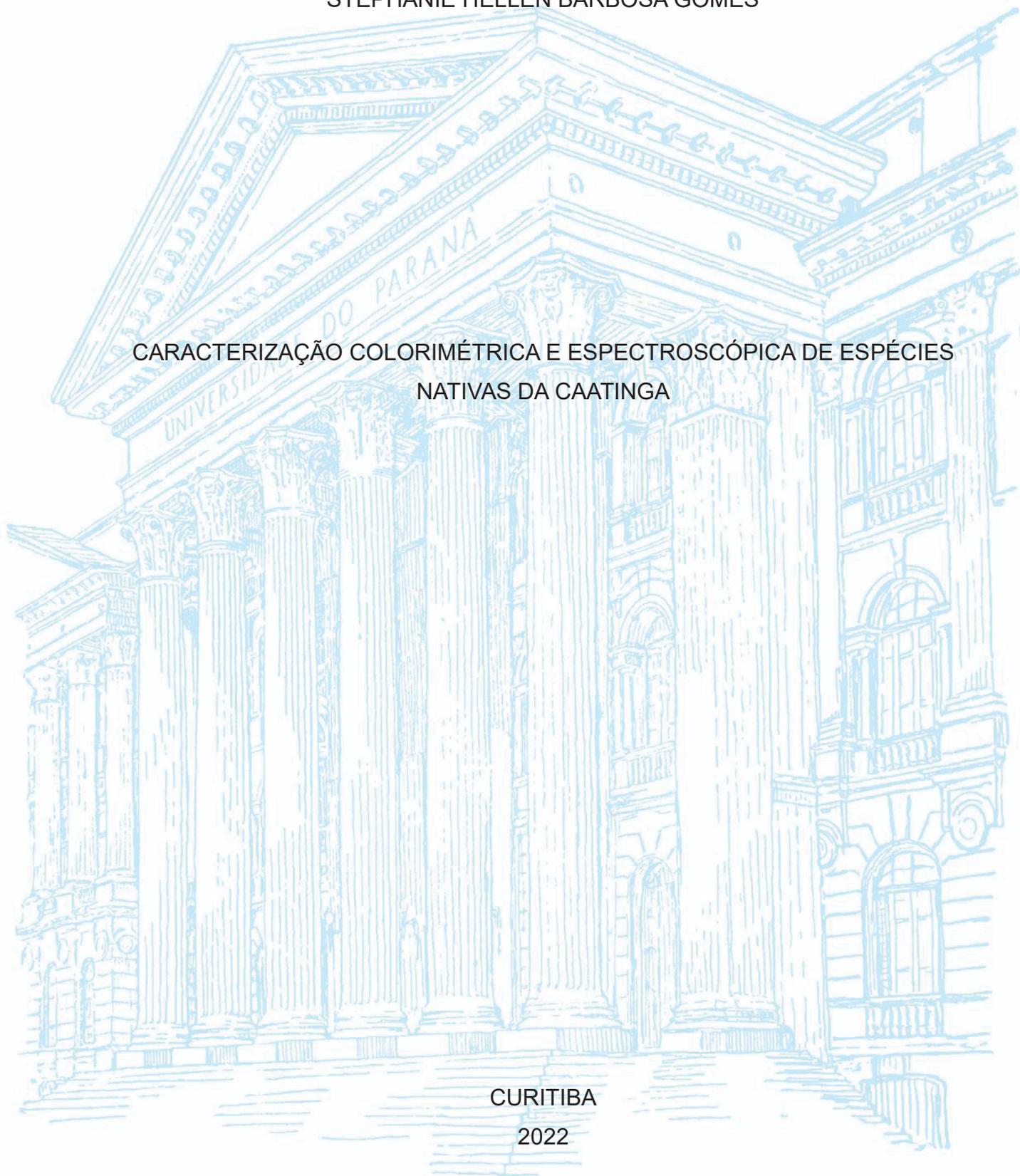
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

STEPHANIE HELLEN BARBOSA GOMES

CARACTERIZAÇÃO COLORIMÉTRICA E ESPECTROSCÓPICA DE ESPÉCIES  
NATIVAS DA CAATINGA

CURITIBA

2022



STEPHANIE HELLEN BARBOSA GOMES

CARACTERIZAÇÃO COLORIMÉTRICA E ESPECTROSCÓPICA DE ESPÉCIES  
NATIVAS DA CAATINGA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientadora:

Profa. Dra. Graciela Inés Bolzon de Muñiz

Coorientadoras:

Profa. Dra. Silvana Nisgoski;

Profa. Dra. Rosimeire Cavalcante dos Santos.

CURITIBA

2022

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

Gomes, Stephanie Hellen Barbosa

Caracterização colorimétrica e espectroscópica de espécies nativas da caatinga / Stephanie Hellen Barbosa Gomes. - Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Orientador: Profa. Dra. Graciela Inés Bolzon de Muñiz

Coorientadores: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Profa. Dra. Rosimeire Cavalcante dos Santos

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 12/04/2022.

Área de concentração: Tecnologia e utilização de produtos florestais.

1. Plantas da caatinga - Brasil, Nordeste. 2. Plantas da caatinga - Identificação. 3. Madeira - Identificação. 4. Colorimetria. 5. Espectroscopia de infravermelho. 5. Teses. I. Muñiz, Graciela Inés Bolzon de. II. Nisgoski, Silvana. III. Santos, Rosimeire Cavalcante dos. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.811

634.0.811(812)

Bibliotecária: Marilene do Rocio Veiga - CRB 9/424



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA  
FLORESTAL - 40001016015P0

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **STEPHANIE HELLEN BARBOSA GOMES** intitulada: **CARACTERIZAÇÃO COLORIMÉTRICA E ESPECTROSCÓPICA DE ESPÉCIES NATIVAS DA CAATINGA**, sob orientação da Profa. Dra. GRACIELA INES BOLZON DE MUNIZ, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 12 de Abril de 2022.

Assinatura Eletrônica

12/04/2022 16:39:52.0

GRACIELA INES BOLZON DE MUNIZ

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

13/04/2022 08:23:46.0

LÍVIA CÁSSIA VIANA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS)

Assinatura Eletrônica

12/04/2022 17:45:57.0

MAYARA ELITA CARNEIRO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico este trabalho aos meus pais, Heliza Christina Fernandes Gomes e Eduardo Barbosa da Silva, e aos meus avós Helena Maria Fernandes Gomes, Antônio de Lima Gomes, Maria Sabino da Silva e Miguel Barbosa da Silva.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Nossa Senhora, por me permitir vivenciar essa experiência e por ter colocado pessoas maravilhosas no meu caminho que me ensinaram a acreditar em um mundo melhor e por me encorajar a prosseguir. Obrigada por sempre me cobrir com seu manto.

Agradeço à minha família, em especial meus avós (Helena, Antônio, Maria e Miguel), meus pais (Heliza e Eduardo) e meu namorado, Illgner Rodrigues, pelo apoio, incentivo, carinho e ensinamentos em todos os momentos da minha vida. Por acreditarem em mim, e não medirem esforços para a concretização dos meus sonhos. Sem vocês a conclusão desse ciclo não seria possível. Vocês foram minha inspiração, meu equilíbrio e porto seguro nos momentos de tribulação. Amo vocês!

Às minhas amigas, família que tive a graça de ter durante o período de mestrado, residindo em outro município, minha “mãe” Kyvia Pontes e minha irmãzinha Fernanda Moura. Obrigada pelo companheirismo, pelo apoio, pelos risos, por todos os momentos que vivemos juntos no Ap. 05.

Gratidão às minhas orientadoras, Professora Dra. Silvana Nisgoski e Professora Dra. Graciela Muñiz pela imensa paciência que tiveram principalmente nesse período final. Vocês são exemplos de profissionais, obrigada pela dedicação diária que tiveram comigo. Agradeço também a Eliane Lopes por todos os abraços e acolhimento diário no laboratório.

Aos meus colegas de pós-graduação, às pessoas externas com quem criei um laço durante esse período.

À Universidade Federal do Paraná, e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, pela infraestrutura e suporte.

Ao proprietário e os funcionários da Fazenda Riacho do Cabra, localizado em Santa Cruz/RN.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada!

“A biologia vê o certo e o errado como a mesma cor sob uma luz diferente.”

(Delia Owens, 2018)

## RESUMO

Considerando a importância da identificação correta para melhor conservação e fiscalização dos órgãos ambientais estaduais e federais, esta dissertação tem como objetivo analisar o potencial da colorimetria e espectroscopia VIS/NIR para discriminar espécies florestais nativas da caatinga. As espécies foram coletadas no município de Santa Cruz, estado do Rio Grande do Norte, sendo elas *Anadenanthera colubrina* (Angico - ANG); *Cenostigma pyramidale* (Catingueira - CAT); *Capparidastrium frondosum* (Feijão Bravo - FEB); *Commiphora leptophloeos* (Imburana - IMB); *Mimosa tenuiflora* (Jurema Preta - JUP); *Manihot baccata* (Maniçoba - MAN); *Guapira* sp. (Pau mole - PAM); e *Aspidosperma pyifolium* (Pereiro - PER). De cada espécie selecionada foram derrubadas três árvores e retirados discos ao longo do fuste. Os dados colorimétricos foram obtidos em um espectrofotômetro CM-5, e os testes estatísticos utilizados foram o de Lilliefors e Cochran, para normalidade e homogeneidade, respectivamente. Para os dados com distribuição normal foi realizado o teste de Tukey, nos casos em que a distribuição se apresentava como anormal, os dados foram analisados pelo teste de Kruskal Wallis, ambos com nível de significância de 95%. Os espectros de infravermelho próximo da casca foram obtidos em um espectrômetro Bruker Tensor 37 e as análises foram efetuadas no software Unscrambler X (versão 10.1). Para verificar agrupamento ou distinção das espécies pelo espectro visível (madeira) e infravermelho (casca) foi efetuada uma análise exploratória visual com base nos gráficos de *scores* e *loadings* da Análise de Componentes Principais (PCA). Para testar a utilização prática dos espectros na discriminação das espécies, foram testados a Análise Linear Discriminante (LDA) e *Support Vector Machine with Radial Basis Function Kernel* (SVM) com 66% dos dados para a construção do modelo e 33% para validação externa. Os resultados mostram a variação da cor das madeiras e que a colorimetria é uma técnica com potencial para distinção das espécies. A espectroscopia no infravermelho próximo da casca, associada com análise multivariada, tem potencial para discriminar espécies da caatinga baseados em espectros de segunda derivada. SVM teve melhor desempenho que LDA para classificação, com acerto de 95,83%.

Palavras-chave: distinção de espécies, espectroscopia VIS/NIR, madeira, casca.

## ABSTRACT

Considering the importance of correct identification for better conservation and inspection by state and federal environmental agencies, this dissertation aims to analyze the potential of colorimetry and VIS/NIR spectroscopy to discriminate native caatinga forest species. Species were collected in the municipality of Santa Cruz, Rio Grande do Norte state, being *Anadenanthera colubrina* (Angico - ANG); *Cenostigma pyramidale* (Catingueira - CAT); *Capparidastrium frondosum* (Feijão Bravo - FEB); *Commiphora leptophloeos* (Imburana - IMB); *Mimosa tenuiflora* (Jurema Preta - JUP); *Manihot baccata* (Maniçoba - MAN); *Guapira* sp. (Pau mole - PAM); e *Aspidosperma pyifolium* (Pereiro - PER). From each selected species, three trees were felled and discs were removed along the stem. The colorimetric analysis was performed with a CM-5 spectrophotometer, and the statistical tests used were Lilliefors and Cochran, for normality and homogeneity, respectively. For data with normal distribution, the Tukey test was performed; in cases where the distribution was abnormal, the data were analyzed by the Kruskal Wallis test, both with a 95% significance level. Near infrared spectra from bark were obtained in a Bruker Tensor 37 spectrometer, and the analyses were performed in the Unscrambler X software (version 10.1). To verify grouping or distinction of the species based on visible spectra (wood) and near infrared (bark), a visual exploratory analysis was performed based on scores and loadings graphs of the Principal Component Analysis (PCA). To verify practical use of spectra in species discrimination, Linear Discriminant Analysis (LDA) and Support Vector Machine with Radial Basis Function Kernel (SVM) were tested with 66% of the data for model building and 33% for external validation. Results indicate color variation in wood and that colorimetry is a technique with potential of species distinction. Near infrared spectroscopy of bark, associate with multivariate analysis, showed potential to discriminate caatinga species based on second derivative spectral analysis. SVM had a better performance than LDA in external classification, with correct results of 95,83%.

Keywords: species distinction, VIS/NIR spectroscopy, wood, bark.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCAL DE COLETA DAS ÁRVORES.....	29
FIGURA 2 - ESQUEMA DE RETIRADA DOS DISCOS AO LONGO DO FUSTE.....	30
FIGURA 3 - IMAGEM DAS CASCAS DAS ESPÉCIES DA CAATINGA: ANGICO (A), CATINGUEIRA (B) FEIJÃO-BRAVO (C), IMBURANA (D), JUREMA PRETA (E), MANIÇOBA(F), PAU-MOLE (G) E PEREIRO (H).....	32
FIGURA 4 - IMAGEM DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DA CAATINGA: ANGICO (A), CATINGUEIRA (B) FEIJÃO-BRAVO (C), IMBURANA (D), JUREMA PRETA (E), MANIÇOBA(F), PAU-MOLE (G) E PEREIRO (H).....	33
FIGURA 5 - AMOSTRAGEM PARA OBTENÇÃO DOS DADOS COLORIMÉTRICOS.....	34
FIGURA 6 - VARIAÇÃO NOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.....	37
FIGURA 7 - CURVA MÉDIA DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.....	45
FIGURA 8 - CURVA MÉDIA DE REFLECTÂNCIA ENTRE CERNE E ALBURNO DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.....	46
FIGURA 9 - GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM OS ESPECTROS VISÍVEIS MÉDIOS POR DISCO (A), APENAS DO CERNE (B) E APENAS DO ALBURNO (C), POR ALTURA NO FUSTE DE ESPÉCIES DA CAATINGA.....	48
FIGURA 10 - ESPECTROS NIR MÉDIOS ORIGINAIS DA CASCA DE ESPÉCIES DA CAATINGA.....	51
FIGURA 11 - GRÁFICO DE SCORES DA PCA COM ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DA CASCA DE ESPÉCIES DA CAATINGA.....	52

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DADOS DENDROMÉTRICOS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	31
TABELA 2 – PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E CLASSIFICAÇÃO DA COR DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.....	39
TABELA 3 - CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DO CERNE E ALBURNO DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.....	41
TABELA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS E VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DAS ESPÉCIES DA CAATINGA. ....	44
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO CORRETA NA PREDIÇÃO EXTERNA DOS MODELOS LDA E SVM COM BASE NOS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA CAATINGA.....	49
TABELA 6 - MATRIZ DE CONFUSÃO NA CLASSIFICAÇÃO EXTERNA COM BASE NO MODELO LDA DOS ESPECTROS NIR DA CASCA EM SEGUNDA DERIVADA NA REGIÃO DE 4000-5100 + 5500-7000 $\text{cm}^{-1}$ .....	53
TABELA 7 - MATRIZ DE CONFUSÃO NA CLASSIFICAÇÃO EXTERNA COM BASE NO MODELO SVM DOS ESPECTROS NIR DA CASCA EM SEGUNDA DERIVADA NA REGIÃO DE 4000-5100 + 5500-7000 $\text{cm}^{-1}$ .....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

- CIE - Comissão Internacional de Iluminantes.
- CITES - Convenção sobre Comércio Internacional de espécies Ameaçadas de Extinção.
- DAP - Diâmetro à altura do peito.
- LDA - *Linear Discriminant Analysis* – Análise Linear Discriminante.
- NIR - Espectroscopia no infravermelho próximo.
- PCA - *Principal Component Analysis* – Análise de Componentes Principais.
- SVM - *Support Vector Machine*.
- UNODC - *United Nations Office on Drugs and Crime*.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS .....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	EXTRAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS .....	18
2.2	FLORESTAS TROPICAIS SECAS .....	21
2.3	COR DA MADEIRA .....	24
2.4	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO .....	27
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.1	MATERIAL.....	29
3.2	MÉTODOS .....	33
3.2.1	COLORIMETRIA E ESPECTROSCOPIA NO VÍSEL.....	33
3.2.2	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR).....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
4.1	COLORIMETRIA E ESPECTROSCOPIA NO VÍSEL.....	37
4.2	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO DA CASCA.....	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
	REFERÊNCIAS .....	57

## 1 INTRODUÇÃO

A exploração e comercialização de madeiras ilegais contribuem para o crescimento contínuo das taxas de desmatamento nas florestas tropicais, tanto nas florestas úmidas como nas florestas secas. Atualmente, respeitando a legislação vigente de cada país, existe um interesse de várias instituições internacionais, como a Convenção Internacional para o comércio de espécies ameaçadas da fauna e da flora (CITES) para minimizar a comercialização principalmente exportação de madeira ilegal. Tal esforço tem como finalidade controlar, proibir ou desmotivar a exploração seletiva de espécies florestais ou de uma área específica explorada.

Para que ocorra o manejo sustentável e, conseqüentemente uma comercialização legal, é necessária uma identificação correta das espécies, o que requer um alto nível de conhecimento taxonômico para a fiscalização dos órgãos ambientais estaduais e/ou federais, confirmação por especialistas e presença de material reprodutivo das espécies arbóreas (MORAIS et al., 2018).

A identificação de espécies de árvores se inicia em campo, na realização dos inventários florestais que é uma atividade fundamental para o manejo florestal e conseqüentemente exploração madeireira. Em campo, as árvores são frequentemente identificadas por 'mateiros', pessoas da região sem treinamento formal que as identificam com o conhecimento obtido empiricamente, a partir de características morfológicas, como forma do tronco, tipo e textura da casca, cor da madeira, a presença ou ausência de exsudatos, odor e outras características vegetativas. Os resultados dessas observações são os nomes populares que podem gerar nomes científicos incertos.

As florestas tropicais sazonalmente secas são uma meta-comunidade global, encontradas em áreas de baixa precipitação anual e alta sazonalidade (PENNINGTON et al. 2009). Essas florestas compõem um dos biomas tropicais mais ameaçados do mundo, sofrendo severamente de pressões antrópicas, mudanças climáticas e conversão de floresta em agricultura ou em pastagem (LEAL et al. 2017).

O bioma predominante do nordeste do Brasil abriga o maior núcleo de floresta tropical sazonalmente seca, denominado caatinga. Abriga pelo menos 3347 espécies, 962 gêneros e 153 famílias de plantas, sendo 43,7% destas de componentes lenhosos. As principais famílias dos componentes lenhosos são: Fabaceae, Myrtaceae, Euphorbiaceae, Rutaceae, Malvaceae, Rubiaceae e Bignoniaceae. Os

principais gêneros são: *Croton*, *Mimosa*, *Chamaecrista*, *Senna* e *Eugenia* (FERNANDES; CARDOSO; QUEIROZ, 2020). A lista de espécies ameaçadas é extensa, mas no estado do Rio Grande do Norte, as principais são *Myracrodunon urundeuva* M. Allemão (aroeira-do-sertão) e a *Schinopsis brasiliensis* Engl. (Braúna) (MARTINELLI; MORAES, 2013; BRASIL, 2014b). Por muito tempo predominou o conhecimento de que o bioma caatinga era pobre em diversidade e de espécies endêmicas e poucos esforços foram desenvolvidos para estudar sua flora, tornando a vegetação brasileira menos conhecida e mais ameaçada (MORO et al., 2015).

