



JOANA KIMAIK DOS SANTOS

**DISCRIMINAÇÃO DA MADEIRA DE ESPÉCIES
FLORESTAIS DA AMAZÔNIA POR ESPECTROSCOPIA NO
NIR E ANÁLISE MULTIVARIADA**

**LAVRAS-MG
2021**

JOANA KIMAIID DOS SANTOS

**DISCRIMINAÇÃO DA MADEIRA DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA AMAZÔNIA
POR ESPECTROSCOPIA NO NIR E ANÁLISE MULTIVARIADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein
Orientador

**LAVRAS–MG
2021**

JOANA KIMAIID DOS SANTOS

**DISCRIMINAÇÃO DA MADEIRA DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA AMAZÔNIA
POR ESPECTROSCOPIA NO NIR E ANÁLISE MULTIVARIADA**

**DISCRIMINATION OF WOOD FROM AMAZONIA FOREST SPECIES THROUGH
NIR SPECTROSCOPY AND MULTIVARIATE ANALYSIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 26 de novembro de 2021.

Dra. Lívia Ribeiro Costa UFLA

Msc. Evelize Aparecida Amaral UFLA

Msc. Emanuella Pimenta Mesquita UFLA

Prof. Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein
Orientador

Dra. Fernanda Maria Guedes Ramalho
Msc. Michael Douglas Roque Lima
Coorientadores

**LAVRAS-MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por conceder muitas bênçãos em minha vida.

Aos meus pais, Karla e Marcos, por serem a minha base, por todo apoio e incentivo durante essa caminhada, por nunca medirem esforços para me ver feliz.

Aos meus familiares e amigos que sempre torceram por mim.

Aos meus avós Antônio e Paula (*in memoriam*), com muito amor e saudade. Nem consigo imaginar como seria ter vocês comigo neste momento único.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realizar esse curso e por todo ensinamento.

Ao Professor Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein, por aceitar ser meu orientador, pelos ensinamentos e suporte durante a iniciação científica e também para a realização deste trabalho.

À Fernanda e ao Michael, por aceitarem ser meus coorientadores e pela paciência de me ajudarem nos trabalhos. Sem vocês não teria conseguido chegar até aqui.

Aos meus amigos da Engenharia Florestal, em especial, Ana Luiza, Kevyn e Thaynara, por fazerem meus dias na faculdade serem os melhores. Quero levar essa amizade para o resto da vida.

Aos membros da banca de defesa pelas valiosas contribuições.

O MEU MUITO OBRIGADA!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

A diversidade de espécies florestais existentes na região amazônica e a dificuldade de distinguir madeiras com características semelhantes, requer a utilização de metodologias rápidas, não destrutivas e eficientes para classificar espécies madeireiras em operações de fiscalização e controle. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) associado a estatística multivariada para discriminação de diferentes espécies nativas da Amazônia de importância comercial. Os espectros foram registrados em modo de reflectância difusa por meio do espectrômetro NIR no intervalo do comprimento de onda de 12.500 - 4.000 cm^{-1} . A aquisição espectral foi realizada na superfície transversal e radial de 864 amostras de madeira (72 por espécie) de doze espécies florestais. As variações na assinatura espectral das amostras de madeira foram avaliadas por análise de componentes principais (PCA). A PCA realizada a partir das assinaturas espectrais no NIR permitiu segregar com clareza as amostras com base na densidade básica da madeira, mas não foi suficientemente eficiente para distinguir as amostras por espécies. A PCA dos dados espectrais originais demonstrou que dois componentes principais são suficientes para explicar 99,88% da variabilidade dos dados espectrais obtidos da face radial e 99,81% obtidos da face transversal das madeiras. Os dados espectrais tratados pela primeira derivada não apresentaram melhora nos resultados da PCA. Visando melhor discriminação das espécies, sugere-se a utilização de análises estatísticas mais sofisticadas, como a Análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA).