Na região da Caatinga, pequenos produtores e indústrias de pequeno e médio porte utilizam os recursos naturais como fonte primária, principalmente para energia. Cerca de 80 % da área de vegetação nativa da caatinga já foi desmatada para abrigar áreas de pastagens, agricultura e até mesmo para fornecer lenha e carvão vegetal. Essas ações humanas desordenadas além de provocar mudanças climáticas, influenciam a desertificação das áreas (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015). Com isso, o conhecimento das espécies além de ser importante para determinação do uso final da madeira, também ajuda na conservação e manejo das florestas secas, contribuindo para o reconhecimento das espécies nativas em postos de fiscalização e assim legalidade.

No Brasil, a comercialização e transporte de madeira de origem nativa de qualquer bioma só é possível com o documento de origem florestal (DOF) emitido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Na situação da caatinga, além do DOF é necessário que a lenha seja proveniente de um plano de manejo florestal ativo.

Frequentemente as espécies da caatinga são transportadas e comercializadas na forma de lenha, sendo assim sua identificação fica restrita à casca e à madeira. A casca apresenta uma elevada variabilidade natural que através dos métodos tradicionais dificulta a identificação, podendo apresentar, por exemplo, o mesmo padrão de textura em diferentes espécies (BRESSANE et al., 2018). A identificação da madeira geralmente é realizada pelo método de inspeção visual, através da macroscopia ou microscopia óptica ou eletrônica, consistindo na análise de suas estruturas anatômicas (SOUZA; CAMARGOS, 2014). Sendo assim, os métodos convencionais podem ser demorados, onerosos, destrutivos e necessitam de uma elevada experiência do profissional.

Algumas novas tecnologias prometem mudar muito a forma como as espécies arbóreas são identificadas e reconhecidas tais como: espectroscopia de massa, determinação de isótopos estáveis, radiocarbono, técnicas com DNA, espectroscopia no infravermelho próximo e visível. No caso da espectroscopia VIS/NIR, é necessário utilizar análises quimiométricas e já existem trabalhos com o intuito de discriminação de espécies vegetais em florestas tropicais usando espectros obtidos de folhas secas, galhos, madeira e também casca.

A colorimetria é uma técnica que surgiu com o objetivo de descrever quantitativamente a cor através de parâmetros de cores do sistema CIELAB. A cor é uma característica macroscópica da madeira, sendo ela a primeira informação obtida em uma observação, podendo ser o primeiro indicador de identificação da espécie de acordo com o conhecimento do observador. Dessa forma a classificação visual está associada a impressões pessoais gerando uma avaliação subjetiva. Essa subjetividade, na prática pode determinar o uso final e o valor comercial de algumas espécies (MALIK et al., 2018) e por meio dessa característica também é possível valorizar espécies pouco conhecidas, fazendo uma analogia com outras espécies tradicionais.

A espectroscopia de infravermelho próximo é uma técnica recomendada pela lista de novas metodologias forenses para identificação de madeira publicada pela UNODC (em inglês *United Nations Office on Drugs and Crime*). É uma técnica não destrutiva, rápida, econômica e não requer pré-tratamento das amostras, nem conhecimento prévio da anatomia e sim um banco de dados robusto para discriminar as espécies. Pode ser aplicada em todas as partes da planta como folhas, galhos, casca e madeira. Pesquisas com o uso dessa ferramenta para discriminar espécies da Amazônia e da Mata Atlântica levam a pergunta que origina essa dissertação: essa técnica também pode ser aplicada a espécies da caatinga?

## 1.1 OBJETIVOS

Considerando a importância da identificação correta para melhor conservação e fiscalização dos órgãos ambientais estaduais e federais, esta dissertação tem como objetivo geral analisar o potencial da colorimetria e espectroscopia VIS/NIR para caracterizar e discriminar espécies florestais nativas da caatinga, sendo uma forma de contribuir com informações sobre as espécies e controlar o comércio ilegal de nativas na região.

Como objetivos específicos têm-se:

- Avaliar a variação dos parâmetros colorimétricos da madeira entre as espécies da caatinga e também entre cerne e alburno de cada espécie;
- Avaliar a influência dos parâmetros dendrométricos na cor da madeira das espécies da caatinga;
- Avaliar a curva de reflectância no visível da madeira entre as espécies e também entre cerne e alburno de cada espécie;
- Discriminar a madeira de espécies da caatinga através do espectro de reflectância no visível, por análise multivariada;
- Discriminar as espécies da caatinga por espectroscopia no infravermelho próximo através de espectros da casca, por análise multivariada.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 EXTRAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS

A importância da conscientização atual sobre o desmatamento decorre da crescente percepção de que o desaparecimento das florestas terá impactos que vão além das fronteiras nacionais. Globalmente, o desmatamento responde por quase 20% das emissões anuais de gases de efeito estufa, sendo a maior parte proveniente do desmatamento de florestas tropicais (BURGESS et al., 2012). As florestas tropicais são os ambientes com maior biodiversidade do planeta e seu desaparecimento gera uma extinção em massa de espécies prejudicando as gerações futuras.

O termo extração ilegal de madeira é normalmente associado à exploração de madeira ilegal, mas também abrange o comércio das mesmas incluindo a comercialização, transporte e processamento violando as leis internacionais, nacionais e regionais. Os tipos de ilegalidade são o corte em áreas protegidas, a exploração de espécies ameaçadas de extinção, protegidas por leis nacionais ou pela Convenção sobre Comércio Internacional de espécies Ameaçadas de Extinção (CITES), exploração de áreas e florestas sem a autorização e obtenção de licenças através de suborno, o transporte ou exportação sem aplicação de impostos adequados ou sem a documentação adequada, pagamento ou documentação e declaração incorreta de espécies. Como visto, o comércio ilegal de madeira é uma questão complexa, que envolve fraude, lavagem de dinheiro e corrupção, e é uma atividade que geralmente envolve muitas pessoas em diferentes locais (INTERPOL, 2019).

A exploração ilegal de madeira não ameaça apenas espécies individuais, mas ecossistemas inteiros e seus impactos negativos vêm cada vez mais sendo reconhecidos como um grande problema ambiental, social e econômico pelos governos de países produtores e consumidores de madeira como também pelas instituições internacionais relacionadas (INTERPOL, 2014). O comércio ilegal causa danos às comunidades locais e causa prejuízos aos países produtores de aproximadamente bilhões de dólares por ano (BURGESS et al., 2012). A Interpol afirma através de estudos que a exploração ilegal da madeira é responsável por 50 a 90% de todo o volume explorado nos países tropicais e no mundo, esse percentual é

de 15 a 30% de madeira ilegal e estima-se que o valor econômico dessa extração ilegal da madeira equivale a US\$ 51-152 bilhões por ano (INTERPOL, 2019).

Muitas espécies que estão ameaçadas de extinção, tendo sua exploração proibida, são encontradas no mercado ilegal. Seja espécie de alto valor ou baixo valor, a exploração inadequada pode levar a efeitos ambientais negativos, tais como a exposição ao solo e subsequente erosão, que altera as vias navegáveis e contribui para inundações e deslizamentos de terra (DEGEN et al., 2013). Para minimizar os danos causados pela extração e comercialização de madeira ilegal, o ideal seria monitorar a perda de florestas em uma base regional, devido à falta de clareza sobre a extração de madeira ou a extração feita através de autorizações falsas. Essa fiscalização regional facilitaria o comércio nacional e até o internacional (NELLEMANN et al., 2016).

Embora nos últimos anos tenha ocorrido uma crescente preocupação com a silvicultura sustentável, apenas 8% das florestas do mundo são certificadas como manejadas de maneira sustentável, com mais de 90% dessas florestas localizada na América do Norte e na Europa (FEDOROV et al., 2017). Ou seja, esses programas não são eficientes para as florestais nativas, principalmente as florestas tropicais que são as mais atingidas com o desmatamento e manejo inadequado. O que ocorre é que o principal objetivo desses programas são promover apenas o comércio sustentável, eles não são projetados para combater o crime organizado e não são eficazes no combate à extração ilegal de madeira, corrupção e lavagem de dinheiro. Para isso são necessários outros incentivos e subsídios para combater essas atividades em florestas nativas, medidas que sejam eficientes para aumentar os lucros da extração de madeira legal e elevar os riscos da atividade ilegal (SMELBY; HENRIKSEN; NELLEMAN, 2016).

Esses programas, apesar de serem ainda ineficientes para a floresta nativa, provocam um aumento na pressão sobre a identificação e procedência do material, buscando garantias de que o produto de madeira comercializado foi colhido de maneira sustentável e de acordo com as leis do país de origem. Quase todas essas regras exigem que os importadores declarem o país de origem da colheita e os nomes de todas as espécies. Para atingir esses objetivos, são necessários mecanismos práticos para identificar as espécies e a origem da madeira e produtos de madeira (RUFFINATTO; CRIVELLARO; WIEDENHOEFT, 2015).

A identificação de espécies apresenta uma dificuldade que são os “nomes populares e comerciais” da madeira, as principais formas usadas em campo e no comércio. Um dos problemas dos nomes populares é a extensa variação geográfica e histórica e isso pode ser um problema crescente no contexto de novas políticas que exigem legalidade. Inicialmente o nome popular deu origem a avanços significativos no campo da ciência, mas o nome científico tem uma aplicação e a capacidade de distinguir materiais visualmente semelhantes, mas geograficamente diferentes. O nome científico é importante para reduzir a probabilidade de erros.

As madeiras fiscalizadas e/ou apreendidas normalmente não mantêm as suas características morfológicas marcantes, como folhas e flores, tornando quase impossível a identificação de espécies e sua origem geográfica (ESPINOZA et al., 2015). Nessas situações a única forma de identificação é através da anatomia da madeira, porém ela tem suas limitações, e muitas vezes só é possível identificar o gênero ou o grupo de espécie. Essa dificuldade em identificar a madeira em nível de espécies em postos de controle de comercialização de madeira facilita o comércio ilegal, o que corrobora para extensas áreas desmatadas e a destruição de comunidades locais (UNODC, 2016). A identificação adequada da madeira é uma ferramenta para controlar a exploração ilegal e o comércio de espécies ameaçadas de extinção.

Para as autoridades policiais de fiscalização, a identificação é uma ação necessária para quem está na linha de frente do comércio ilegal. É necessário investir nos treinamentos de oficiais que trabalhem diretamente com as fiscalizações dessas atividades, para aplicar técnicas e ferramentas de identificação de madeira para que novas políticas legais de comércio obtenham sucesso. Esse treinamento exige o envolvimento de cientistas, pesquisadores e acadêmicos com a experiência suficiente para realizar esses treinamentos e desenvolver as ferramentas necessárias (KLEINSCHMIT et al., 2016). O nível de pesquisa e desenvolvimento da ciência da madeira para atender esses casos práticos ainda é ineficiente e necessita de incentivos para influenciar no campo prático e assim minimizar a extração e comercialização da madeira ilegal.

Em 2010 foi fundado o Consócio Internacional de Combate ao Crime da Vida Selvagem (ICCWC), um dos programas estratégicos é investir em atividades que envolvam o conhecimento e a inovação nas áreas de fauna silvestre e de crime florestal. Para a área florestal, um dos focos principais é o uso da tecnologia forense

como ferramenta para auxiliar na identificação de madeira. Dois métodos que atualmente estão em desenvolvimento para auxiliar na identificação rápida da madeira em campo, são: identificação anatômica macroscópica automatizada da madeira e espectroscopia no infravermelho próximo (ICWC, 2016).

## 2.2 FLORESTAS TROPICAIS SECAS

As florestas tropicais secas são formações que se desenvolvem em regiões de clima quente, seco e marcadas pela variabilidade da precipitação e da disponibilidade hídrica ao longo dos meses. Há também uma grande heterogeneidade de fatores ambientais, principalmente, os relacionados aos solos e à topografia (ALLEN et al., 2017). Essas florestas recobrem cerca de 41,5% da superfície terrestre, estando localizadas próximo à linha do equador, com precipitação entre 500 e 1000 mm ao ano, com estação seca predominante por 5 a 8 meses e temperatura média superior a 20°C nos meses frios (BLACKIE et al., 2014). A principal característica da vegetação dessa formação é a sua adaptabilidade ao estresse hídrico, como também o estresse a elevadas temperaturas (BASTIN et al., 2017). A maior extensão dessas áreas está na África seguida pela América do Sul e uma menor área em partes do continente asiático (FAO, 2001).

As florestas tropicais secas são consideradas muito frágeis devido à alta densidade populacional e à variedade de processos de degradação, seja ela física, química e/ou biológica (ALLEN et al., 2017). Devido a esses e outros fatores, estão entre as fitofisionomias mais ameaçadas e menos estudadas do mundo (GILLESPIE et al., 2012). Em virtude da escassez de estudos sobre a sua flora, esta formação requer maior atenção com o intuito de obter mais informações acerca do seu potencial de conservação e produtivo. Tem-se o conhecimento de que são áreas que apresentam uma alta sensibilidade ecológica à variabilidade climática e que possui menos de 2% do seu território protegido (BLACKIE et al., 2014).

Há uma confusão popular entre conceitos e limites das florestas tropicais secas em relação às savanas e às florestas tropicais úmidas. As principais peculiaridades dos ecossistemas de florestas secas é que esse bioma possui uma combinação da seca sazonal e ausência de incêndios frequentes, o que as distingue das florestas úmidas e savanas respectivamente (DEXTER et al., 2018). Outra diferença entre as tipologias, são as diferenças florísticas, em que as florestas secas

possuem alto nível de espécies endêmicas e de diversidade, o que corrobora para a necessidade de se estudar a anatomia das espécies (DRYFLOR et al., 2016).

O bioma brasileiro Caatinga representa uma das áreas de florestas tropicais secas, e está inserido na região nordeste do Brasil, possui uma extensão territorial de 844.453 km<sup>2</sup>, equivalente a 55% da região e 11% do território nacional (BRASIL, 2014a). É uma das maiores e mais ricas formações de florestas secas do mundo (DEXTER et al., 2018). Destaca-se como uma das áreas remanescentes mais extensa e diferente das demais, as quais são fragmentadas e dispersas (SUNDERLAND et al., 2015).

As florestas da Caatinga são caracterizadas por altos níveis de radiação solar, devido à sua posição geográfica próxima à linha do Equador, além disso, há elevadas taxas de evapotranspiração e baixas taxas de precipitação, que oscilam entre 300 e 1000 mm/ano, com chuvas concentradas entre dois a quatro meses; possui também elevada diversidade florística, que contempla cerca de 3.150 espécies vegetais (LOPES; ARAUJO; VASCONCELOS, 2015; SILVA; SOUZA, 2018). A vegetação é marcada fortemente pela sazonalidade climática, bastante singular e resistente, uma vez que apresenta morfologia e mecanismo fisiológico em concordância com o ambiente seco e a umidade disponível é proveniente de um período pouco expressivo da estação chuvosa, constituída por formações xerófilas, engloba muitas espécies decíduas e espinhosas, além de plantas com órgãos suculentos que são diversificadas por razões climáticas, edáficas, topográficas e antrópicas (AMÉRICO, 2018).

Há cerca de 28,6 milhões de pessoas, a maioria de baixa renda e totalmente dependente dos seus recursos naturais, o que justifica a exploração ilegal e não sustentável dos recursos lenhosos que são utilizados para as mais diversas finalidades, sobretudo domésticos, industriais e conversão das áreas de floresta em agricultura (GARIGLIO et al. 2010). A partir disso, é evidente que o uso inadequado de terras acarreta perda de biodiversidade e reduz os recursos florestais que sustentam a população carente. No entanto, a falta de fiscalização por parte das autoridades competentes acaba por favorecer a exploração predatória e excessiva, desencadeando um processo conhecido como desertificação, geralmente irreversível, onde áreas anteriormente produtivas se tornam zonas áridas e inférteis (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015).

A ação antrópica tem contribuído com a degradação do bioma, principalmente, pelas práticas exploratórias que vêm sendo realizadas por meio de técnicas insustentáveis e têm ocasionado o desequilíbrio dos ecossistemas, comprometendo a diversidade da fauna, da flora e resultando na degradação dos solos. Neste contexto, a maior parte dos ecossistemas de Caatinga já passou por algum tipo de alteração (FERREIRA et al., 2014). Os remanescentes florestais deste domínio cobrem atualmente 41.399.196 ha, correspondendo a 50% da vegetação original e estando subdividida em 47.100 fragmentos (ANTONGIOVANNI; VENTICINQUE; FONSECA, 2018). Apesar de sua extensão, o conhecimento científico desse tipo de vegetação, sua biodiversidade e manejo são muito pouco estudados em comparação com os outros ecossistemas brasileiros e seu potencial acaba se tornando subestimado (MILLIKEN et al., 2018; VIEIRA et al., 2016).

A fauna e flora são bastante afetadas devido à inexistência de um plano de manejo e de fontes alternativas que visem suprir a demanda de matéria prima na região. Os recursos naturais apresentam grande potencial para as mais diversas finalidades, mas esse bioma não é priorizado por ações de políticas públicas, não há incentivo para estudos sobre suas potencialidades e conservação.

Alguns pesquisadores como Blackie et al. (2014) ressaltam a importância desse tipo de floresta e classificam como uma das fitofisionomias mais ameaçadas do mundo, enfatizando a urgência por estudos interdisciplinares sobre as florestas tropicais secas. Sendo que esses estudos, em regiões semiáridas representam um dos grandes e complexos desafios do conhecimento científico brasileiro.

A supressão vegetal da Caatinga ocorre basicamente sob três formas: desmatamento legal, autorizado pelos órgãos competentes, para fins de uso alternativo do solo (agricultura, pastagens, extração mineral); manejo florestal sustentável, autorizado pelos órgãos competentes, para fins de produção madeireira; e desmatamento ilegal, para fins de uso alternativo do solo e produção madeireira (PAREYN, 2010). O volume de madeira oriundo de florestas nativas vem sofrendo uma redução, e conseqüentemente ocorrem aumentos dos preços dessa matéria prima (SILVA; SANTANA, 2014). Quando se trata da madeira proveniente da caatinga, essa redução é ainda mais agravante, devido à inexistência de uma fiscalização eficiente por partes das autoridades ambientais competentes (GARIGLIO, 2015). Estima-se que cerca de um terço da demanda de lenha das indústrias da região

Nordeste, usadas como fonte de energia, é proveniente do desmatamento ilegal (INSA, 2015; AMÉRICO, 2018).

Além disso, as áreas da Caatinga são consideradas menos legalmente protegidas a nível nacional, pois as áreas de Unidades de Conservação cobrem menos de 8% do seu território total (PAREYN; VIEIRA; GARIGLIO, 2015).

Com isso, é necessária uma maior preocupação quanto à exploração da floresta em áreas de Caatinga, especialmente porque o corte da vegetação resulta em várias consequências negativas para o meio ambiente e para o aspecto social, porque existe uma alta dependência dos moradores e das indústrias instaladas nessas áreas.

### 2.3 COR DA MADEIRA

A cor pode ser considerada um dos fatores mais importantes para o consumidor, uma vez que está relacionada aos efeitos sensoriais, cognitivos e afetivos (CHENG; WU; LEINER, 2019). As características estéticas como cor, desenho e textura da madeira são atributos importantes por direcionarem o uso da madeira para as suas diferentes finalidades. A cor pode servir como um dos critérios para avaliar a madeira e predefinir as suas características. Tem sido utilizada como método para classificar, e até determinar a qualidade da madeira (MORI et al., 2004).

A cor pode ser um indicativo para a identificação da madeira porque é a primeira informação visual obtida pelo observador, direcionando para qual espécie ou grupo de espécie pertence aquela madeira ou produto de madeira. Essa classificação visual de cores está associada a impressões pessoais obtidas através de uma avaliação subjetiva. Entre as propriedades organolépticas, a cor é a propriedade que apresenta maior subjetividade porque está relacionada diretamente com a sensibilidade psicofísica do observador (ZENID; CECCANTINI, 2007).

Alguns pesquisadores afirmam que a análise da cor pode ser incorporada na caracterização tecnológica da madeira (MORI et al., 2005) uma vez que algumas propriedades podem ser avaliadas com base em parâmetros colorimétricos (AMORIM; GONZALES; CAMARGOS, 2013) e aplicados na pré-classificação e qualificação da madeira (BARROS; MUÑIZ; MATOS, 2014). A cor já foi testada para reconhecimento de espécies em estudos com imagens e métodos de classificação como redes neurais artificiais (BOMBARDIER; SCHMITT, 2010; PENG, 2013). A partir disso, pode-se ver que a cor é uma das características com grande potencial para identificar e classificar

a madeira e até indicar o uso da espécie, principalmente quando associada aos aspectos de textura e desenho. Essa característica também tem o poder de valorizar espécies pouco conhecidas, através de sua comparação com madeiras já apreciadas no mercado (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

Dentre as diferentes formas de determinar a cor, a colorimetria surgiu da necessidade de uma descrição objetiva e precisa dessa característica. É uma técnica não destrutiva, metodologia quantitativa, objetiva e eficaz para a medição da cor da madeira, descrevendo numericamente cada elemento da composição por meio de aparelho apropriado. A determinação da cor pode se tornar um meio útil para classificar a madeira (GONÇALEZ et al., 2001; MORI et al., 2005).

Vários sistemas foram criados para descrever e quantificar a cor para complementar o diagrama de cromaticidade proposto pela Comissão Internacional de Iluminantes (*Commission Internationale d'Eclairage* - CIE). Em 1976, foi criado o sistema CIELAB, que mede e quantifica as cores com base nos seguintes parâmetros: Luminosidade ( $L^*$ ), coordenada cromática verde-vermelho ( $a^*$ ) e coordenada cromática amarelo-azul ( $b^*$ ) (HUNT, 1969). Esse sistema é o mais utilizado na medição de cor da madeira, além desses três parâmetros, é possível calcular mais dois parâmetros, sendo eles saturação ( $C^*$ ) e ângulo de tinta ( $h$ ) (CAMARGOS; GONÇALES, 2001). Para minimizar a interferência na determinação da cor da madeira, indica-se o uso de um colorímetro ou espectrofotômetro (MORI et al., 2004). Nesses equipamentos, além da obtenção dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  é possível obter as curvas de reflectância das amostras com base no comprimento de onda (GONÇALEZ et al., 2001).

O valor de luminosidade ( $L^*$ ) é definido pela escala cinza, dessa forma varia de branco a preto, sendo 0 para preto absoluto e 100 para branco total. A tonalidade é expressa pelas cores primárias e são representadas por dois pigmentos: coordenada cromática  $a^*$  que varia de verde a vermelho e a coordenada cromática  $b^*$  que varia de amarelo a azul. A tonalidade tem como base as percepções do cérebro humano de cores opostas, ambas variam numericamente de 0 a 60. O terceiro parâmetro é a saturação ou cromaticidade ( $C^*$ ) que é definida como o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo  $L^*$ . E o quarto e último parâmetro colorimétrico é o ângulo de tinta ( $h$ ) que é definido como o ângulo do círculo derivado dos valores de  $a^*$  e  $b^*$  (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; GONÇALEZ et al., 2001).

A colorimetria por meio dos parâmetros de cor oferecidos pelo sistema CIELab pode produzir resultados confiáveis especialmente por ser o sistema mais utilizado para representar graficamente a cor de um objeto e determinar diferenças de cores. Diferente do método da carta de Munsel (Munsel Soil Color Chart), que é uma metodologia desenvolvida para classificação de solos, o qual apresenta baixa precisão colorimétrica. Para determinar a cor da madeira, Camargos e Gonçalves (2001) publicaram um trabalho que tem como resultado final uma tabela de guia para classificação da madeira, também servindo como referência para classificar e direcionar a identificação do material.

A partir disso, a cor da madeira se torna um dos aspectos macroscópicos mais importantes para a caracterização das espécies e seu potencial foi avaliado em diversos estudos (CAMARGOS; GONÇALVES, 2001; SILVA et al., 2015; NISGOSKI et al., 2017; SILVA et al., 2017). Geralmente a madeira apresenta uma cor uniforme para cada espécie, podendo ser mais escura na região do cerne e mais clara na região do alburno (ZANETTI et al., 2003). Assim, são necessários estudos colorimétricos para identificar as particularidades de cada espécie com base em características de cerne e alburno porque há diferença de anéis de crescimento, vasos, raios, tipo de parênquima, conteúdo de extrativos, entre outros, características que corroboram para uma mudança de cor entre os dois lenhos (GARCIA; MARINONIO, 2016).

As diferenças de tonalidades na cor da madeira podem ser influenciadas por diversos fatores, tais como variação entre as espécies, entre cada árvore da mesma espécie, dentro da mesma árvore, e também de acordo com o corte anatômico, camadas de crescimento, lenho tardio e lenho inicial, cerne e alburno, tamanho e tipo do parênquima, composição química de substâncias presentes no xilema, como polifenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas entre outros (MADY, 2000; NISHINO et al., 2000; BRISCHKE et al. 2007; ATAYDE; GONÇALEZ; CAMARGOS, 2011; SILVA et al., 2017). Também pode variar em função de fatores genéticos, ambientais, condições edáficas e climáticas, idade da árvore, grau de umidade, temperatura, degradação advinda de reações fotoquímicas dos componentes presentes na sua estrutura e por ataques xilófagos (KLUMPERS; JANIN; BECKER, 1993; BURTIN et al., 1998; NISHINO et al., 1998; KOKUTSE et al., 2006; DERKYI et al., 2009; VILLEGAS; AREA, 2009, VILLEGAS; AREA; MARLATS, 2009, BOUDOUAYA et al. 2016).

Estudos realizados por Sotelo-Montes et al. (2008) mencionam que as propriedades físicas e químicas do solo podem produzir diferenças na cor da madeira

entre os locais de cultivo. Em alguns casos a tonalidade amarelada está relacionada ao alto teor de lignina e a tonalidade vermelha está associada ao conteúdo de extrativos da madeira.

De acordo com Vieira et al. (2019), a colorimetria tem potencial para diferenciar espécies nativas de uma floresta de araucária, podendo servir como ferramenta para o controle de comércio ilegal de madeira, desde que exista um amplo banco de dados. O uso do espectro de reflectância no visível para a discriminação de espécies tem poucos trabalhos, como em eucalipto (NISGOSKI et al., 2017), espécies de Myrtaceae (VIEIRA et al., 2019), tauari (SANTOS et al., 2022) e espécies de Fabaceae da Amazônia Brasileira (SANTOS et al., 2021), mas com espécies da caatinga não foi encontrada literatura.

#### 2.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

A espectroscopia no infravermelho próximo utiliza a resposta química das amostras na região entre 4000 e 10000  $\text{cm}^{-1}$ , levando em consideração diferentes vibrações em função da absorção ou reflexão da radiação pelas moléculas orgânicas, resultando em comportamentos espectrais únicos, possibilitando inclusive a identificação dos materiais (TSUCHIKAWA; KOBORI, 2015; SKOOG; HOLLER; CROUCH, 2017). É uma técnica não destrutiva, econômica, rápida e que não requer pré-tratamento de amostras (KOBAYASHI et al., 2019).

No caso de materiais como a madeira, o espectro resultante deve ser analisado utilizando métodos de estatística multivariada para correlacionar as propriedades de interesse da amostra, além de serem utilizados diferentes pré-tratamentos nos dados e metodologias de análise para minimizar a influência da superfície da amostra, como granulometria e umidade, além das características do tipo de equipamento utilizado (PASQUINI, 2018; HEIN; PAKKANEN; SANTOS, 2017)

Nos últimos anos tem sido testada nos diferentes setores da área florestal, e a literatura apresenta três revisões importantes em relação à sua aplicação final e metodologias de análise: Tsuchikawa e Kobori (2015); Hein, Pakkanen e Santos (2017) e Pasquini (2018).

A discriminação de espécies com base em espectros do infravermelho próximo (NIR) pode ser feita com uma grande variedade de materiais, como folhas, casca e madeira (LANG et al., 2017; SOARES et al., 2017, ZHOU; RAHIMI;

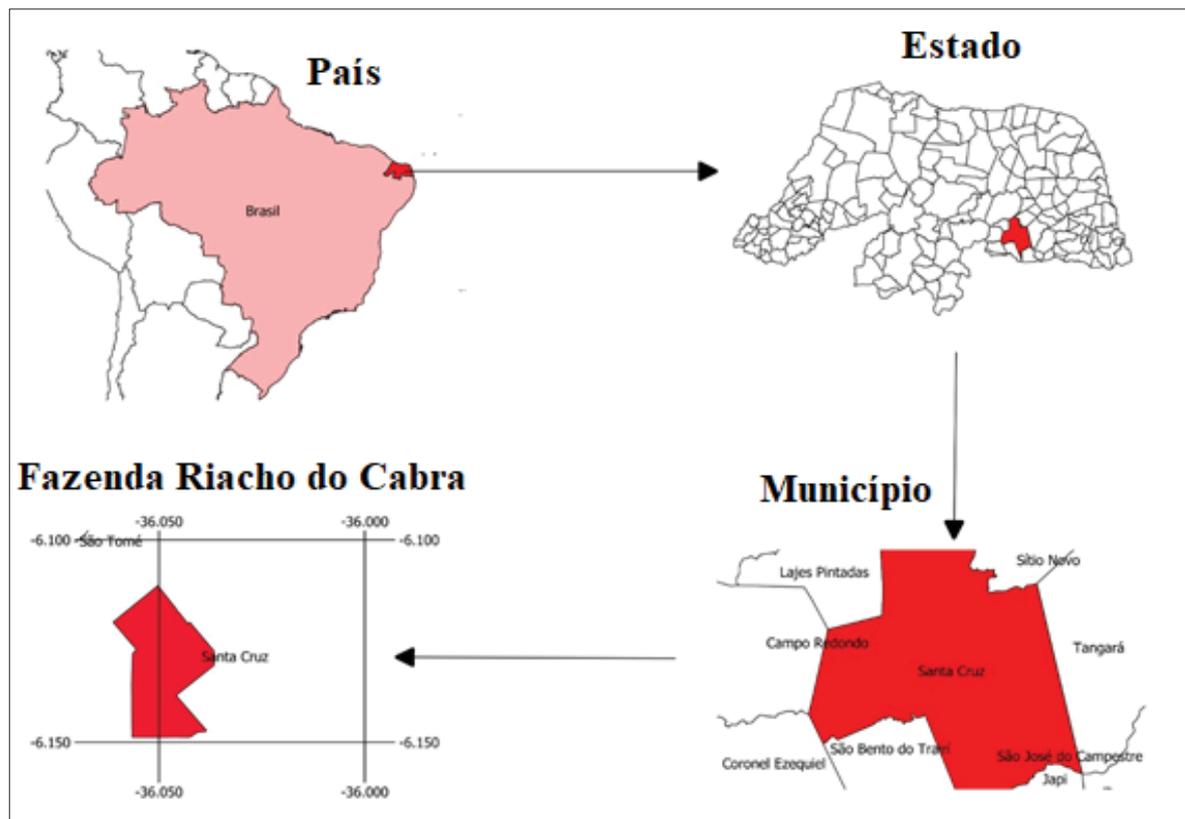
AVRAMIDIS, 2020). A técnica já se mostrou eficiente para distinção de materiais com diferentes origens geográficas (SANDAK; SANDAK; NEGRI, 2011; BERGO et al., 2016); espécies anatomicamente similares (PASTORE et al., 2011; HORIKAWA; TAZURU; SUGIYAMA, 2015; MUÑIZ et al. 2016); espécies da arquitetura Japonesa (HWANG et al. 2016), como auxiliar na identificação de amostras da Arte Sacra brasileira (NISGOSKI et al. 2019), espécies da Amazônia (SOARES et al., 2017; HADLICH et al. 2018; SANTOS et al. 2020), espécies da Mata Atlântica (PACE et al., 2019; VIEIRA et al. 2020, 2021), madeira plantada e nativa (RAMALHO; ANDRADE; HEIN, 2018; REIS et al., 2019), entre outros. Com espécies da caatinga, os estudos são poucos, destacando-se Nisgoski et al. (2018) com madeira e carvão proveniente de árvores do estado da Paraíba.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL

As espécies nativas da caatinga foram coletados na Fazenda Riacho do Cabra, localizada no município de Santa Cruz, estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil ( $06^{\circ}13'44,4''\text{S } 36^{\circ}01'22,8''\text{ O}$ ), conforme a Figura 1. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é do tipo BSs'h', semiárido com precipitação menor que a evaporação e a estação chuvosa no outono, possuindo assim clima seco acentuado por em média 6 meses. A vegetação da área é classificada como caatinga hiperxerófila. O material coletado está registrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético (SisGen) sob o número A432EB4.

FIGURA 1 - LOCAL DE COLETA DAS ÁRVORES.

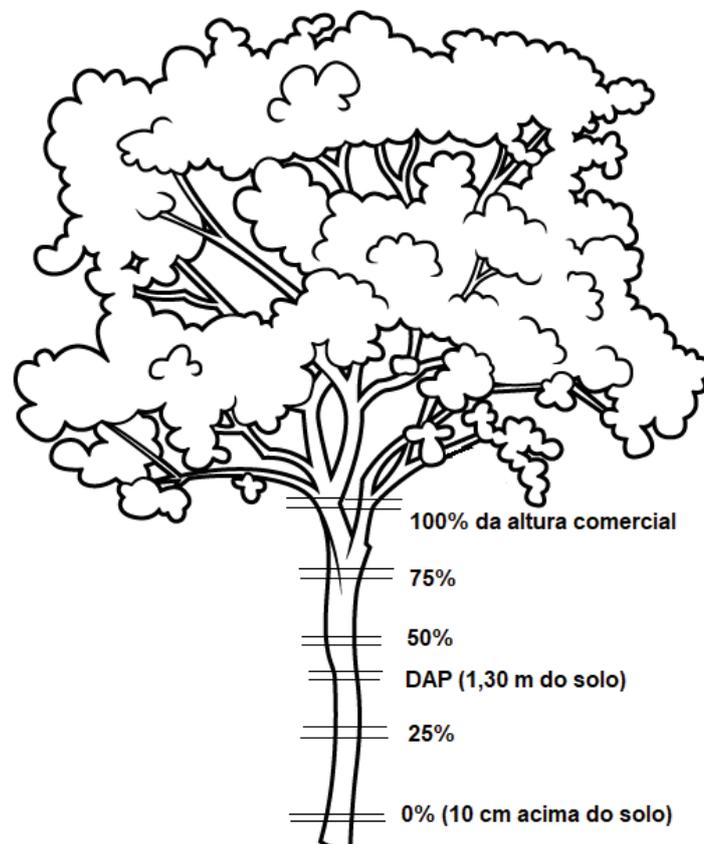


FONTE: A autora (2022).

As espécies selecionadas foram com base no valor de índice de importância (IVI), obtidos através do Inventário Florestal utilizado para iniciar o processo de Manejo florestal. Dessa forma, as espécies selecionadas foram: *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Angico - ANG); *Cenostigma pyramidale* (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis (Catingueira - CAT); *Capparidastrium frondosum* (Jacq.) Cornejo & Iltis (Feijão Bravo - FEB); *Commiphora leptophloeos* (Mart) J.B. Gillett (Imburana - IMB); *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Jurema Preta - JUP); *Manihot baccata* Allem (Maniçoba - MAN); *Guapira* sp. (Pau mole - PAM); e *Aspidosperma pyifolium* Mart. & Zucc (Pereiro - PER).

De cada espécie selecionada foram derrubadas três árvores através do corte raso (10 cm acima do solo) e retirados discos de 15 cm ao longo do fuste em diferentes posições a 0% (10 cm acima do solo), DAP (diâmetro da altura do peito – 1,30 m do solo), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (Figura 2). Os dados dendrométricos das espécies estão na Tabela 1 e as cascas ilustradas na Figura 3 e a madeira ilustrada na Figura 4.

FIGURA 2 - ESQUEMA DE RETIRADA DOS DISCOS AO LONGO DO FUSTE.



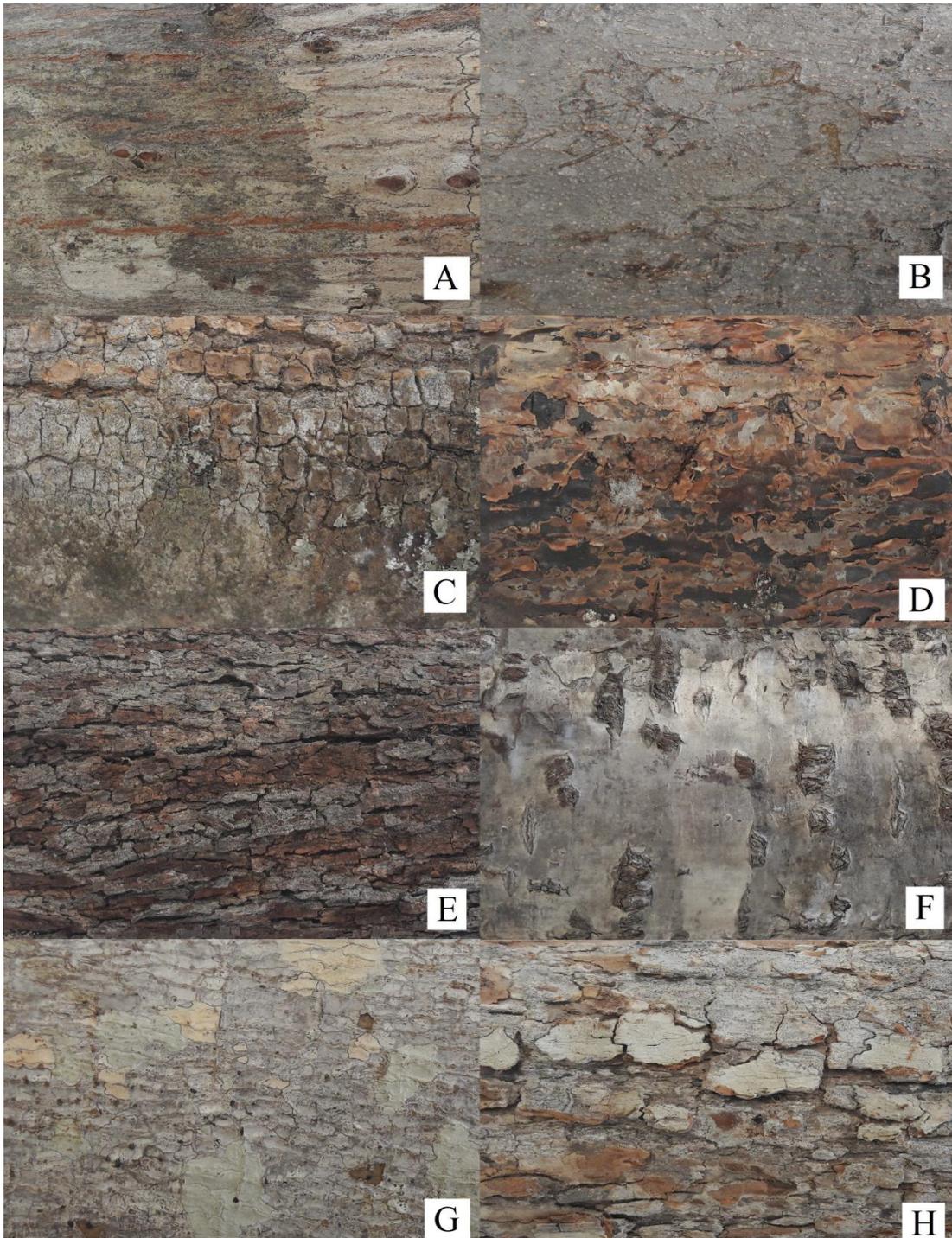
FONTE: A autora (2022).