Palavras-chave: NIRS. PCA. Identificação de madeiras. Espécies tropicais. Biodiversidade.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1	Manejo Florestal Sustentável na Amazônia Legal	8
2.2	Diversidade de espécies nativas na Amazônia	9
2.3	Comércio ilegal de madeiras.....	10
2.4	Métodos para identificação de madeiras	12
2.5	Desempenho da Espectroscopia no NIR para identificação de madeiras ...	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1	Origem dos resíduos madeireiros.....	17
3.2	Amostragem e identificação botânica dos resíduos	17
3.3	Propriedades físicas das madeiras residuais	20
3.4	Aquisição dos espectros no NIR	20
3.5	Estatística multivariada	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1	Densidade básica das madeiras residuais	22
4.2	Assinatura espectral no NIR.....	23
4.3	Análise de componentes principais dos dados espectrais.....	25
5	CONCLUSÃO.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é considerada a região de maior biodiversidade do planeta e o maior bioma do Brasil. Há ainda muitas espécies madeireiras desconhecidas ou que são classificadas de forma errada. A adoção de uma técnica de rápida avaliação para identificação e classificação de espécies tropicais da Amazônia constitui um avanço importante para o uso adequado dos recursos naturais, bem como do controle do comércio ilegal de madeiras nativas. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021), a área desmatada por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal entre o período de 1 de agosto de 2019 e 31 de julho de 2020 foi de 10.851 km². Este valor é 7,13% maior em relação ao ano de 2019. Isso resultou em uma alta demanda por mecanismos capazes de verificar a origem da madeira, incluindo as metodologias forenses de identificação.

A espectroscopia no NIR (do inglês Near Infrared) é uma técnica promissora para identificação de espécies por ser rápida, não-destrutiva e confiável. Na literatura é possível encontrar alguns estudos que utilizaram essa técnica para identificação de madeiras (CITAR TRABALHOS). A mesma é apontada como ferramenta fundamental para o monitoramento do comércio de produtos madeireiros e no planejamento florestal.

A espectroscopia no infravermelho próximo também é capaz de estimar a densidade básica da madeira (AMARAL et al., 2021; GOUVÊA et al., 2011; MORA et al., 2011; SANTOS et al., 2012; STIRLING et al., 2007). A densidade básica é a principal propriedade da madeira avaliada nos estudos (BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010) e é muito utilizada para avaliar a qualidade de madeiras, especialmente para definir utilidades potenciais, como produção de celulose e papel e carvão vegetal (VEIGA, 2014). A espectroscopia no NIR pode ser considerada mais eficiente em relação ao método convencional, que é frequentemente demorado e caro. Entretanto, são necessários mais estudos para aprimorar o uso dessa técnica.