TABELA 1 - DADOS DENDROMÉTRICOS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.

Nome Popular	Código	Nome científico	Família	DAP (cm)	H comercial (m)	H total (m)
Angico	ANG	<i>Anadenanthera</i>	Fabaceae	14.01	6.7	10.00
		<i>colubrina</i> (Vell.) Brenan		15.92	4.0	11.20
				22.12	5.0	10.96
Catingueira	CAT	<i>Cenostigma</i>	Fabaceae	14.64	4.6	7.86
		<i>pyramidale</i> (Tul.) E. Gagnon & G.P.		14.96	3.5	8.43
		Lewis		14.01	4.0	8.18
Feijão Bravo	FEB	<i>Capparidastrium</i>	Capparaceae	14.01	5.0	6.92
		<i>frondosum</i> (Jacq.) Cornejo & Iltis		13.37	4.4	6.90
				13.32	3.3	8.39
Imburana	IMB	<i>Commiphora</i>	Burseraceae	12.73	2.7	6.26
		<i>leptophloeos</i> (Mart) J.B. Gillett		15.28	3.5	8.37
				23.55	4.5	8.26
Jurema Preta	JUP	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Fabaceae	14.96	4.1	9.15
		(Willd.) Poir.		17.19	2.9	6.52
				16.55	3.9	7.13
Maniçoba	MAN	<i>Manihot baccata</i>	Euphorbiaceae	12.73	4.5	8.20
		Allem		14.01	5.7	8.60
				20.05	5.3	8.56
Pau mole	PAM	<i>Guapira</i> sp.	Nyctaginaceae	18.78	5.5	7.73
				15.28	4.0	8.30
				13.37	3.05	6.77
Pereiro	PER	<i>Aspidosperma</i>	Apocynaceae	12.73	3.05	6.73
		<i>pyifolium</i> Mart. & Zucc.		13.37	2.67	6.45
				13.37	2.85	7.0

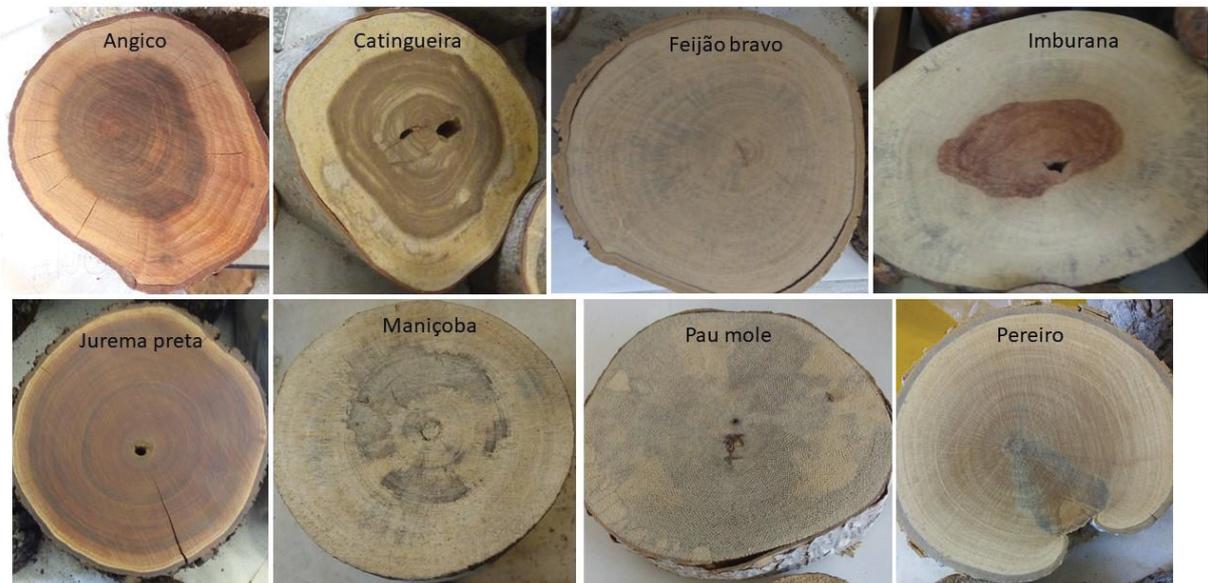
FONTE: A autora (2021).

FIGURA 3 - IMAGEM DAS CASCAS DAS ESPÉCIES DA CAATINGA: ANGICO (A), CATINGUEIRA (B) FEIJÃO-BRAVO (C), IMBURANA (D), JUREMA PRETA (E), MANIÇOBA(F), PAU-MOLE (G) E PEREIRO (H).



FONTE: A autora (2021).

FIGURA 4 - IMAGEM DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DA CAATINGA: ANGICO (A), CATINGUEIRA (B) FEIJÃO-BRAVO (C), IMBURANA (D), JUREMA PRETA (E), MANIÇOBA(F), PAU-MOLE (G) E PEREIRO (H).



O material foi coletado com base na nomenclatura popular da região e a identificação científica foi confirmada pelo Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR com base nas características anatômicas descritas e comparadas com o acervo da xiloteca e os dados disponíveis no Inside Wood (2004). Também foi verificada a ocorrência da espécie na região através dos dados em atualização do site Flora do Brasil (2020).

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Colorimetria e espectroscopia no visível

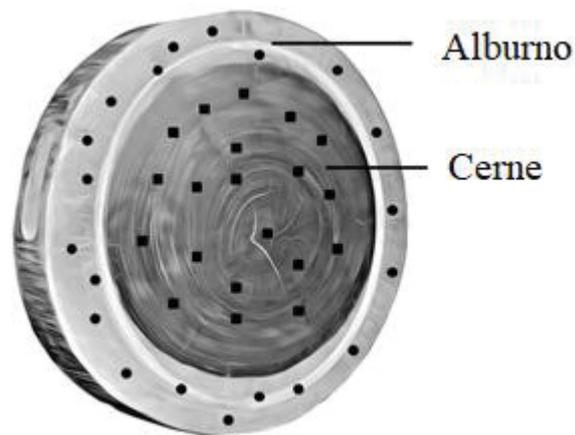
A análise colorimétrica foi realizada com um espectrofotômetro CM-5, operando com a faixa espectral de 360-740 nm, fonte de luz D65 e ângulo de observação de 10°, padrão CIE-L\*a\*b\*. Foram obtidos os parâmetros colorimétricos de luminosidade (L\*), coordenada cromática verde-vermelho (a\*) e coordenada cromática azul-amarela (b\*). Os valores dos parâmetros de saturação (C\*) e ângulo de tinta (h) foram calculados através das equações 1 e 2, respectivamente.

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

$$h = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

Cada disco retirado em campo foi subdividido em três partes gerando discos menores e estes foram utilizados na realização de 20 leituras na região interna (próximo à medula) e mais 20 na parte externa (próximo da casca), conforme a Figura 5. Em algumas espécies foi possível diferenciar cerne e alburno, e neste caso, as leituras foram feitas identificando cada parte (cerne e alburno) e quando a diferenciação visual não era possível, apenas foram identificadas como externas e internas. Dessa forma foram obtidas um total de 120 leituras por posição ao longo do fuste, 720 por árvore e 2160 por espécie para avaliar a variação de cores nas diferentes espécies e as relações intraespecíficas.

FIGURA 5 - AMOSTRAGEM PARA OBTENÇÃO DOS DADOS COLORIMÉTRICOS.



FONTE: A autora (2021).

As avaliações de normalidade e homogeneidade dos dados foram realizadas através dos testes de Lilliefors e Cochran, respectivamente. Para os dados com distribuição normal, foi realizado o teste de Tukey, nos casos em que a distribuição se apresentava como anormal, os dados foram analisados pelo teste de Kruskal Wallis, ambos com nível de significância de 95%. A correlação foi obtida pelo teste de Pearson a 95 % de probabilidade. Todos esses testes foram realizados com o auxílio do programa BioEstat.

Para verificar o possível agrupamento ou distinção das espécies pelo espectro de reflectância no visível foi efetuada uma análise exploratória visual com base nos gráficos de *scores* e *loadings* da Análise de Componentes Principais (PCA) utilizando algoritmo NIPALS com validação cruzada aleatória com 3 segmentos em duas situações: I) dados médios da espécie em cada posição e II) dados médios apenas do cerne em cada posição da árvore.

Para verificar a utilização dos espectros visíveis na discriminação prática das espécies, foram testados a Análise Linear Discriminante (LDA) e *Support Vector Machine with Radial Basis Function Kernel* (SVM) com 66% dos dados para a construção do modelo e 33% para validação externa. O LDA foi efetuado com base nos scores do PCA e distância de Mahalanobis, projetando 3 componentes e assumindo igual probabilidade, e o SVM foi baseado na função básica radial  $C = 1$ ,  $Weigth A/(SDev+B)$  e validação cruzada de 5 segmentos. Foram avaliadas as matrizes de confusão resultantes de três situações: I) modelos construídos e testados com os dados médios em cada disco; II) modelos construídos e avaliados apenas com os dados do cerne; III) modelos construídos e avaliados apenas com os dados do alburno.

### 3.2.2 Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)

Os discos de madeira para a análise de infravermelho próximo foram colocados em estufa com temperatura de 25 °C e ventilação (temperatura ambiente) para secagem e evitar o desenvolvimento de fungos e rachaduras.

Para a obtenção de espectros no infravermelho próximo, foi utilizado um espectrômetro Bruker Tensor 37 (Bruker Optics, Ettlingen, Alemanha) operando em modo de reflectância, com resolução média de 4  $\text{cm}^{-1}$  e faixa espectral de 10000 - 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

Para a obtenção dos espectros da casca foi utilizada uma probe com abertura de 2 mm, e cada disco de madeira, das diferentes posições do fuste, foi colocado a uma distância de aproximadamente 5 mm entre o infravermelho e a casca da madeira. Foram coletados de cada disco 24 espectros, totalizando 432 espectros por árvore e 1296 por espécie. A média de espectros de cada posição no fuste foi utilizada para análise, sendo 6 por árvore e 18 por espécie.

A análise dos espectros foi efetuada no software Unscrambler X (versão 10.1). Para a casca os dados foram avaliados na forma original e com pré-tratamento de segunda derivada de Savitzky-Golay, ordem polinomial 2 e alisamento de 21 pontos. Para verificar o possível agrupamento ou distinção das espécies foi efetuada uma análise exploratória visual com base nos gráficos de *score* e *loadings* da Análise de Componentes Principais (PCA) utilizando algoritmo NIPALS com validação cruzada aleatória com 3 segmentos. Para testar a utilização dos espectros em discriminação prática das espécies, foram testados a Análise Linear Discriminante (LDA) e *Support*

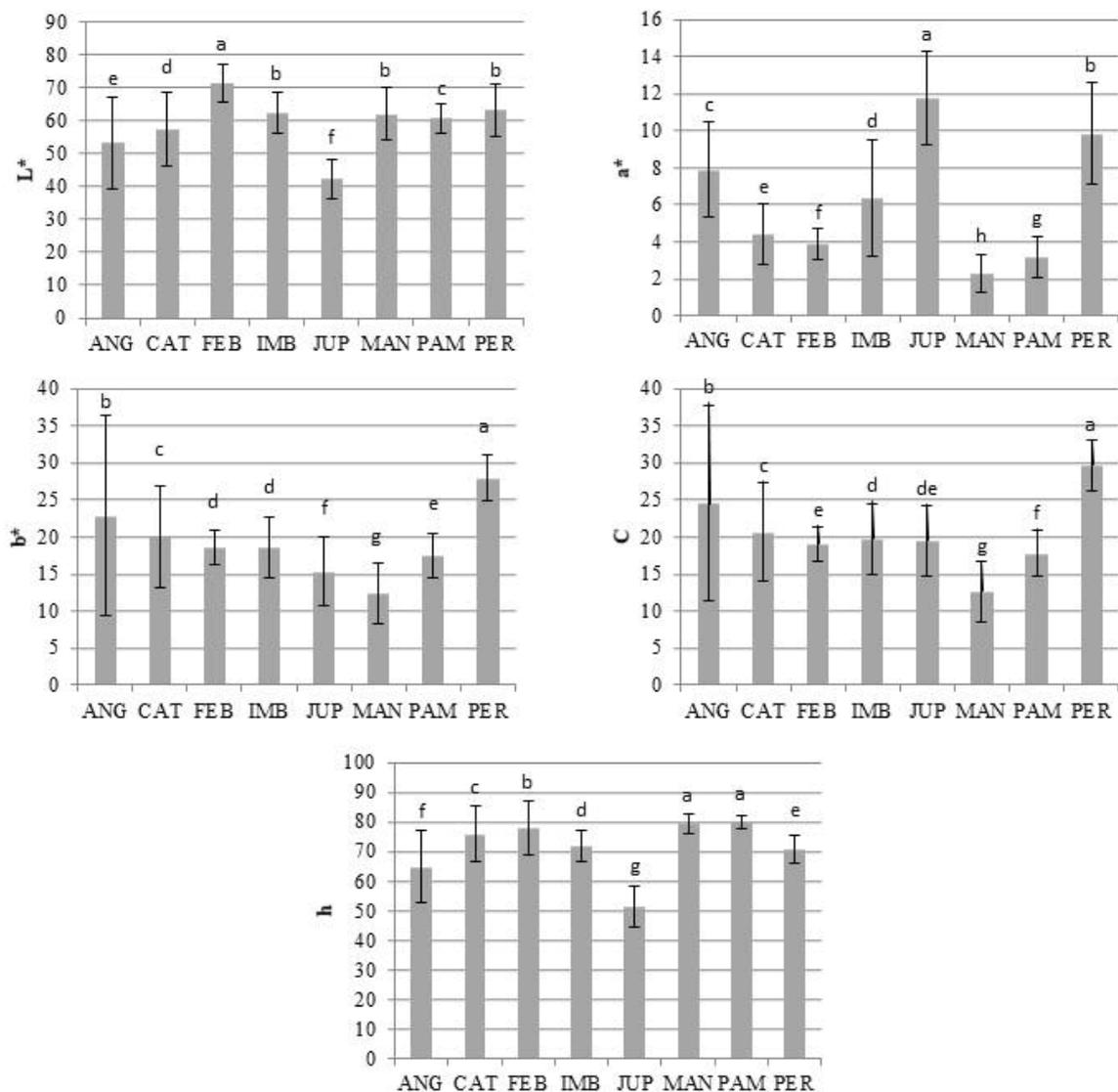
*Vector Machine* (SVM) com 66% dos dados para a construção do modelo e 33% para validação externa. O LDA foi efetuado com base nos scores do PCA e distância de Mahalanobis, projetando três componentes e assumindo igual probabilidade, e o SVM foi baseado na função básica radial  $C = 1$ , *Weight*  $A/(SDev+B)$  e validação cruzada de 5 segmentos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 COLORIMETRIA E ESPECTROSCOPIA NO VÍSEL

Os valores médios e desvio padrão dos parâmetros colorimétricos avaliados (Figura 6) indicam uma diferenciação clara entre as espécies.

FIGURA 6 - VARIAÇÃO NOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.



FONTE: A autora (2021).

O valor máximo de luminosidade ( $L^*$ ) foi de 71,21 (feijão bravo - FEB) e o mínimo de 41,15 (jurema preta - JUP). Nesse parâmetro a maior parte das espécies apresentou diferença significativa entre si, com exceção da imburana (IMB), maniçoba

(MAN) e pereiro (PER) que tem luminosidade semelhante. A luminosidade na jurema preta e angico foram as menores médias, e de acordo com Camargos e Gonçalves (2001), madeiras com baixos valores de  $L^*$  ( $< 56$ ) tendem a ser classificadas, como madeiras escuras. Dessa forma, todas as demais madeiras avaliadas nesse estudo podem ser consideradas madeiras claras. A espécie de valor médio mais alto foi FEB, sendo entre elas a mais próxima de branco ( $L = 86,44$ ).

O parâmetro da coordenada cromática verde-vermelho ( $a^*$ ) teve uma variação entre 11,74 (JUP) e 2,50 (MAN) e todas as espécies apresentaram diferença significativa entre si, indicando que cada espécie tem uma tonalidade avermelhada diferente. Para o parâmetro  $a^*$  o resultado observado foi o contrário do encontrado para o  $L^*$ , em que JUP apresentou o maior valor médio e MAN o mais baixo. Segundo Barros, Muñiz e Matos (2014) as espécies com os maiores valores para  $a^*$  tem predominância de pigmento vermelho e essa pigmentação pode ser influenciada pela correlação entre a quantidade de polifenóis presente na lignina e o tom avermelhado da madeira.

A coordenada cromática azul-amarelo ( $b^*$ ) teve uma variação entre 27,89 (PER) e 12,38 (MAN), sendo verificada diferença entre as espécies, com exceção de FEB e IMB que apresentaram um tom amarelado semelhante. Esse parâmetro quantifica o pigmento amarelo presente na madeira, dessa forma pode-se considerar que as madeira de PER e ANG tendem a ser mais amareladas por apresentar os maiores valores para esse parâmetro. Por outro lado, MAN apresentou a média mais baixa, indicando a tendência dessa madeira ser menos amarelada.

O parâmetro da saturação ( $C^*$ ) variou entre 29,67 (PER) e 12,61 (MAN), sendo que nesse parâmetro o destaque de similaridade é entre IMB e JUP e entre JUP e FEB, uma vez que é calculado com base nos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ . Os valores de  $C^*$  e  $h$  são calculados a partir dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ , dessa forma, esses parâmetros para a madeira são altamente influenciados pelos pigmentos vermelho e amarelo. Os valores de  $C^*$  definem a saturação da cor e tem alta correlação com a variável  $b^*$  (CAMARGOS; GONÇALES, 2001), o que foi observado neste estudo nas espécies pereiro (PER) e angico (ANG), as quais apresentam os maiores valores médios para o parâmetro  $b^*$  e também para o parâmetro  $C^*$ . O menor valor médio nesses dois parâmetros foi para maniçoba (MAN), corroborando também com os resultados encontrados por Silva et al. (2015).