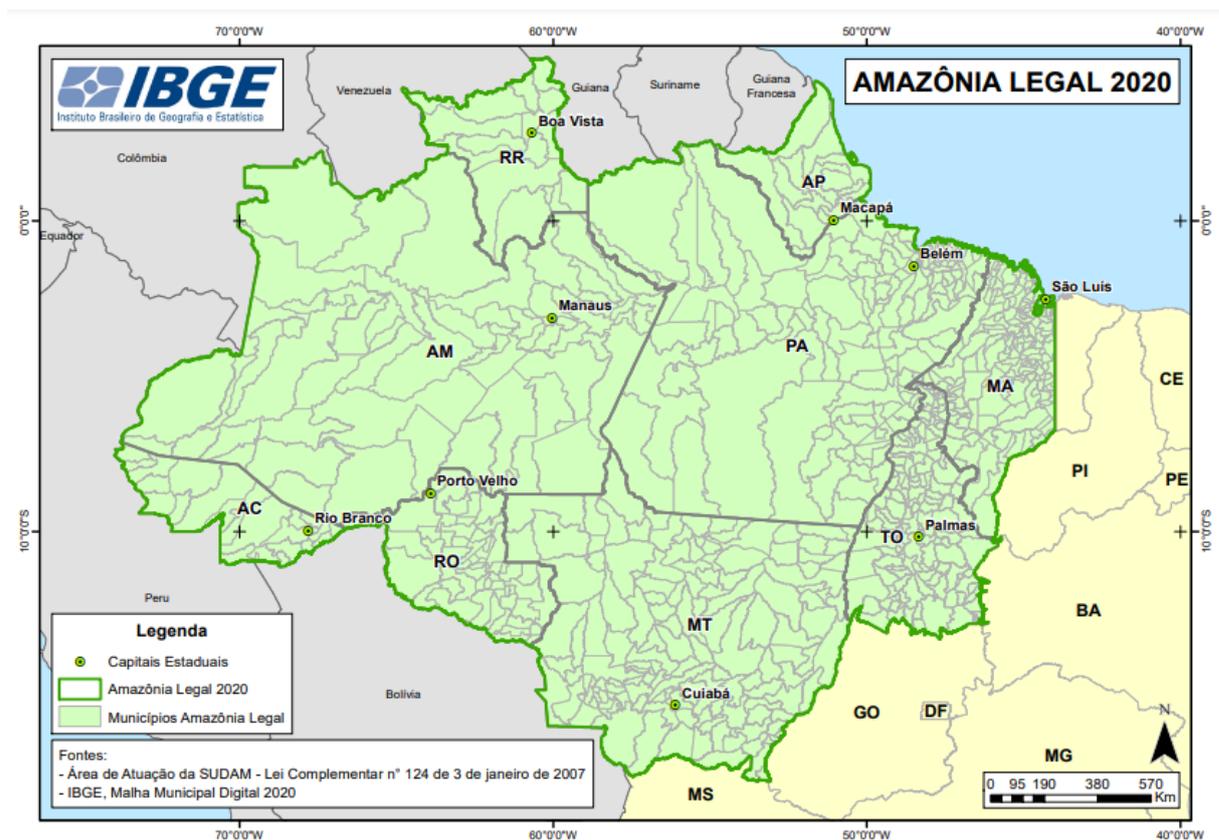
Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) associado a estatística multivariada para discriminação de diferentes espécies nativas da Amazônia de importância comercial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manejo Florestal Sustentável na Amazônia Legal

Delimitada pelo Art. 2 da Lei Complementar n. 124 (BRASIL, 2007), a Amazônia Legal (FIGURA 1) engloba cerca de 58,9% do território brasileiro, sendo a Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM responsável pelos nove estados que estão dentro do seu território. A região é composta por cerca de 27 milhões de brasileiros e 772 municípios dos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão (IBGE, 2020; SUDAM, 2016).

Figura 1 - Território da Amazônia Legal.



Fonte: IBGE (2020).

O conceito de Amazônia Legal foi instituído pelo governo brasileiro como uma forma de obter o desenvolvimento sustentável, ou seja, com a conservação ambiental de um lado e o crescimento econômico do outro, percebeu-se que não é possível resolver os problemas separadamente já que os mesmos são sistêmicos, interligados e interdependentes (CAPRA,

1996). Assim, a Amazônia Legal não é somente uma delimitação territorial ou bioma, a mesma foi pensada para auxiliar no desenvolvimento socioeconômico da população inserida em áreas de conservação e que, historicamente, sofreram com desafios socioeconômicos e políticos (SUDAM, 2020).

A partir do debate sobre a importância da conciliação do desenvolvimento econômico e a conservação ambiental, surgiu a necessidade de identificar quais atividades humanas podem ser consideradas sustentáveis. O manejo florestal sustentável é uma atividade que se enquadra nesse quesito, sendo definido pela Lei 11284/06 como

(...) administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal. (BRASIL, 2006, Art. 3).

No Brasil, uma ferramenta importante para a utilização sustentável dos recursos naturais madeireiros e não madeireiros são os planos de manejo florestal sustentável (PMFS). O PMFS é um documento elaborado por uma equipe multidisciplinar e submetido a Secretaria de Estado e Meio Ambiente para solicitar o manejo florestal de uma propriedade localizada na Amazônia Legal. O manejo florestal apresenta benefícios de ordem econômica, pela comercialização de madeiras tropicais; ambiental, por garantir a continuidade das florestas e seus serviços ecológicos; e social, pela geração de emprego na região. Acredita-se que essa prática é importante para as florestas tropicais na Amazônia, bem como para população que depende direta e indiretamente desse ecossistema (BRASIL, 2012; PARÁ, 2011).

Segundo Souto (2004), as escolhas e decisões sobre o manejo florestal não podem ser pautadas em uma política de conservação cega e radical, desconsiderando o potencial econômico dos recursos da Amazônia Legal. Portanto, se faz necessária a difusão de atividades de manejo florestal sustentável na Amazônia Legal, para que a população no entorno consiga atingir o desenvolvimento sustentável.

2.2 Diversidade de espécies nativas na Amazônia

O Brasil é o segundo país com maior cobertura de vegetação do mundo, ficando atrás apenas da Rússia (HEIDERMAN, 2009). Porém, por causa da ocupação humana e

desmatamento desordenado, a Amazônia já perdeu 17% do seu território (INPE, 2021). Tal perda afeta diretamente na diversidade da flora e fauna da floresta.

Quando se fala em biodiversidade, o Brasil é o país com maior número de espécies de plantas, mamíferos, anfíbios e peixes de água doce (SCARIOT, 2010). A Amazônia chega a abrigar mais de 73% dos mamíferos e 80% das aves existente no território nacional (PNUMA, 2008). A diversidade é tamanha que, até hoje, não há uma contagem e documentação total da flora e fauna da região, sendo inventariadas novas espécies frequentemente (ICMBio, 2018).

O projeto Flora Brasil 2020, iniciativa que tinha como objetivo a listagem on-line com a descrição, identificação e ilustração de todas as espécies de plantas conhecidas do Brasil, catalogou cerca de 50.000 espécies da flora brasileira (nativas, cultivadas e naturalizadas), onde aproximadamente 5.000 são Algas, 3.500 de angiospermas, 1.600 de Briófitas, 6.000 de Fungos, 114 de gimnospermas e 1.403 de Samambaias e Licófitas (FLORA DO BRASIL, 2020). Na Amazônia Legal existem mais de 30 mil espécies de plantas, 2.500 árvores de grande porte e 2.000 espécies de plantas utilizadas na alimentação, medicina, produção de óleos essenciais e muitos outros fins comerciais (EMBRAPA, 2021; GOVERNO DO BRASIL, 2020; ICMBio, 2018).

Segundo Vieira, Silva e Toledo (2005), a maior consequência do desflorestamento da Amazônia, seja por desmatamento ou queimada, é a perda da biodiversidade, onde tal ato é totalmente irreversível. É importante salientar que diversas espécies novas são catalogadas todo ano. Vale mencionar que ainda há áreas de floresta sendo desmatadas ilegalmente com métodos predatórios, sem nenhuma preocupação com a sustentabilidade da atividade. Áreas que não foram previamente estudadas ou inventariadas, o que leva a realizar os seguintes questionamentos: (i) Quantas espécies desconhecidas e conhecidas sofrem anualmente com a prática ilegal do desmatamento na Amazônia? (ii) Quanto realmente da biodiversidade Amazônica é perdida em detrimento da atividade exploratória ilegal? O manejo florestal sustentável traz em suas diretrizes a realização de atividades, como inventários florestais, visando o real conhecimento das espécies da floresta a ser manejada, bem como o monitoramento das áreas já manejadas. Isso contribui diretamente para a continuidade das florestas na Amazônia e a sustentabilidade da colheita de madeira na Amazônia.