O maior valor no ângulo de tinta (h) foi de 79,98 (PAM) e o menor de 0,90 (JUP), sendo observada similaridade entre MAN e PAM. O parâmetro h representa a diferença de tonalidade das espécies (CAMARGOS; GONÇALES, 2001), podendo variar em função do plano de corte ou posição radial no tronco de acordo com a influência individual da espécie (VIEIRA et al., 2019).

Algumas espécies tinham a demarcação de cerne e alburno bem evidente, outras nem tanto, sendo considerados os resultados das leituras internas como cerne e externas como alburno para fins de comparação. Com base nos intervalos das variáveis cromáticas, a cor das madeiras foi classificada (Tabela 2) de acordo com o agrupamento de cores sugerido por Camargos e Gonzalez (2001).

TABELA 2 – PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E CLASSIFICAÇÃO DA COR DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.

<b>Espécies</b>		<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>C*</b>	<b>h</b>	<b>Classificação</b>
ANG	Alburno	65,11 a ± 5,05	8,92 a ± 2,27	34,62 a ± 5,80	35,83 a ± 5,78	75,37 a ± 3,79	Amarelo claro
	Cerne	41,36 b ± 9,03	6,82 b ± 2,43	11,08 b ± 7,61	13,17 b ± 7,72	54,59 b ± 7,64	Marrom escuro
CAT	Alburno	67,57 a ± 4,42	3,73 a ± 1,43	24,77 a ± 6,38	25,10 a ± 6,34	80,31 a ± 10,93	Oliva claro
	Cerne	47,41 b ± 5,27	5,03 b ± 1,53	15,34 b ± 3,12	16,19 b ± 3,27	71,75 b ± 4,27	Oliva
FEB	Alburno	74,05 a ± 3,92	3,56 b ± 0,65	18,60 a ± 2,22	18,95 a ± 2,24	79,16 a ± 1,72	Branco acinzentado
	Cerne	68,36 b ± 5,86	4,16 a ± 0,82	18,74 a ± 2,28	19,20 a ± 2,34	77,50 b ± 2,00	Cinza rosado
IMB	Alburno	61,74 b ± 5,41	5,66 b ± 2,25	17,43 b ± 3,61	18,36 b ± 4,07	72,68 a ± 3,93	Cinza rosado
	Cerne	63,37 a ± 6,83	7,07 a ± 3,70	19,70 a ± 4,10	21,05 a ± 5,03	71,54 b ± 6,29	Cinza rosado
JUP	Alburno	44,37 a ± 6,44	11,35 b ± 2,44	16,57 a ± 5,16	20,24 a ± 5,14	54,44 a ± 7,13	Marrom escuro
	Cerne	39,92 b ± 4,47	12,14 a ± 2,50	14,06 b ± 3,63	18,66 b ± 4,02	48,65 b ± 6,59	Marrom escuro
MAN	Alburno	62,77 a	2,56 a	13,10 a	13,37 a	78,90 b	-

Espécies	L*	a*	b*	C*	h	Classificação	
Cerne	± 7,95	± 1,12	± 4,07	± 4,16	± 3,21	-	
	61,24 b	2,04 b	11,65 b	11,85 b	79,84 a		
	± 7,70	± 0,82	± 3,84	± 3,88	± 3,35		
PAM	Alburno	62,07 a	3,06 b	17,41 a	17,69 a	80,28 a	Cinza rosado
		± 3,44	± 1,17	± 3,25	± 3,38	± 2,21	
		59,13 b	3,25 a	17,54 a	17,85 a	79,70 b	Cinza rosado
PER	Alburno	± 4,69	± 1,08	± 2,86	± 2,97	± 2,28	
		69,45 a	7,55 b	27,03 b	28,08 b	74,48 a	Amarelo claro
		± 3,22	± 1,33	± 1,73	± 1,96	± 1,94	
PER	Cerne	56,78 b	12,10 a	28,75 a	31,25 a	66,92 b	Amarelo
		± 6,15	± 1,69	± 3,88	± 3,78	± 3,74	amarronzado

FONTE: A autora (2021). Letras iguais na coluna em cada parâmetro não existe diferença significativa entre cerne e alburno em cada espécie pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Como observado na Tabela 2, em quase todas as espécies houve diferença significativa entre cerne e o alburno, em alguns parâmetros colorimétricos. Nas espécies que apresentaram diferença, essas diferenças cromáticas entre cerne e alburno na madeira são devido à presença de extrativos que são mais abundantes no cerne do que no alburno (RODRÍGUEZ-ANDA et al. 2015, GIMÉNEZ et al. 2000).

Confirmando a diferença estatística dos parâmetros entre o alburno e o cerne, quase todas as espécies foram classificadas em cores diferentes no alburno e no cerne, exceto a jurema preta (JUP) e a imburana (IMB), onde o intervalo de dados é classificado com a mesma coloração. A madeira de maniçoba (MAN) não se encaixou em nenhuma cor da tabela de classificação de cores de madeira sugerida por Camargos e Gonzalez (2001) em função dos valores do parâmetro a\*, estando mais próxima da classificação de madeira esbranquiçada. Também dentre todas as madeiras estudadas, essa espécie sofreu significativo ataque de fungos o que pode ter acarretado alguma alteração da cor, embora o material tenha sido lixado antes da análise. Fungos, umidade, temperatura provocam reações fotoquímicas nos componentes químicos presente na estrutura da madeira o que acarreta alteração na cor da madeira (GONÇALEZ et al., 2005; BURTIN et al., 1998).

A classificação da madeira em cores distintas é um indicativo do potencial da técnica de colorimetria para diferenciação das espécies, mas sempre deve levar em

consideração diferentes fatores que podem influenciar. Em uma mesma espécie pode existir variação de coloração entre cerne e alborno, se a árvore é nativa ou plantada, características de solo, sentido de corte, entre outros (CISNEROS et al., 2019; MOYA; CALVO-ALVARADO, 2012; SOTELO MONTES et al., 2013; SOUSA et al., 2019)

Os valores obtidos para a madeira de angico são diferentes dos observados para a mesma espécie crescendo na Amazônia descritos por Sousa et al. (2019), a luminosidade foi menor, o parâmetro  $a^*$  maior e os parâmetros  $b^*$  e  $C^*$  foram similares, confirmando a influência dos fatores externos na cor da madeira. Diferentes autores descrevendo as mesmas espécies também obtiveram resultados de cor variáveis (MELO et al. 2019; RIBEIRO et al. 2018; SILVA et al. 2017), corroborando a importância de um direcionamento prático para a utilização da cor, seja para caracterização ou homogeneização da qualidade da madeira ou apenas para distinção de espécies.

Na tabela 3 estão os resultados da correlação entre os parâmetros colorimétricos das espécies tanto para o cerne como para o alborno.

TABELA 3 - CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DO CERNE E ALBORNADO DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.

Espécies	L*	a*	b*	Espécies	L*	a*	b*
<b>ANG</b>				<b>JUP</b>			
	L*	1	-		L*	1	-
Cerne	a*	0,6961**	1	Cerne	a*	0,3179**	1
	b*	0,9275**	0,7171**		b*	0,8750**	0,6897**
	L*	1	-		L*	1	-
Alborno	a*	-0,3663**	1	Alborno	a*	0,2325**	1
	b*	-0,5722**	0,2411**		b*	0,8897**	0,5524**
<b>CAT</b>				<b>MAN</b>			
	L*	1	-		L*	1	-
Cerne	a*	-0,0443	1	Cerne	a*	0,1536**	1
	b*	-0,7451**	0,5936**		b*	0,7762**	0,6336**
	L*	1	-		L*	1	-
Alborno	a*	0,3770**	1	Alborno	a*	0,2224**	1
	b*	0,4789**	0,1078**		b*	0,7343**	0,7261**
<b>FEB</b>				<b>PAM</b>			
	L*	1	-		L*	1	-
Cerne	a*	-0,1025**	1	Cerne	a*	-0,0646**	1

Espécies	L*	a*	b*	Espécies	L*	a*	b*		
	b*	0,4659**	0,6588**	1		b*	0,2443**	0,8243**	1
	L*	1	-	-		L*	1	-	-
Alburno	a*	-0,3574**	1	-	Alburno	a*	0,0589	1	-
	b*	0,3983**	0,5309**	1		b*	0,2529**	0,8844**	1
<b>IMB</b>				<b>PER</b>					
	L*	1	-	-		L*	1	-	-
Cerne	a*	-0,5231**	1	-	Cerne	a*	-0,2427**	1	-
	b*	-0,2534**	0,9174**	1		b*	0,7842**	0,3446**	1
Alburno	L*	1	-	-	Alburno	L*	1	-	-
	a*	0,0369	1	-		a*	-0,9220	1	-
	b*	0,2300**	0,8799**	1		b*	-0,5937**	0,7907**	1

FONTE: A autora (2021). \*\* Significativo a 5% pelo teste de Kruskal Wallis.

As correlações entre luminosidade (L\*) e pigmentação vermelha (a\*) apresentaram resultados variáveis entre as espécies, sendo crescente no cerne de ANG, JUP e MAN e no alburno de CAT, JUP e MAN, sendo decrescente no cerne de FEB, IMB, PAM e PER e no alburno de ANG, FEB e apresentação correlação insignificante no cerne de CAT e no alburno de IMB, PAM e PER.

As correlações entre luminosidade (L\*) e pigmento amarelo (b\*) foram significativas para todas as espécies, sendo positiva para o cerne de ANG, FEB, JUP, MAN, PAM e PER e alburno de CAT, FEB, IMB, JUP, MAN e PAM, e negativa para o cerne de CAT e IMB e alburno de ANG e PER.

Entre os pigmentos (a\* e b\*), também houve correlação significativa para todas as espécies, sendo que todas as correlações foram positivas. Há medida que aumentava o pigmento vermelhou, aumentou o pigmento amarelo.

A variação nas correlações entre cerne e alburno é esperada em função da espécie e também da composição química do material, que é variável de acordo com a etapa fisiológica da madeira. Em geral, na formação do cerne ocorre a deposição de substâncias fenólicas (MOYA; CALVO ALVARADO, 2012) e outros componentes que alteram a densidade, propriedade com relação significativa com a cor da madeira explicada em diferentes trabalhos, como o de Sousa et al. (2019).

Cisneros et al. (2019) descrevem correlação dos parâmetros de cor em *Prosopis alba*, verificando que com o aumento da luminosidade (L\*), a pigmentação amarela (b\*) também aumenta no cerne e alburno, enquanto a pigmentação

avermelhada ( $a^*$ ) tende a diminuir à medida que o  $L^*$  aumenta no alburno. Os autores também descrevem uma correlação alta e positiva no cerne entre os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , enquanto no alburno esta correlação é baixa e negativa.

Na tabela 4 está a correlação entre os parâmetros de cor com as características dendrométricas das árvores. Para o ANG a altura ao longo do fuste e o DAP, não influenciaram a luminosidade, para esse parâmetro houve influência negativa para altura total e positiva para altura comercial. Para o pigmento vermelho ( $a^*$ ) ocorreu o inverso, esse parâmetro não sofreu influência da altura total e comercial, porém com o aumento do DAP e da altura ao longo do fuste a cor vermelha diminuiu. O pigmento amarelo teve uma influência maior, aumentando à medida que a altura comercial aumenta e diminuindo com o aumento da altura total e com o DAP, não sofrendo alteração ao longo do fuste.

Para cada espécie essa interação ocorreu de forma diferente entre os parâmetros, resultados que corroboram a literatura existente. Cisneros et al. (2019) analisando árvores individuais verificaram que as madeiras provenientes de árvores de maiores alturas e DAP tendem a ser mais escuras e que a luminosidade teve correlação negativa com a altura total de *Prosopis alba*. Por outro lado, Rink (1987) descreveu correlação positiva entre a luminosidade e altura e diâmetro das árvores em teste de progênie, e Sotelo Montes et al. (2008) em *Calycophyllum spruceanum* verificaram correlação baixa e negativa da luminosidade com a altura das árvores e correlação positiva entre o parâmetro  $b^*$  e o DAP variável em função da altitude da plantação.

TABELA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS E VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.

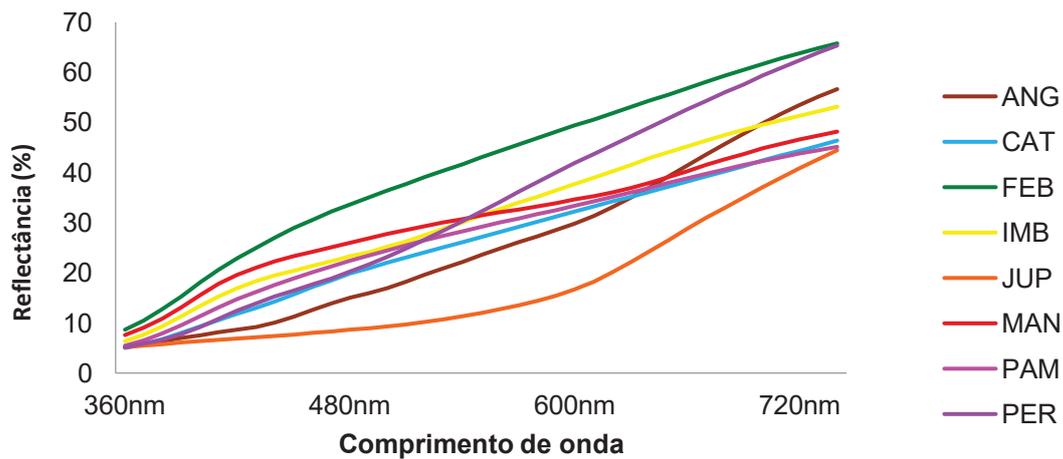
<b>ANG</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>L</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
	H fuste	0,0212	-0,0938**	0,0361
	H total	-0,1120**	-0,0081	-0,1679**
	H comercial	0,1311**	-0,0015	0,1600**
	DAP	0,0373	-0,0481**	-0,1125**
<b>CAT</b>				
	H fuste	0,0272	0,4190**	0,0627**
	H total	0,0067	0,0247	-0,2715**
	H comercial	0,0067	0,0201	-0,1634**
	DAP	0,0067	0,0246	-0,2711**
<b>FEB</b>				
	H fuste	0,1497**	-0,0376**	0,0269**
	H total	-0,1925**	0,1153**	-0,2922**
	H comercial	0,1823**	0,1150**	0,2588**
	DAP	-0,1422**	-0,0748**	-0,2482**
<b>IMB</b>				
	H fuste	0,3154**	-0,1768**	-0,0528
	H total	0,2213**	-0,0136	-0,122**
	H comercial	0,0164	0,2964**	0,1347**
	DAP	-0,0566**	0,3764**	0,2080**
<b>JUP</b>				
	H fuste	-0,0804**	-0,3057**	-0,1579**
	H total	-0,4116**	-0,1325**	-0,3741**
	H comercial	-0,1932	0,0599**	-0,0852**
	DAP	0,4003**	0,1181**	0,3558**
<b>MAN</b>				
	H fuste	0,4360**	0,0085**	0,2308**
	H total	-0,1649**	-0,0091	-0,1528**
	H comercial	-0,1744**	0,0723**	-0,1830**
	DAP	-0,0431**	0,2135**	0,0335
<b>PAM</b>				
	H fuste	0,1145**	-0,0726**	0,2194**
	H total	-0,1159**	0,1952**	0,0925**
	H comercial	-0,2205**	0,0670**	0,1061**
	DAP	-0,2203**	0,0613**	0,1047**
<b>PER</b>				
	H fuste	0,1145**	-0,0726**	0,1294**
	H total	0,1253**	0,0069	0,1989**
	H comercial	0,1108**	-0,0964**	0,0039
	DAP	-0,0855**	0,1007**	0,0411

FONTE: A autora (2021). \*\* Significativo a 5% pelo teste de Kruskal Wallis.

A Figura 7 mostra as curvas de reflectância no visível das espécies analisadas, na faixa de 360 a 740 nm. Observa-se que as curvas tiveram comportamentos variados de acordo com as espécies, dentre isso a espécie FEB

apresentou os maiores valores de reflectância e JUP apresentou os menores valores. Esse resultado sugere que estas espécies se diferem devido à luminosidade, sendo FEB a madeira mais clara e JUP a madeira mais escura, confirmando assim os resultados observados anteriormente para  $L^*$  e demais parâmetros em que essas duas espécies sempre ficaram divergentes uma das outras, conforme a Figura 4.

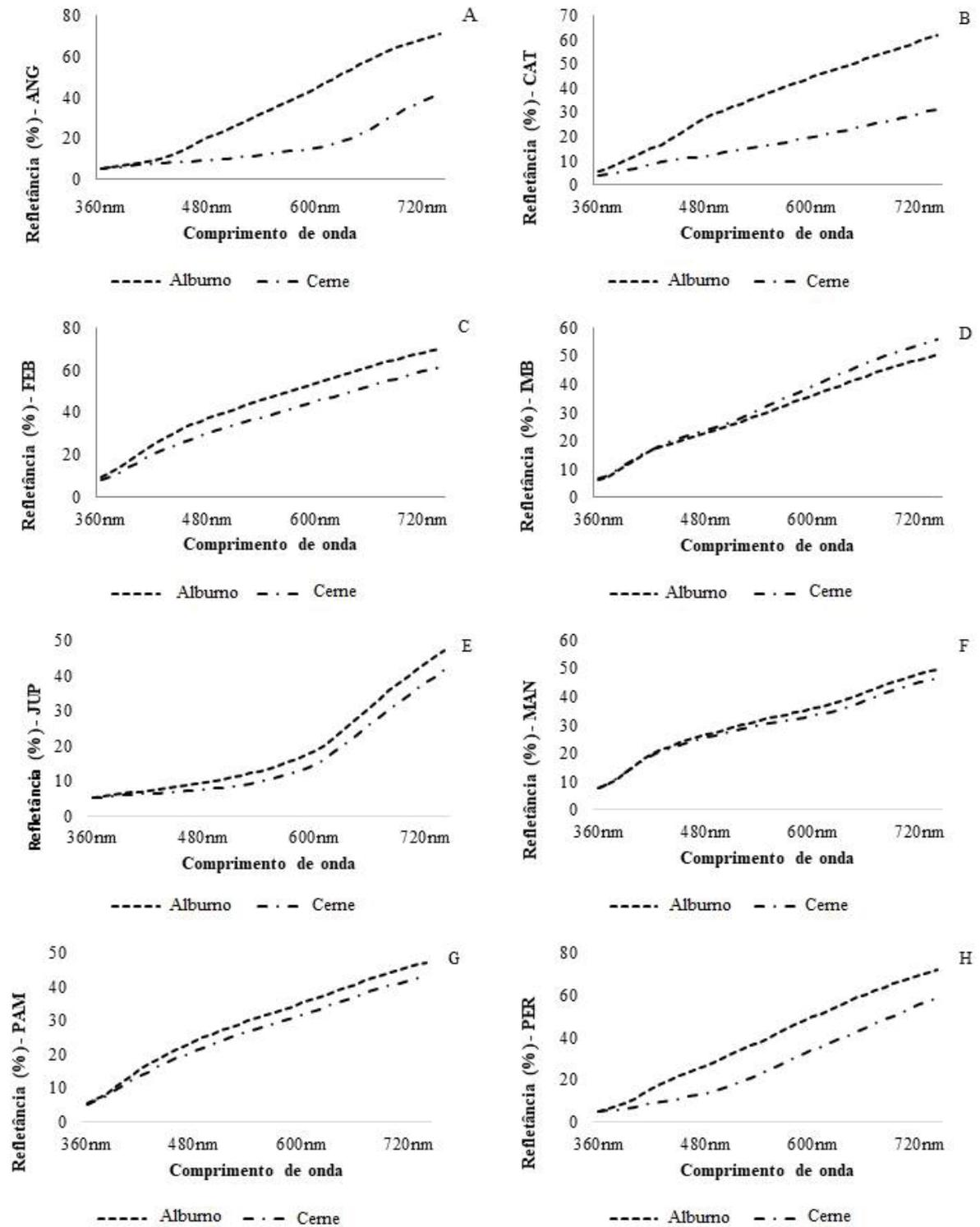
FIGURA 7 - CURVA MÉDIA DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.



FONTE: A autora (2021).

A curva de reflectância média indica que na faixa de 400 – 480 nm há uma ligeira separação de todas as espécies entre as curvas. Com isso, é possível inferir que essa faixa possui o maior potencial para diferenciar as espécies aqui avaliadas. Como na classificação de Camargos e Gonzalez (2001), assim como no teste de significância entre os valores médios dos parâmetros colorimétricos para o cerne e o alburno. Observa-se o comportamento das curvas de reflectância de cada espécie entre o cerne e o alburno na Figura 8.

FIGURA 8 - CURVA MÉDIA DE REFLECTÂNCIA ENTRE CERNE E ALBUENO DAS ESPÉCIES DA CAATINGA.



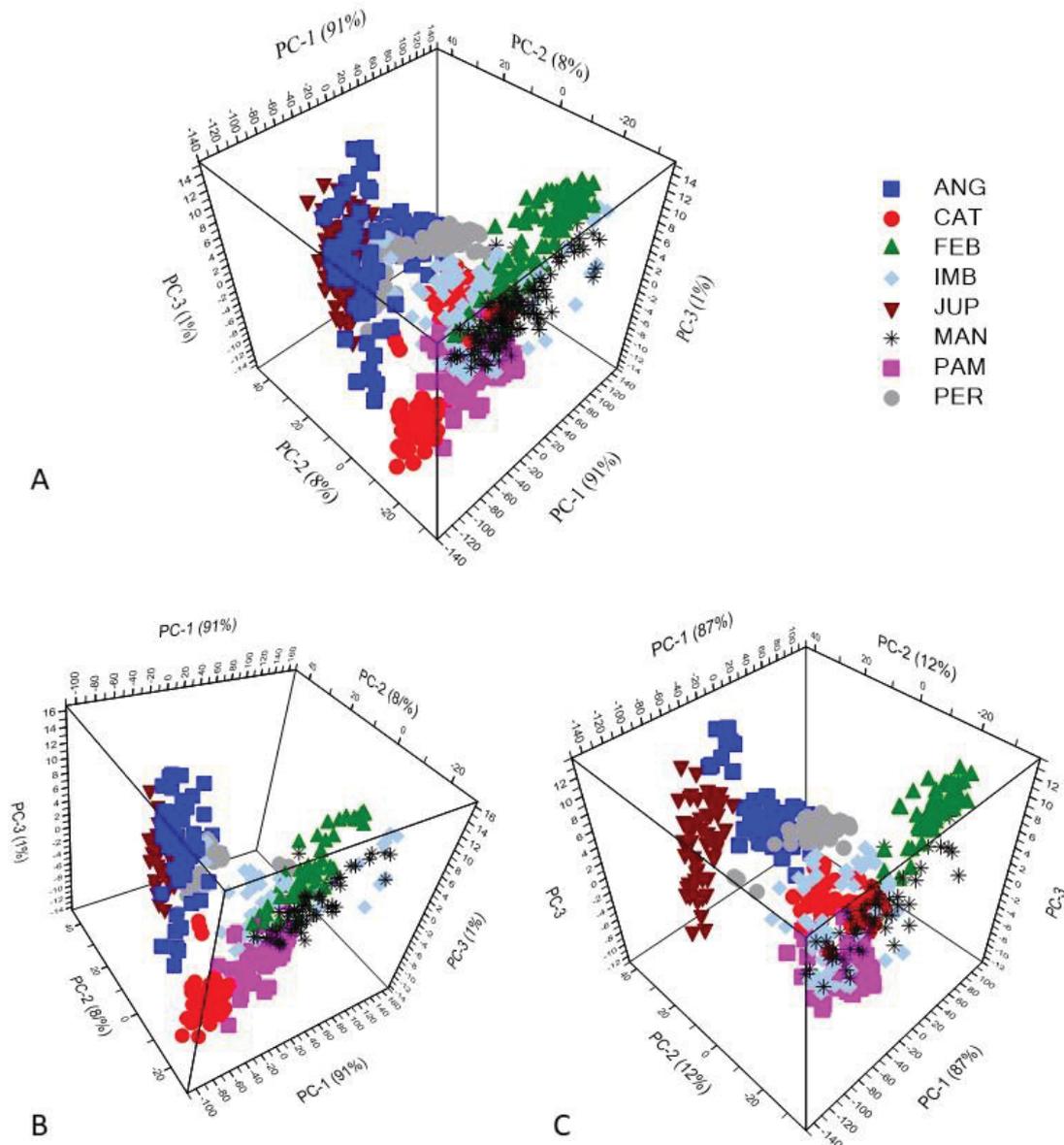
FONTE: A autora (2021).

Observa-se que as curvas de reflectância entre cerne e albarno tiveram comportamentos distintos em todas as espécies, confirmando os dados colorimétricos

apresentados na Tabela 2, de acordo com o esperado. A diferença nos comprimentos de onda entre 480-720 nm, foi mais acentuada em espécies como ANG e CAT, como também mais similar para as espécies IMB e MAN. Pode-se observar que a IMB foi a única espécie que apresentou cerne com valores médios mais altos na curva do que os valores médios da curva do alburno, relacionado à faixa de pigmentos amarelo-vermelho, podendo ser influenciado pelo maior contraste nas estruturas anatômicas da madeira como espessura da parede dos vasos e fibras. As espécies apresentaram cerne mais escuro do que o alburno, fenômeno mais comum devido o cerne ser responsável pela acumulação de extrativos o que corrobora para o escurecimento da madeira (ZANETTI et al., 2003)

O agrupamento das espécies em função do espectro médio da posição incluindo cerne e alburno (Figura 9a), apenas do cerne (Figura 9b) e apenas do alburno (Figura 9c) mostram a confusão entre algumas madeiras.

FIGURA 9 - GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM OS ESPECTROS VISÍVEIS MÉDIOS POR DISCO (A), APENAS DO CERNE (B) E APENAS DO ALBURNO (C), POR ALTURA NO FUSTE DE ESPÉCIES DA CAATINGA.



FONTE: A autora (2021)

Avaliando a distribuição das espécies da Figura 9, observa-se uma leve tendência de agrupamento de algumas espécies: 1) do angico (ANG), jurema preta (JUP) e pereiro (PER), principalmente com os dados em separado do cerne e do alburno; 2) catingueira (CAT) e pau mole (PAM), mais distintos com os dados do cerne; 3) feijão bravo (FEB), imburana (IMB) e maniçoba (MAN).

Esse agrupamento entre espécies pode ser em função da densidade da madeira. O estudo de Vitória (2013) sobre densidade da madeira de espécies da

caatinga apresentou diferença estáticas entre as espécies ANG, PER, JUP, e CAT com densidade alta apresentando respectivamente, 0,787; 0,737; 0,735; 0,647 g/cm<sup>3</sup>. Enquanto as espécies IMB e MAN apresentaram os resultados de densidade da madeira mais baixos, sendo elas 0,385 e 0.378 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Pensando na utilização do espectro visível como forma de discriminação das espécies, foram construídos modelos pela Análise Linear Discriminante (LDA) e *Support Vector Machine* – SVM com os dados médios de cada espécie e apenas com os dados do cerne, utilizando-se espectros de reflectância provenientes de duas árvores. Os dados da terceira árvore foram utilizados para a predição externa, sendo avaliada a matriz de confusão resultante. Os dados corretamente classificados em cada espécie e situação estão da Tabela 5.

TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO CORRETA NA PREDIÇÃO EXTERNA DOS MODELOS LDA E SVM COM BASE NOS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA CAATINGA.

Espécies	Modelos de predição					
	LDA			SVM		
	Disco (n=36)	Cerne (n=18)	Alburno (n=18)	Disco (n=36)	Cerne (n=18)	Alburno (n=18)
ANG	69%	100%	33%	53%	72%	22%
CAT	53%	100%	94%	72%	94%	55%
FEB	39%	39%	83%	69%	67%	94%
IMB	72%	50%	100%	69%	50%	83%
JUP	36%	61%	100%	83%	100%	72%
MAN	61%	100%	72%	67%	100%	44%
PAM	67%	39%	28%	75%	83%	72%
PER	50%	100%	100%	100%	100%	100%

FONTE: A autora (2021)

A correta classificação das espécies foi diferente em relação aos modelos utilizados e também em função dos dados médios ou apenas do cerne. A LDA foi adequada para classificação das espécies ANG, CAT, MAN e PER com 100% de acerto quando foram utilizados apenas os dados do cerne, variando de 39% a 61% nas outras espécies. Utilizando apenas os dados do alburno, as espécies IMB, JUP e

PER foram corretamente classificadas, sendo que as outras variaram de 28% a 94%. No caso da aplicação da média da árvore, os melhores resultados foram para a espécie IMB, com valores acima de 60% para ANG, MAN e PAM. De maneira geral com esta metodologia de classificação a utilização dos dados em separado (cerne e alburno) é mais indicada.

No caso do método SVM, a correta classificação de todas as amostras (100%) ocorreu para as espécies JUP, MAN e PER, também com os dados apenas do cerne, sendo que as outras espécies variaram de 50% (IMB) a 94% (CAT). Aplicando-se apenas os dados do alburno, as amostras de PER foram 100% classificadas corretamente, com variação de 22% a 94% nas outras espécies. Com os dados médios da espécie foi possível classificar corretamente as amostras acima de 50%. Com os dados apenas do cerne as amostras de ANG, CAT e PAM foram melhor classificadas que em outros modelos, e ao contrário, com amostras apenas de alburno FEB e IMB foram melhor discriminadas. Para a espécie PER, qualquer situação resulta em distinção total das amostras.

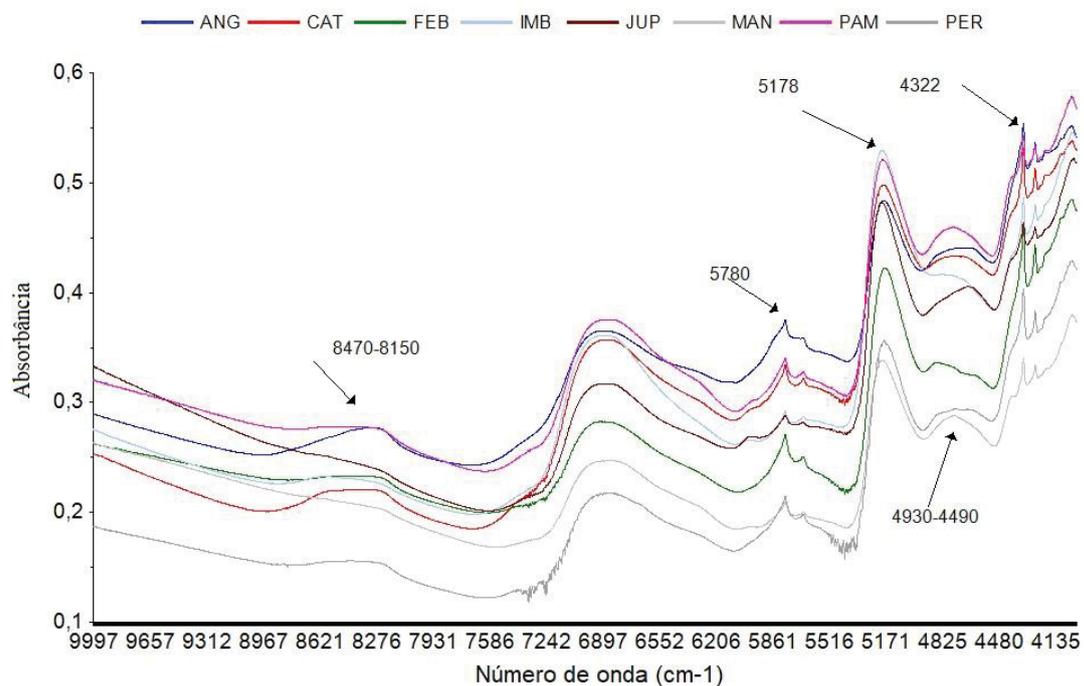
Em relação às espécies estudadas o melhor método de classificação foi variável em função do conjunto de amostras, também em função da variabilidade individual da árvore. Esse resultado possivelmente é acarretado pela anatomia da madeira uma vez que a metodologia de espectroscopia consegue predições para os caracteres anatômicos como dimensões de fibras e vasos (ARRIEL, 2017). A anatomia das espécies das caatingas apresenta variabilidades entre elas, tais como a espécie CAT apresenta poros pequenos com porosidade difusa uniforme, parênquima paratraqueal unilateral e vasicêntrico confluyente. Enquanto a espécie ANG possui porosidade difusa, porém com predominância de poros solitários (ZIDANES, 2017). Essas nuances influenciam na claridade e conseqüentemente na reflexão da luz, contribuindo assim para resultados da espectroscopia no visível.

#### 4.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO DA CASCA

Os espectros NIR médios da casca por espécie (Figura 10) indicam a similaridade do material e a região de  $4000\text{-}5100\text{ cm}^{-1}$  +  $5500\text{-}7000\text{ cm}^{-1}$  com maiores informações para diferenciação. A região entre  $8470 - 8150\text{ cm}^{-1}$  possui bandas atribuídas à celulose, hemicelulose e lignina; a banda  $5795\text{ cm}^{-1}$  está relacionada com a lignina e a  $5776\text{ cm}^{-1}$  com celulose;  $5178\text{ cm}^{-1}$  corresponde a água; a região entre

4930 e 4490  $\text{cm}^{-1}$  compreende celulose, hemicelulose, lignina e extrativos (SCHWANNINGER et al. 2011). A casca provavelmente absorve menos luz, de acordo de Acquah et al. (2015) e as propriedades espectrais das cascas podem variar consideravelmente dentro de uma população de espécies e mesmo dentro de um único indivíduo (CLARK; ROBERTS, 2012).

FIGURA 10 - ESPECTROS NIR MÉDIOS ORIGINAIS DA CASCA DE ESPÉCIES DA CAATINGA.

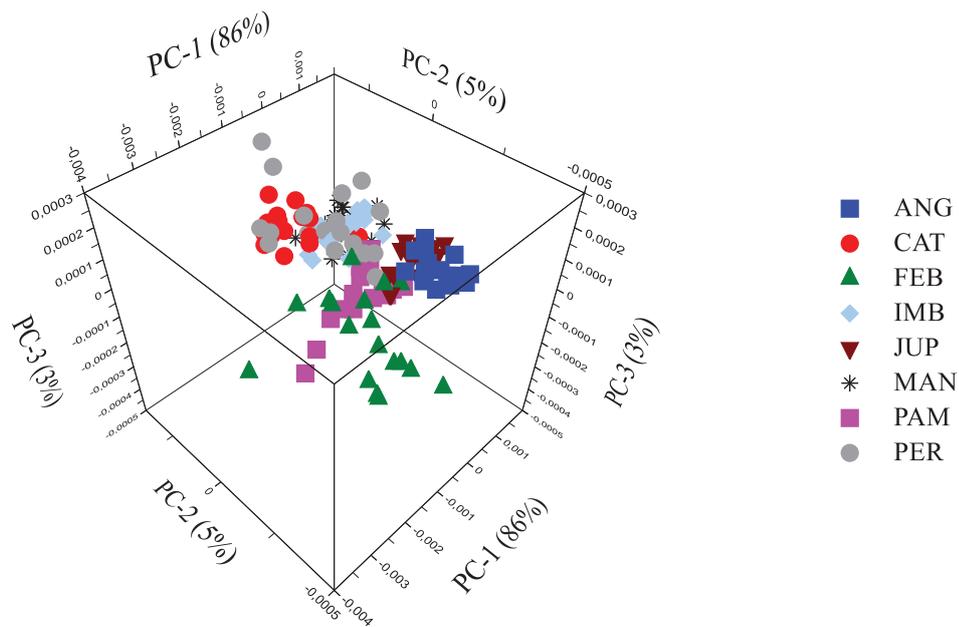


FONTE: A autora (2021).

Os espectros de NIR estão relacionados com a composição química do material, que por sua vez, tem interação direta com a herbivoria devido às defesas químicas que as plantas desenvolvem contra ataques na própria casca e nas folhas das plantas vivas (CIPOLLINI et al., 2011). Além disso, os extrativos nas cascas são mais abundantes e mais variáveis do que na madeira. Outro diferencial químico da casca é que ela possui teores menores de polissacarídeos e maiores teores de lignina na sua composição química, quanto à propriedade térmica, a casca apresenta maior percentual de carbono fixo e cinzas (MIRANDA; GOMINHO; PEREIRA, 2012; ACQUAH et al., 2015; TOSCANO et al., 2017). A composição química da casca proporciona diferentes informações únicas para diferenciação das espécies, indicando que a técnica de NIR tem potencial para discriminar espécies através da casca.

A análise de componentes principais, para verificar o agrupamento das amostras, não foi eficiente com os dados originais, sendo utilizado o pré-tratamento em segunda derivada (Figura 11), onde pode ser observado que a casca do ANG e do CAT se agrupou de forma unificada e um pouco distante das outras espécies, sendo possível identificá-las. O FEB também se diferenciou das demais espécies, porém apresentou um agrupamento disperso. O PER se mostrou também muito disperso, porém misturado entre as espécies. As espécies IMB, JUP, MAN e PAM estão misturadas, o que pode ser resultado da similaridade entre as cascas (Figura 3) dessas espécies ou resultado da variação da umidade e da irregularidade da superfície. Outro fator que pode ter contribuído para este resultado, pode ter sido o ataque de fungos.

FIGURA 11 - GRÁFICO DE SCORES DA PCA COM ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DA CASCA DE ESPÉCIES DA CAATINGA.



FONTE: A autora (2021).

Através de observação visual, as espécies que se misturaram apresentaram cascas com superfícies irregulares e com espessura fina, exceto os exemplares de JUP, e cascas escamosas como é o caso das espécies IMB e MAN. Já as espécies que apresentaram boa distinção no PCA, foi ANG, CAT e FEB, apresentaram morfologias diferentes das espécies que se misturaram, possuem superfícies planas e espessura variando de média a grossa. A espessura da casca pode variar entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie em função da defesa contra herbivoria, ação do fogo, suporte biomecânico e respiração (PAINE et al., 2010).