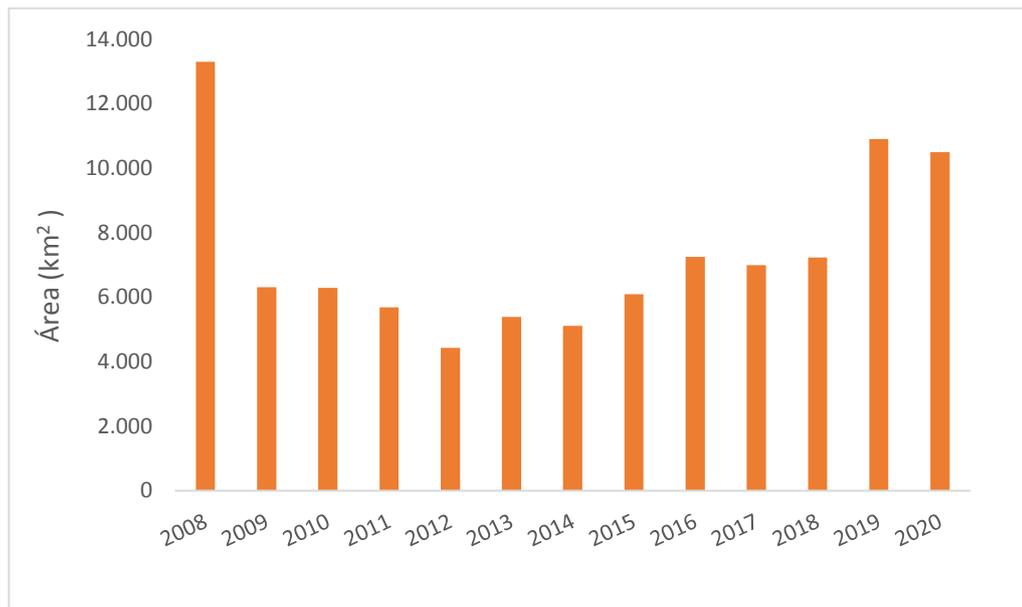
2.3 Comércio ilegal de madeiras

Na Amazônia, a maior parte das atividades econômicas estão relacionadas aos bens de consumo, por exemplo, mineração, extração de madeira, produtos agrícolas, criação de gado e

produtos como a castanha, açaí e borracha natural (FEARNSIDE, 2020). Percebe-se que à medida que a demanda por esses produtos aumenta, ocorre um crescimento na exploração dos recursos de modo ilegal ou sem obedecer ao zoneamento ecológico-econômico (WWF-BRASIL, 2021).

Usando dados obtidos por meio de análises de imagem de satélite, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), obteve que o desmatamento atingiu 10896 km² em 2019 e 10495 km² em 2020 (FIGURA 2). Quebrando recordes comparado aos índices de desmatamento do mês equivalente ao ano anterior, o cenário para o 2021 não é nada otimista. Em agosto de 2021 registrou-se um aumento de 7% no desmatamento, comparado ao mesmo mês de 2020. Seguindo a mesma lógica, setembro de 2021 obteve o índice 4% maior que setembro de 2020 (INPE, 2021).

Figura 2 - Incrementos de desmatamento na Amazônia Legal.



Fonte: INPE (2021).

O governo federal enfrenta grandes problemas para realizar o monitoramento e a fiscalização de atividades dentro da floresta. A dificuldade na locomoção, tamanho da área e reduzido quantitativo de agentes fiscalizadores são parte dos empecilhos que dificultam a atuação dos órgãos competentes.

Observa-se as consequências da falta de fiscalização nos relatórios que utilizam as imagens de satélite para estimar o impacto das atividades econômicas na floresta. A Rede Sistema de Monitoramento da Exploração Madeireira (Simex) identificou, entre agosto de 2019 e julho de 2020, 464 mil hectares de exploração madeireira por meio de imagens de satélites.

O Mato Grosso foi o estado com mais áreas ativas, concentrando cerca de 50,8% do total mapeado, em segundo lugar temos o Amazonas com 15,3% e em terceiro Rondônia com 15% (IMAZON, 2021).

Segundo o Imazon (2021), 11% da exploração madeireira identificadas no relatório da Rede Simex de 2020, estavam em Unidades de Conservação e Terras Indígenas. Porém, por falta de dados disponibilizados pelo governo, não foi possível quantificar quantas atividades estavam ilegais nas unidades de conservação, área que depende de uma aprovação estabelecida pelo órgão responsável para ser explorada (IMAZON, 2021).

O desenvolvimento econômico, em muitos casos, é sobreposto a outras preocupações, como o meio ambiente (FEARNSIDE, 2020). Assim, a falta de interesse na fiscalização pode ser categorizada como interesse político e econômico de grandes empresários. Para diminuir os índices de desmatamento, deve-se cobrar que seja realizado o manejo florestal sustentável, a fim de diminuir, evitar e mitigar a perda da biodiversidade da floresta.

2.4 Métodos para identificação de madeiras

A exploração e o processamento de madeiras nativas ocupam a terceira posição na exportação de produtos da Amazônia Legal, ficando atrás da mineração e da agropecuária (VERÍSSIMO *et al.*, 2006). Com a demanda por madeira crescendo cada vez mais, se faz importante o estudo da identificação da madeira para que, por meio da análise de suas propriedades, seja identificado a melhor aplicação do material, como também para fiscalizar/auxiliar o comércio de madeiras, evitando a substituição de madeiras por espécies ilegais ou enganosas.

Utiliza-se duas abordagens para os estudos anatômicos de identificação de madeiras: as microscópicas, são utilizadas para características que necessitam de algum aumento para serem observadas; e a macroscópica, onde se é observada características sem a necessidade de aumento. Dentro das macroscópicas, é realizada a divisão das características em dois grupos, sendo eles (ZENID; CECCANTINI, 2007).

- Organolépticas ou sensoriais, compostas por propriedades como cor, brilho, odor, gosto, grã, textura, densidade, dureza e desenhos;
- Anatômicas, compostas pelas propriedades como camadas de crescimento, tipos de parênquima, poros (vasos) e raios.

Por utilizar a determinação das propriedades por meio dos sentidos, as características organolépticas estão suscetíveis a sensibilidade do pesquisador. Assim, é possível que haja variância na sua classificação (BOTOSSO, 2009). Isso mostra uma vantagem de utilização da espectroscopia no NIR, que por ser baseado em um hardware não é tão vulnerável frente a possibilidade de erro humano. A Tabela 1 descreve as propriedades analisadas quanto a característica organoléptica observadas.

Tabela 1 – Características organolépticas e suas propriedades.

Característica	Descrição	Propriedade
Cor	Para a observação é necessária a raspagem da madeira com faca ou lixa, sempre analisando em superfície longitudinal tangencial ao cerne.	Esbranquiçada, Amarelada, Avermelhada, Acastanhada, Parda, Enegrecida e Arroxeadas
Gosto	Verifica removendo raspas ou lascas da madeira	Amargo (angelim-amargoso, <i>Vatairea guianensis</i>) e adocicado (araribá, <i>Centrolobium</i>)
Odor	Deve ser verificado em amostras secas, em superfície recém exposta	Distinto: Agradável (cerejeira, <i>Amburana cearensis</i>), Desagradável (cupiúba, <i>Goupia glabra</i>) e característico (palo santo, <i>Bulnesia sarmienti</i>). Indistinto: não tem odor
Grã	Refere-se a orientação e ao paralelismo dos elementos celulares verticais em relação ao eixo longitudinal do tronco da árvore	Direita, Inclinação, helicoidal e ondulada
Textura	Relacionada à dimensão e organização dos elementos celulares que compõem a madeira	Textura Fina, textura média, variável, textura grossa e textura fibrosa.
Brilho	Deve ser observado sempre em superfície longitudinal do cerne livre de verniz ou cera	Se há ou não brilho
Densidade de massa	Utilizada para avaliação de qualidade, pela facilidade de ser determinada.	Leve (baixa densidade) ou pesada (alta densidade)

Fonte: Adaptado de Botosso (2009).