Os resultados apresentados nessa PCA não separaram de forma distinta as espécies estudadas, e isso provavelmente se deve ao material de investigação, que de acordo com Toscano et al. (2017) a casca é um material de alta variabilidade e mais heterogêneo do que a madeira, o que provavelmente dificulta a discriminação das espécies através de um PCA, mesmo após o pré-tratamento. Portanto, a PCA não é uma ferramenta confiável para diferenciar amostras de casca para as espécies estudadas.

Como o foco desse estudo é a discriminação dos dados obtidos do NIR, foram testados dois modelos para verificar a possibilidade de discriminação das espécies em função da casca na prática, LDA e SVM utilizando-se os dados em segunda derivada, com espectros médios por posição de 2 árvores para construção do modelo e de 1 árvore para validação externa. Os resultados para LDA (Tabela 6) e SVM (Tabela 7) indicam que a análise SVM resultou em uma melhor discriminação, sendo classificado corretamente 7 espécies das 8 analisadas para o modelo SVM, enquanto o LDA apresentou um erro maior, apenas duas espécies foram classificadas corretamente. De acordo com a quantidade de amostras, o modelo LDA classificou corretamente 47,91%, enquanto o modelo SVM resultou em 95,83%.

TABELA 6 - MATRIZ DE CONFUSÃO NA CLASSIFICAÇÃO EXTERNA COM BASE NO MODELO LDA DOS ESPECTROS NIR DA CASCA EM SEGUNDA DERIVADA NA REGIÃO DE 4000-5100 + 5500-7000  $\text{cm}^{-1}$ .

	ANG	CAT	FEB	IMB	JUP	MAN	PAM	PER
ANG	2	0	0	0	0	0	0	0
CAT	0	0	0	2	0	0	0	1
FEB	4	0	6	0	1	0	0	1
IMB	0	0	0	2	0	0	0	0
JUP	0	0	0	0	5	0	0	0
MAN	0	0	0	0	0	6	0	0
PAM	0	0	0	0	0	0	0	0
PER	0	6	0	2	0	0	6	4

FONTE: A autora (2021).

TABELA 7 - MATRIZ DE CONFUSÃO NA CLASSIFICAÇÃO EXTERNA COM BASE NO MODELO SVM DOS ESPECTROS NIR DA CASCA EM SEGUNDA DERIVADA NA REGIÃO DE 4000-5100 + 5500-7000  $\text{cm}^{-1}$

	ANG	CAT	FEB	IMB	JUP	MAN	PAM	PER
ANG	6	0	0	0	0	0	0	0
CAT	0	6	0	0	0	0	0	0
FEB	0	0	6	0	0	0	0	0
IMB	0	0	0	6	0	0	0	0
JUP	0	0	0	0	6	0	0	0
MAN	0	0	0	0	0	6	0	0
PAM	0	0	0	0	0	0	4	0
PER	0	0	0	0	0	0	2	6

FONTE: A autora (2021).

As espécies classificadas incorretamente (Tabela 6) para o LDA não mostraram nenhum padrão claro em relação aos erros, foram elas o ANG, CAT, IMB, PAM e PER. Das 48 amostras analisadas neste modelo, apenas 23 foram classificadas corretamente. Este resultado corrobora a dificuldade de se estudar anatomia de casca é proveniente dessa alta variabilidade entre e dentre espécies, indicando que essa dificuldade contribui para erros de identificação de espécie através desse único caractere morfológico, sendo necessário outras partes da planta para confirmação (BRESSANE et al., 2018; MILLER; BLUM, 2018). As únicas espécies classificadas corretamente para o modelo LDA não apresentaram nenhuma característica visual semelhante (Figure 3), foram elas o FEB e a MAN. O FEB apresenta casca fissurada, textura levemente rugosa e espessura grossa enquanto a casca do MAN é laminada e tem espessura extremamente fina. A amostra de JUP apresentou apenas uma classificação incorreta, sendo classificado como FEB. Esse erro pode ser associado à espessura e textura da casca, ambas apresentam espessura grossa e textura rugosa.

A discriminação externa mais eficiente para as espécies da caatinga analisadas neste estudo foi o método SVM que classificou quase todas as espécies corretamente (Tabela 7). Das 48 amostras, 46 amostras foram classificadas corretamente. Apenas duas amostras da espécie PAM foram classificadas incorretamente, sendo classificadas como PER. Ambas as cascas apresentam padrão morfológicos distintos (Figure 3), porém as duas espécies possuem diferentes formas de depressões na

superfície e a presença dessas depressões na casca pode ter resultado no erro de classificação. Outra teoria para explicar este resultado pode estar ligado à contaminação de fungos.

A ausência de um padrão claro para explicar as classificações incorretas também ficou inexistente em outro estudo utilizando a técnica de NIR em tecidos da casca (HADLICH et al., 2018). Este mesmo autor classificou espécies amazônicas em campo, através de um equipamento portátil, realizando leituras na casca externa (ritidoma) e interna (floema).

Neste trabalho, o modelo que se destacou foi o método SVM, assim como no trabalho de Zhou, Rahimi e Avramidis (2020), os quais descrevem que a classificação do modelo SVM foi melhor do que o LDA para discriminar madeira de western hemlock (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) e amabilis fir (*Abies amabilis* (Dougl.) Forbes), justificando que o melhor desempenho do modelo SVM é devido ao modelo aproveitar informações não lineares latentes nos dados espectrais, enquanto o LDA aproveita apenas as informações lineares dos espectros. Também foi descrito como melhor método de classificação na determinação da qualidade de biocombustível com base em espectros NIR (MANCINI; TAAVITSAINEN; TOSCANO, 2018) e teve uma taxa de reconhecimento de 92,8% na predição e identificação da origem de *Angelica dahurica* (XU et al., 2019). Por outro lado, Sem, Kolar e Lusa (2018) relatam que o LDA é mais sensível às diferenças entre classes do que o SVM.

Apesar dos espectros da casca apresentarem maiores variações espectrais intraespecíficas devido aos efeitos ambientais, espessura da casca e idade da planta, e isso diminui seu poder de discriminação pela técnica de NIR (HADLICH et al., 2018), os resultados encontrados neste estudo foram satisfatórios. Da mesma forma, a técnica se mostrou eficiente em estudos de discriminação de espécies através das folhas, galhos e madeira (LANG et al., 2017; SOARES et al., 2017).

A técnica de NIR juntamente com a quimiometria pode melhorar a qualidade da identificação de espécies em posto de fiscalização, reduzindo custo e aumentando a velocidade de identificação sem a necessidade de mais caracteres morfológicos da planta. O limitante dessa técnica é a falta de um modelo de referência para as espécies locais ou um modelo mais abrangente para o bioma, visto que as espécies da caatinga têm alta adaptabilidade às diferentes fisionomias do bioma e esta mudança provoca alterações nas características morfológicas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos indicaram uma diferenciação entre as espécies e também uma diferença estatística entre o alburno e o cerne de quase todas as espécies gerando uma classificação de cores diferentes para alburno e cerne, exceto para Jurema Preta e Imburana que apresentaram a mesma coloração e a Maniçoba que não se encaixou na classificação de cor provavelmente devido ao intenso ataque de fungo.

Entre as correlações, foram observados resultados variáveis nas correlações entre parâmetros colorimétricos X cerne e alburno, e parâmetros colorimétricos X dados dendrométricos em função das espécies.

A curva de reflectância média na madeira indicou que na faixa de 400 – 480 nm há uma ligeira separação de todas as espécies, inferindo que essa faixa possui o maior potencial para diferenciar as espécies. Com relação à curva de reflectância entre cerne e alburno o resultado foi uma distinção em todas as espécies, confirmando os dados colorimétricos, e o comprimento de onda entre 480-720 nm, foi o marco do início da separação entre cerne e alburno em todas as espécies.

O espectro médio visível apresentou uma leve tendência de agrupamento de algumas espécies, formando 3 grupos distintos. Na discriminação das espécies a classificação a partir do espectro visível foi diferente em relação aos modelos utilizados e variável em função do conjunto de amostras, e também em função da variabilidade individual da árvore.

Os espectros NIR médios da casca por espécie indicaram similaridade do material e a região de  $4000-5100\text{ cm}^{-1}$  +  $5500-7000\text{ cm}^{-1}$  com maiores informações para diferenciação. Na análise de componentes principais, para verificar o agrupamento das amostras, os resultados não foram eficientes. Já na discriminação das espécies a partir dos dados obtidos do NIR, a análise SVM resultou em uma melhor discriminação em comparação com o LDA, classificando corretamente 7 espécies a partir da casca das 8 analisadas (95,83%).

## REFERÊNCIAS

- ACQUAH, G. E.; VIA, B. K.; FASINA, O. O.; ECKHARDT, L. G. Non-destructive prediction of the properties of forest biomass for chemical and bioenergy applications using near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 23, n. 2, p. 93-102, 2015.
- ALLEN, K.; DUPUY, J. M.; GEI, M. G; HULSHOF, C.; MEDVIGY, D.; PIZANO, C.; SALGADO-NEGRET, B.; SMITH, C. M.; TRIERWEILER, A.; VAN BLOEM, S. J. Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes? **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 2, p. 1-46, 2017.
- AMÉRICO, C. Sustentabilidade para o desenvolvimento da Caatinga: Desmatamento causado pelo uso da madeira para produção de energia é um dos problemas do bioma. Ações combinadas que protejam a fauna, flora e o bem-estar social garantem benefício para a região. Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7003-sustentabilidade-para-o-desenvolvimento-da-caatinga>>. Acesso em: 30 abr. 2020.
- AMORIM, P. G. R.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. A. Propriedades da madeira de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis* estimadas por colorimetria. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 461-466, 2013.
- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; FONSECA, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, v. 33, p. 1353-1367, 2018.
- ARRIEL, T. G. Espectroscopia no infravermelho próximo na predição de características da madeira em clones de *Eucalyptus*. 2017. 63 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- ATAYDE, C. M.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.). **Cerne**, v.17, n.2. p.231-235, 2011.
- BARROS, S. V. dos S.; MUÑIZ, G. I. B. de; MATOS, J. L. M. de. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 337-342, 2014.
- BASTIN, J. F.; BERRAHMOUNI, N.; GRAINGER, A.; MANIATIS, D.; MOLLICONE, D.; MOORE, R.; PATRIARCA, C.; PICARD, N.; SPARROW, B.; ABRAHAM, E. M. The extent of forest in dryland biomes. **Science**, v. 356, n. 6338, p. 635-638, 2017.
- BERGO, M.C.J.; PASTORE, T.C.M.; CORADIN, V.T.R.; WIEDENHOEFT, A.C.; BRAGA, J.W.B. NIRS identification of *Swietenia macrophylla* is robust across specimens from 27 countries. **IAWA Journal**, v.37, n.3, p.420-430, 2016.
- BLACKIE, R.; BALDAUF, C.; GAUTIER, D.; GUMBO, D.; KASSA, H.; PARTHASARATHY, N.; PAUMGARTEN, F.; SOLA, P.; PULLA, S.; WAEBER, P.

Tropical dry forests: the state of global knowledge and recommendations for future research. **CIFOR**, p. 1-39, 2014.

BOMBARDIER, V.; SCHMITT, E. Fuzzy rule classifier: capability for generalization in wood color recognition. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 23, n. 6, p. 978-988, 2010.

BOUDOUAYA, M.; BENHASSAINI, H.; BENDIMERED-MOURI, F.Z.; MOTHE, F.; FOURNIER, M. Évaluation de la variabilité de la couleur du bois de *Pistacia atlantica* Desf. du Nord de l'Algérie. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 330, n. 4, p. 23-35, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biomass: Caatinga**. Brasília, DF, [2014a]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomass/caatinga>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria n° 443, de 17 de dezembro de 2014b. **Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção**. Diário Oficial da União, Brasília, 17 dez. 2014. 25 p. Disponível em: <<https://ckan.jbrj.gov.br/dataset/23f2e24c-5676-4acd-83f0-03621cba4364/resource/8d0bbe11-e7d4-49c3-98ba-c07f2dfac5e/download/portariamma4432014listaespeciesfloraameacadasextincaoBrasil.pdf>>. Acesso em 20 de agosto de 2020.

BRESSANE, A.; FENGLER, F.H.; ROVEDA, S.R.M.M.; ROVEDA, J.A.F.; MARTINS, A.C.G. Arboreal identification supported by fuzzy modeling for trunk texture recognition. **TEMA**, v. 19, n. 1, p. 1-19, 2018.

BRISCHKE, C.; WELZBACHER, C.; BRANDT, K.; RAPP, A. Quality control of thermally modified timber: interrelationship between heat treatment intensities and CIE L\*a\*b\* color data on homogenized wood samples. **Holzforschung**, v. 61, p. 19–22, 2007.

BURGESS, R.; HANSEN, M.; OLKEN, B. A.; POTAPOV, P.; SIEBER S. The political economy of deforestation in the tropics. **Quarterly Journal of Economics**, v. 127, p. 1707–1754, 2012.

BURTIN, P.; JAY-ALLEMAND, C.; CHARPENTIER, J. P.; JANIN, G. Natural wood colouring process in *Juglans* sp. (*J. nigra*, *J. regia* and hybrid *J. nigra* 23 x *J. regia*) depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. **Trees**, v. 12, n. 5, p. 258-264, 1998.

CAMARGOS J. A. A., GONÇALEZ, J. C. 2001. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal** v. 15, p. 31-41, 2001.

CHENG, F.; WU, C.; LEINER, B. The influence of user interface design on consumer perceptions: a cross-cultural comparison. **Computers in Human Behavior**, v. 101, p. 394-401, 2019.

CIPOLLINI, D.; WANG, Q.; WHITEHILL, J. G. A.; POWELL, J. R.; BONELLO, P.; HERMS, D. A. Distinguishing defensive characteristics in the phloem of ash species resistant and susceptible to emerald ash borer. **Journal of Chemical Ecology**, v. 37, n. 5, p. 450-459, 2011.

CISNEROS, A.B.; NISGOSKI, S.; MOGLIA, J.G.; CÓRDOBA, M. Colorimetría en la madera de *Prosopis alba*. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 21, n. 3, p. 393-404, 2019.

CLARK, M.L.; ROBERTS, D.A. Species-level differences in hyperspectral metrics among tropical rainforest trees as determined by a tree-based classifier. **Remote Sensing**, v. 4, n. 6, p. 1820-1855, 18 jun. 2012.

DEGEN, B.; WARD, S.E.; LEMES, M.R.; NAVARRO, C.; CAVERS, S.; SEBBENN, A.M. Verifying the geographic origin of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) with DNA-fingerprints. **Forensic Science International: Genetics**, v. 7, n. 1, p. 55-62, 2013.

DERKYI, N. S. A.; BAILLÈRES, H.; CHAIX, G.; THEVENOM, M. F.; OTENG-AMOAKO, A. A.; ADU-BREDU, S. Colour variation in teak (*Tectona grandis*) wood from plantations across the ecological zones of Ghana. **Ghana Journal of Forestry**, v. 25, p. 40-49, 2009.

DEXTER, K. G.; PENNINGTON, R. T.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; BUENO, M. L.; MIRANDA, P. L. S.; NEVES, D. M. Inserting tropical dry forests into the discussion on biome transitions in the tropics. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 1-7, 24 2018.

DRYFLOR, K. B. R.; DELGADO-SALINAS, A.; DEXTER, K. G.; LINARES-PALOMINO, R.; OLIVEIRA-FILHO, A.; PRADO, D.; PULLAN, M.; QUINTANA, C.; RIINA, R. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1383-1387, 2016.

ESPINOZA, E. O.; WIEMANN, M. C.; BARAJAS-MORALES, J.; CHAVARRIA, G. D.; MCCLURE, P. J. Forensic analysis of cites-protected *Dalbergia* timber from the americas. **Iawa Journal**, v. 36, n. 3, p.311-325, 2015.

FAO. 2001. **Global Ecological Zoning for the Global Forest Resources Assessment 2000**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 2001. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/006/ad652e/ad652e00.htm>. Acesso em 19 agosto de 2020.

FEDOROV, A.; BABKO, A.; SUKHARENKO, A.; EMELIN, V. **Extração ilegal de madeira e comércio de produtos florestais na Federação Russa**. GRID-Arendal, 2017. Disponível em: < <https://www.grida.no/publications/316> > Acesso em: 01 de junho de 2019.

FERNANDES, M. F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L. P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species

richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, v. 174, p.104079-104086, 2020.

FERREIRA, C. D.; SOUTO, P. C.; LUCENA, D. S.; SALES, F. C. V.; SOUTO, J. S. Florística do banco de sementes no solo em diferentes estágios de regeneração natural de Caatinga. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 562-569, 30 dez. 2014.

FLORA DO BRASIL. **Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em:

<<http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB115>>. Acesso em 10 de setembro de 2020.

GARCIA, R. A.; MARINONIO, G. B. Variação da cor da madeira de Teca em função da densidade e do teor de extrativos. **Floresta e Ambiente**. v. 23, n.1 p.124–134, 2016.

GARIGLIO, M. A. Manejo florestal sustentável em assentamentos rurais na caatinga. In: PAREYN, F. G. C.; VIEIRA, J. L.; GARIGLIO, M. A (Orgs.). **Estatística Florestal da Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, v. 2, p. 6-17, 2015.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. **Estatística Florestal da Caatinga**. Ministério do Meio Ambiente – Serviço Florestal Brasileiro. Brasília, 2010, p. 369.

GILLESPIE, T. W.; LIPKIN, B.; SULLIVAN, L.; BENOWITZ, D. R.; PAU, S.; KEPPEL, G. The rarest and least protected forests in biodiversity hotspots. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 14, p. 3597-3611, 2012.

GIMÉNEZ, A. M.; RÍOS, N.; MOGLIA, G. Relación albura-duramen en tres especies arbóreas de la Región Chaqueña Seca. **Quebracho**, v. 8, n. 1, p. 56-63, 2000.

GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. F.; VALLE, A. T. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, ano 20, n. 72, p. 47-58, 2001.

GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; FARIAS, A. L. S.; GODOI, A. C. L.; CHARRIER, F.; CHARRIER, B. Valorisation d'espèces brésiliennes de substitution pour l'industrie du meuble: tanimbuca et louro. **Bois et Forêts des Tropiques**, Paris, v. 286, n. 4, p. 55-64, 2005.

HADLICH, H. L.; DURGANTE, F. M.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J. Q.; VICENTINI, A. Recognizing Amazonian tree species in the field using bark tissues spectra. **Forest Ecology and Management**, v. 427, p. 296-304, 2018.

HEIN, P. R. G.; PAKKANEN, H.; SANTOS, A. A. D. Challenges in the use of near infrared spectroscopy for improving wood quality: A review. **Forest Systems**, v. 26, n. 3, eR03, 2017.

HORIKAWA, Y.; TAZURU, S.M.; SUGIYAMA, J. Near-infrared spectroscopy as a potential method for identification of anatomically similar Japanese diploxylons. **Journal of Wood Science**, v.61, p.251–261, 2015.

HUNT, R. W. G. **The reproduction of colour in photography, printing and television**. v. 2, n. 3, p. 312, 1969.

HWANG, S.W.; HORIKAWA, W.H.; LEE, W.H.; SUGIYAMA, J. Identification of *Pinus* species related to historic architecture in Korea using NIR chemometric approaches. **Journal of Wood Science**, v.62, p.156–167, 2016.

ICCWC - **International Consortium on Combating Wildlife Crime. Strategic Programme 2016 – 2020**. p. 17, 2016. Disponível em: <<https://www.interpol.int/Crimes/Environmental-crime>> Acessado em 02 jun. 2019.

INSA - INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Cerâmica na caatinga terá manejo florestal**. Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2015. Disponível em: <<http://mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=724>>. Acesso em: 30 abr. 2020.

InsideWood. 2004-onwards. Disponível em <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search> Acesso em 10 de setembro de 2020.

INTERPOL. **National Environmental Security Task Force: Bringing Compliance and Enforcement Agencies Together to Maintain Environmental Security**. 2014. Disponível em: <<https://www.interpol.int/Crimes/Environmental-crime>>. Acesso em: 26 Mai. 2020.

INTERPOL. **Global forestry enforcement: Strengthening Law Enforcement Cooperation Against Forestry Crime**. 2019. Disponível em: <<https://www.interpol.int/Crimes/Environmental-crime/Forestry-crime>>. Acesso em: 26 Maio 2020.

INTERPOL-UNEP. **Strategic report: environment, peace and security a convergence of threats**. 2016. Disponível em: <<https://www.interpol.int/Crimes/Environmental-crime>>. Acessado em: 29 mai. 2020.

KLEINSCHMIT, D.; MANSOURIAN, S.; WILDBURGER, C.; PURRET, A. **Illegal logging and related timber trade – dimensions, drivers, impacts and responses a global scientific rapid response assessment report**. IUFRO World Series, v. 35. p. 148, 2016. Disponível em: <<https://www.grida.no/publications/345>> Acesso em 02 jun. 2020.

KLUMPERS, J.; JANIN, G.; BECKER, M. The influences of age, extractive content and soil water on wood color in oak: the possible genetic determination of wood color. **Annales des Sciences Forestières**, Versailles, v. 50, n. 1, p. 403-409, 1993.

KOBAYASHI, K.; HWANG, S.; OKOCHI, T.; LEE, W.; SUGIYAMA, J. Non-destructive method for wood identification using conventional X-ray computed tomography data. **Journal of Cultural Heritage**, v. 38, p.88-93, 2019.

- KOKUTSE, A. D.; STOKES, A.; BAILLÈRES, H.; KOKOU, K.; BAUDASSE C. Decay resistance of Togolese teak (*Tectona grandis* L. f.) heartwood and relationship with colour. **Trees**, v. 20, n. 2, p. 219-223, 2006.
- LANG, C.; ALMEIDA, D. R. A.; COSTA, F. R. C. Discrimination of taxonomic identity at species, genus and family levels using Fourier Transformed Near-Infrared Spectroscopy (FT-NIR). **Forest Ecology and Management**, v. 406, p. 219-227, 2017.
- LEAL, I. R., RIBEIRO-NETO, J. D.; OLIVEIRA, F. M. P.; ARCOVERDE, G. B.; FEITOSA, R. M.; ANDERSON, A. N. Ants of the Caatinga: diversity, biogeography, and functional responses to anthropogenic disturbance and climate change. In: Silva, J. C., Leal, I., Tabarelli, M. (Eds.), **Caatinga: the Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Springer, Cham, p. 23–63, 2017.
- LOPES, M. C. A; ARAÚJO, V. F. P.; VASCONCELLOS, A. The effects of rainfall and vegetation on litterfall production in the semiarid region of northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3, p. 703-708, 2015.
- MADY, F. T. M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais**. Manaus: SEBRAE/AM/Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 2000. 212 p.
- MALIK, J.; OZARSKA, B.; SANTOSO, A. Colour changes and morphological performance of impregnated jaborandi wood using polymerised merbau extractives. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 20, n. 1, p. 91-102, 2018.
- MANCINI, M.; TAAVITSAINEN, VM.; TOSCANO, G. 2019. Comparison of three different classification methods performance for the determination of biofuel quality by means of NIR spectroscopy. **Journal of Chemometrics**. 33: e3145.
- MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. **Livro vermelho da flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. 1100 p.
- MELO, R. R., STANGERLIN, D. M., DEL MENEZZI, C. H. S., DE CASTRO, V. G., DE SOUZA, M. J. C.; DE MEDEIROS, D. T. Grouping of commercial tropical timber using wood color. **Revista de Ciências Agrárias**, v.62, p.1-6, 2019.
- MILLER, D. Z.; BLUM, C. T. Chave dendrológica e caracterização da morfologia vegetativa de espécies lenhosas de Fabaceae em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista de Curitiba, PR. **Rodriguésia**, v. 69, n. 2, p.787-804, jun. 2018.
- MILLIKEN, W.; GASSON, P.; PAREYN, F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; LEE, M.; BARACAT, A.; ARAÚJO, E. L.; CUTLER, D. Impact of management regime and frequency on the survival and productivity of four native tree species used for fuelwood and charcoal in the caatinga of northeast Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 116, p. 18-25, 2018.

MIRANDA, I.; GOMINHO, J.; PEREIRA, H. Incorporation of bark and tops in *Eucalyptus globulus* wood pulping. **Bioresources**, v. 7, n. 3, p. 4350-4361, 2012.

MORAIS, R. M.; CUNHA, M. C. L.; SANTANA, G. M.; PAES, J. B. Dendrological characterization as inspection resources of caatinga wood market. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, p.1-11, 2018.

MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, A. C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.

MORI, C. L. S. O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONÇALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

MORO, M. F., ARAÚJO, F. S., RODAL, M. J. N., MARTINS, F. R. Synthesis of floristic and phytosociological studies carried out in the Brazilian semiarid region. In: EISENLOHR, P. V., FELFILI, J. M., MELO, M. M. R. F., ANDRADE, L. A., MEIRANETO, J. A. A. (Eds.), **Phytosociology in Brazil: methods and case studies**, v.2, Publisher of the Federal University of Viçosa, Viçosa, p. 412–451, 2015.

MOYA, R.; CALVO-ALVARADO, J. Variation of wood color parameters of *Tectona grandis* and its relationship with physical environmental factors. **Annals of Forest Science**, v.69, p.947–959, 2012.

MUÑIZ, G.I.B.; CARNEIRO, M.E.; BATISTA, F.R.R.; SCHARDOSIN, F.Z.; NISGOSKI, S. Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as “angelim” by near-ir and wood anatomy. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v.18, n.3, p.505 – 522, 2016.

NELLEMANN, C.; HENRIKSEN, R.; KREILHUBER, A.; STEWART, D.; KOTSOVOU, M.; RAXTER, P.; MREMA, E.; BARRAT, S. **The rise of environmental crime – a growing threat to natural resources peace, development and security**. A UNEPINTERPOL Rapid Response Assessment. p. 108, 2016. Disponível em: <<https://www.grida.no/publications/344>> Acessado em: 03 mar. 2020.

NISGOSKI, S.; DE MUNIZ, G.I.B.; GONÇALVES, T.A.P.; BALLARIN, A.W. Use of visible and near-infrared spectroscopy for discrimination of eucalypt species by examination of solid samples. **Journal of Tropical Forest Science**. v.29, n.3, p.371–379, 2017.

NISGOSKI, S.; BATISTA, F.R.R.; NAIDE, T.L.; LAUBE, N.C.C.; LEÃO, A.C.R.; MUÑIZ, G.I.B. Discrimination of wood and charcoal from six caatinga species by near-infrared spectroscopy. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v.20, p.199 – 210. 2018.

NISGOSKI, S.; BATISTA, F.R.R.; COLOMBO, A.V.; PASSOS, V.A.; MUÑIZ, G.I.B. Near infrared as an auxiliary tool for wood identification in sacred art in Brazil. **Ciência da Madeira**, v.10, n.2, p.176-188, 2019.

NISHINO, Y.; JANIN, G.; CHANSON, B.; DÉTIENNE, P.; G. R. I. L, J.; THIBAUT, B. Colorimetry of wood specimens from French Guiana. **Journal of Wood Science**, London, v. 44, p. 3-8, 1998.

NISHINO, Y.; JANIN, G.; YAINADA, Y.; KITANO, D. Relations between the colorimetric values and densities of sapwood. **Journal of Wood Science**, v. 46, n. 4, p. 267-272, 2000.

PACE, J. H. C.; DE FIGUEIREDO LATORRACA, J. V.; HEIN, P. R. G.; DE CARVALHO, A. M.; CASTRO, J. P.; DA SILVA, C. E. S. Wood species identification from Atlantic forest by near infrared spectroscopy. **Forest systems**, v. 28, n. 3, p. 3, 2019.

PAINE, C. E. T.; STAHL, C.; COURTOIS, E. A.; PATIÑO, S.; SARMIENTO, C.; BARALOTO, C. Functional explanations for variation in bark thickness in tropical rain forest trees. **Functional Ecology**, v. 24, n. 6, p. 1202-1210, 2010.

PAREYN, F. G. C. **Gestão no Estado de Pernambuco – O papel do manejo florestal sustentável**. In: GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p.99-115.

PAREYN, F. G. C.; VIEIRA, J. L.; GARIGLIO, M. A (Orgs.). **Estatística Florestal da Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, v. 2, 142p., 2015.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 1026, p. 8-36, 2018.

PASTORE, T.C.M.; BRAGA, J.W.B.; CORADIN, V.T.R.; MAGALHÃES, W.L.E.; OKINO, E.Y.A.; CAMARGOS, J.A.A.; DE 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.

PENG, Z. Robust wood species recognition using variable color information. **Optik - International Journal for Light and Electron Optics**, v. 124, n. 17, p. 2833-2836, 2013.

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, n. 1, p. 437-457, 2009.

RAMALHO, F. M.G.; ANDRADE, J. M.; HEIN, P. R. G. Rapid discrimination of wood species from native forest and plantations using near infrared spectroscopy. **Forest Systems**, v. 27, n. 2, p. 008, 2018.

REIS, C. A.; CISNEROS, A. B.; SILVA, E. L.; DE MUÑIZ, G. I. B.; MORRONE, S. R.; NISGOSKI, S. NIR spectroscopy and wood anatomy to distinguish *Prosopis alba*

wood and charcoal from natural and planted forest. **International Wood Products Journal**, v. 10, n. 4, p. 168-177, 2019.

RIBEIRO, E.S; GONÇALEZ, J.C; LIMA, C.M; RODRIGUES, E.C.C; PAULA, M.H; MESQUITA, R.R.S; QUEIROZ, F.L.C; LESSES, O.M.G. Colorimetry and anatomical characterization of commercial wood species from the Brazilian Amazon. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.12, n.2, p.15-23, 2018.

RINK, G. Heartwood color and quantity variation in Young black walnut progeny test. **Wood Fiber and Science**, v.19, n.1, p.93-100, 1987.

RODRÍGUEZ-ANDA, R.; ARANGO, A. M. R.; JUÁREZ, H. P.; TALAVERA, F. J. F.; GUZMÁN, J. A. S.; CORONA, A. R. S. Anatomical, physical mechanical and machining characteristics of the wood of velvet mesquite (*Prosopis velutina* Wooton). **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 6, n. 28, p. 156-173, 2015.

RUFFINATTO, F.; CRIVELLARO, A.; WIEDENHOEFT, A. C. Review of macroscopic features for hardwood and softwood identification and a proposal for a new character list. **Iawa Journal**, v. 36, n. 2, p. 208-241, 2015.

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

SANTOS, J.X.; VIEIRA, H.C.; SILVA, E.L.; MUÑIZ, G.I.B.; SOFFIATTI, P.; NISGOSKI, S. Near infrared spectroscopy for separation of tauari wood in Brazilian Amazon native forest. **Journal of Tropical Forest Science**, v.32, n.3, p.227–236, 2020.

SANTOS, J.X.; VIEIRA, H.C.; SOUZA, D.V.; MUÑIZ, G.I.B.; SOFFIATTI, P.; NISGOSKI, S. Colorimetry as a tool for description of some wood species marketed as “tauari” in Brazilian Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.94, n.1, e20191479, 2022.

SANTOS, J.X. dos; VIEIRA, H.C.; NAIDE, T.L.; SOUZA, D.V.; MUÑIZ, G.I.B.; SOFFIATTI, P.; NISGOSKI, S. 2021. Vis spectroscopy and CIELAB parameters of six wood species of the Fabaceae family marketed in the Brazilian Amazon, **International Wood Products Journal**, v.12, n.3, p.164-171, 2021.

SCHWANNINGER, M.; RODRIGUES, J. C.; FACKLER, K. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 19, n. 5, p.287-308, 2011.

SEM, V.; KOLAR, J.; LUSA, L. Artificially generated near-infrared spectral data for classification purposes. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v.172, p.100–108, 2018.

SILVA, E. N.; SANTANA, A. C. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. **Revista Ceres**, v. 61, n. 5, p. 631-636, 2014.

SILVA, A. C.; SOUZA, A. F. Aridity drives plant biogeographical sub regions in the Caatinga, the largest tropical dry forest and woodland block in South America. **Plos One**, v. 13, n. 4, p. 1-22, 2018.

SILVA, E. S.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; PARIZ, E. Colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2015.

SILVA, R. A. F.; SETTER, C.; MAZETTE, S. S.; DE MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Colorimetria da madeira de trinta espécies tropicais. **Revista Ciência da Madeira**. v. 8, n. 1, p. 36-41, 2017.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Principles of instrumental analysis**. Cengage learning, 2017. 961 p.

SOARES, L. F.; SILVA, D. C. da; BERGO, M. C. J.; CORADIN, V. T. R.; BRAGA, J. W. B.; PASTORE, T. C. M. Avaliação de espectrômetro NIR portátil e PLS-DA para a discriminação de seis espécies similares de madeira amazônicas. **Química Nova**, p.418-426, 2017.

SMELBY, F.; HENRIKSEN, R.; NELLEMAN C. **Combating poaching and illegal logging in Tanzania**. GRID-Arendal; p. 68, 2016. Disponível em <<https://www.grida.no/publications/347>> Acesso em 02 Jul. 2019.

SOTELO MONTES, C.S., WEBER, J. C., GARCIA, R. A., SILVA, D. A.; MUÑIZ, G. I. Variation in wood color among natural populations of five tree and shrub species in the Sahelian and Sudanian ecozones of Mali. **Canadian Journal of Forest Research**, v.43, n.6, p.552-562, 2013.

SOTELO-MONTES, C.; HERNÁNDEZ, R.; BEAULIEU, J.; WEBER J. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. **New Forest**, v.35, n.1, p.57-73, 2008.

SOUSA, W. C. S.; BARBOSA, L. D. J.; SOARES, A. A. V.; GOULART, S. L.; PROTÁSIO, T. D. P. Wood colorimetry for the characterization of Amazonian tree species: a subsidy for a more efficient classification. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 451-462, 2019.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. The Caatinga and desertification. **Mercator**, v. 14, n. 01, p.131-150, 2015.

SOUZA, M. H.; CAMARGOS, J. A. A. **Madeiras Tropicais Brasileiras**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro/Laboratório de Produtos Florestais, p.150, v. 2, 2014.

SUNDERLAND, T.; APGAUA, D.; BALDAUF, C.; BLACKIE, R.; COLFER, C.; CUNNINGHAM, A. B.; DEXTER, K.; DJOUDI, H.; GAUTIER, D.; GUMBO, D. Global dry forests: a prologue. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 1-9, 2015.

TOSCANO, G.; RINNAN, Å.; PIZZI, A.; MANCINI, M. The use of near-infrared (NIR) spectroscopy and principal component analysis (PCA) to discriminate bark and wood of the most common species of the pellet sector. **Energy & Fuels**, v. 31, n. 3, p. 2814-2821, 2017.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. 2015. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. **Journal of Wood Science**, v.61, n.3, p.213-220, 2015.

UNODC—United Nations Office on Drugs and Crime. **Best practice guide for forensic timber identification**. UNODC. 2016. Disponível em: <[https://www.unodc.org/documents/Wildlife/Guide\\_Timber.pdf](https://www.unodc.org/documents/Wildlife/Guide_Timber.pdf)>. Acessado em: 03 Abr. 2020.

VIEIRA, P. B.; SILVA, N. L. F.; SILVA, G. N. S.; SILVA, D. B.; LOPES, N. P.; GNOATTO, S. C. B.; SILVA, M. V.; MACEDO, A. J.; BASTIDA, J.; TASCA, T. Caatinga plants: natural and semi-synthetic compounds potentially active against trichomonas vaginalis. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 26, n. 9, p. 2229-2236, 2016.

VIEIRA, H. C.; SILVA, E. L.; SANTOS, J. X.; MUÑIZ, G. I. B.; MORRONE, S. M.; NISGOSKI, S. Wood colorimetry of native species of Myrtaceae from a Araucaria forest. **Floresta**, v.49, n.2, p.353-362, 2019.

VIEIRA, H. C., SANTOS, J. X. D., LOPES DA SILVA, E., D'ANGELO RIOS, P., DE MUÑIZ, G. I. B., RIBEIRO MORRONE, S., NISGOSKI, S. Potential of the near-infrared spectroscopy for the discrimination of wood and charcoal of four native Myrtaceae species in southern Brazil. **Wood Material Science & Engineering**, v.16, n.3, p.188-195, 2021

VIEIRA, H. C.; SILVA, E. L.; SANTOS, J. X.; MUÑIZ, G. I. B.; MORRONE, S. M.; NISGOSKI, S. Near-infrared spectroscopy for the distinction of wood and charcoal from Fabaceae species: comparison of ANN, KNN and SVM models. **Forest Systems**, v.29, n.3, e020, 2020.

VILLEGAS, M. S.; AREA, M. C.; MARLATS, R. M. Caracterización de la madera de Salix. 1: Influencia Del sitio, clon, edad y altura de muestreo. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, v. 18, n. 2, p. 192-203, 2009.

VILLEGAS, M.; AREA, M. Caracterización de la madera de Salix 2: Relaciones entre propiedades ópticas y otros atributos del leño. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, v. 18, n. 2, p. 204-212, 2009.

VITÓRIO, L.A.P. Densidade da madeira de espécies da caatinga. 2013. 21 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

XU, Y.; LIU, L.; HUANG, M.; XU, N. High accuracy determination of *Angelica dahurica* origin based on near infrared spectroscopy and random forest pruning algorithm. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.27, n.4, p.278-285, 2019.

ZANETTI, M.; MOTHE, F.; MERLIN, A.; JANIN, G.; MOGUÉDEC, G. L.; GONCALEZ, J. Conséquences du vieillissement du bois de chêne sessile (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) sur sa perception esthétique par les utilisateurs. **Annals of Forest Science**, v. 60, n. 1, p. 61-68, 2003.

ZENID, G. J.; E CECCANTINI, G. C. T. **IPT – Identificação macroscópica de madeiras**, Abr. 2012. Disponível em: <https://lrfp.paginas.ufsc.br/files/2016/05/Apostila-Identifica%C3%A7%C3%A3o-Macrosc%C3%B3pica-IPT-abril-2012.pdf> Acesso em: 19 nov. de 2019.

ZHOU, Z.; RAHIMI, S.; AVRAMIDIS, S. On-line species identification of green hem-fir timber mix based on near infrared spectroscopy and chemometrics. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.78, p.151–160, 2020.

ZIDANES, U. L. Caracterização anatômica da madeira de espécies da caatinga. 2017. 55 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.