Para observar as características anatômicas, o corpo de prova precisa ter sua superfície polida com auxílio de uma faca. Essas características são indicadas pela forma, tamanho ou distribuição dos elementos celulares (vasos, raios parenquimáticos e parênquima axial) e sua identificação é separada pelos cortes transversais, longitudinal radial e longitudinal tangencial. A Tabela 2 descreve as características anatômicas e as propriedades analisadas.

Tabela 2 – Características Anatômicas e suas Propriedades.

Característica	Descrição	Propriedade
Vasos	É realizado um corte transversal para observar a forma e tamanho dos orifícios	Vasos pequenos – Diâmetro menor que 100 μm ; Vasos médios – Diâmetro de 100 a 200 μm ; Vasos Grandes – Diâmetro maior que 200 μm .
Porosidade	Refere-se à dispersão dos vasos na seção transversal da madeira.	Porosidade difusa e Porosidade em anéis.
Parênquima Axial	É um tecido composto por células que desempenham as funções de armazenamento de reservas e do metabolismo geral das plantas.	Quando presente, o parênquima axial segue dois tipos de distribuição: Apotraqueal ou Paratraqueal.

Fonte: Adaptado de Botosso (2009).

2.5 Desempenho da Espectroscopia no NIR para identificação de madeiras

A Espectroscopia no infravermelho próximo (Near Infrared - NIR) é um método analítico que fornece resultados para a determinação de moléculas orgânicas e variáveis qualitativas (MUÑIZ *et al.*, 2012). A técnica é baseada na exposição da amostra à radiação eletromagnética na região do comprimento de onda de 750 a 2500 nm, gerando espectros de absorbâncias que podem ser comparados com resultados obtidos por métodos convencionais. Podem ser realizadas análises dos espectros de propriedades com origem químicas, físicas e mecânicas (BRERETON, 2003; PASQUINI, 2003; WILLIAMS; NORRIS, 2001; WORKMAN; WEYWER, 2007).

A ocorrência de espectros na região NIR é possível por causa de ligações com a molécula de hidrogênio, onde ocorre absorção de energia em forma de luz por compostos orgânicos com ligações C-H, N-H, S-H e O-H (BRERETON, 2003; SCAFI, 2005). Na madeira, o NIR interage com a água e as ligações C-H, C-O e C-O-H, possibilitando identificar informações dos componentes químicos da biomassa da madeira (LESTANDER *et al.*, 2008; PASQUINI, 2003)

Por sua característica não destrutiva, não invasiva e rápida, a espectroscopia no infravermelho próximo se tornou uma técnica adequada para o uso em linhas de produções. Assim, o NIR é uma ferramenta que tem sido utilizada em diversas atividades como indústrias

agrícolas, alimentícia, têxtil, médica, florestais e ambientais por sua característica não destrutiva e de baixo custo (TSUCHIKAWA; SCHWANNINGER, 2013).

No setor florestal, Birkett e Gambino (1988) publicaram o primeiro estudo utilizando a técnica de espectroscopia no infravermelho próximo para identificar propriedades da polpa celulósica. Mas, foram o Thygesen (1994) e Hoffmeyer e Pedersen (1995) que publicaram estudos sobre a aplicação da técnica para estimar a densidade básica da madeira. Desde então, diversos trabalhos vêm explorando o NIR como alternativa para a discriminação e identificação das madeiras. Em uma revisão, Tsuchikawa e Schwanninger (2013) reúnem os diversos resultados dessas pesquisas que utilizaram o NIR para avaliar a qualidade da madeira.

Entre as desvantagens da espectroscopia NIR, está a dependência de metodologias analíticas para a calibração, já que para obter a determinação quantitativa é necessária uma pré-correlação entre os valores do parâmetro de interesse de um determinado grupo de amostra e os espectros obtidos.

Os dados resultantes da análise do espectro no infravermelho próximo, precisam ser tratados com técnicas estatísticas multivariadas pois, apresentam difíceis atribuições de picos e podem ser largos e sobrepostos, devido às bandas de combinações e sobretons (SCAFI, 2005).

Existem diversas análises estatísticas que podem ser utilizadas para avaliar os dados multivariados. A análise de componentes principais (PCA) é um dos métodos exploratórios mais aplicados na análise de informação, já que ele transforma dados complexos em informações de fácil visualização (FERREIRA, 2002).

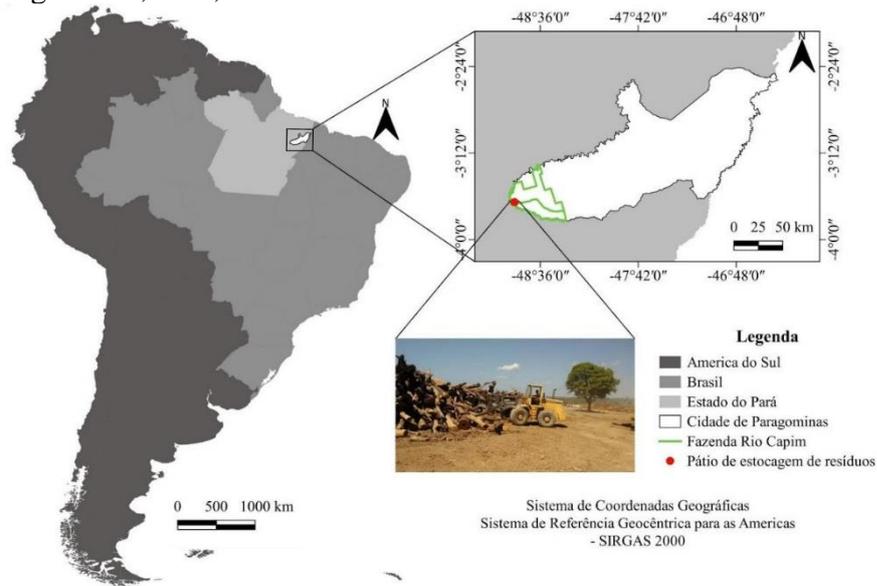
Para conseguir gerar um novo conjunto de variáveis, conhecidas como componentes principais, é preciso aplicar o algoritmo de PCA num conjunto de variáveis espectrais. Assim, o conjunto original dessas variáveis são substituídos pelas componentes principais (THOMAS, 1994). A partir da PCA é possível construir gráficos que agregam a maior quantidade possível de informações estatísticas e agrupem as amostras de acordo com sua semelhança (BURNS; CIURCZAK, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Origem dos resíduos madeireiros

As madeiras residuais foram provenientes do pátio de estocagem de resíduos da Unidade de Produção de Carvão vegetal da Fazenda Rio Capim (UPC Rio Capim), Paragominas, Estado do Pará (FIGURA 3). Esta planta é pertencente ao grupo Keilla e opera sob licença fornecida pela Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS – PA). Atualmente, a UPC Rio Capim dispõe de 600 fornos de alvenaria do tipo rabo quente, produzindo carvão vegetal para o polo siderúrgico da região do Carajás, entre os estados do Maranhão e Pará.

Figura 3 - Localização do pátio de estocagem de resíduos da Fazenda Rio Capim, em Paragominas, Pará, Brasil.



Fonte: Lima (2021).

3.2 Amostragem e identificação botânica dos resíduos

Para o presente estudo, foram selecionadas 12 espécies tropicais com base no estudo de Lima *et al.* (2020). A seleção foi feita de forma que abrangesse espécies de baixa ($0,300-0,500 \text{ g cm}^{-3}$), média ($0,500 - 0,750 \text{ g cm}^{-3}$) e alta ($0,750 - 1,000 \text{ g cm}^{-3}$) densidade básica, considerando a classificação de Csanády, Magoss e Tolvaj (2015). As espécies selecionadas e os valores médios da densidade básica estão discriminadas na Tabela 3.

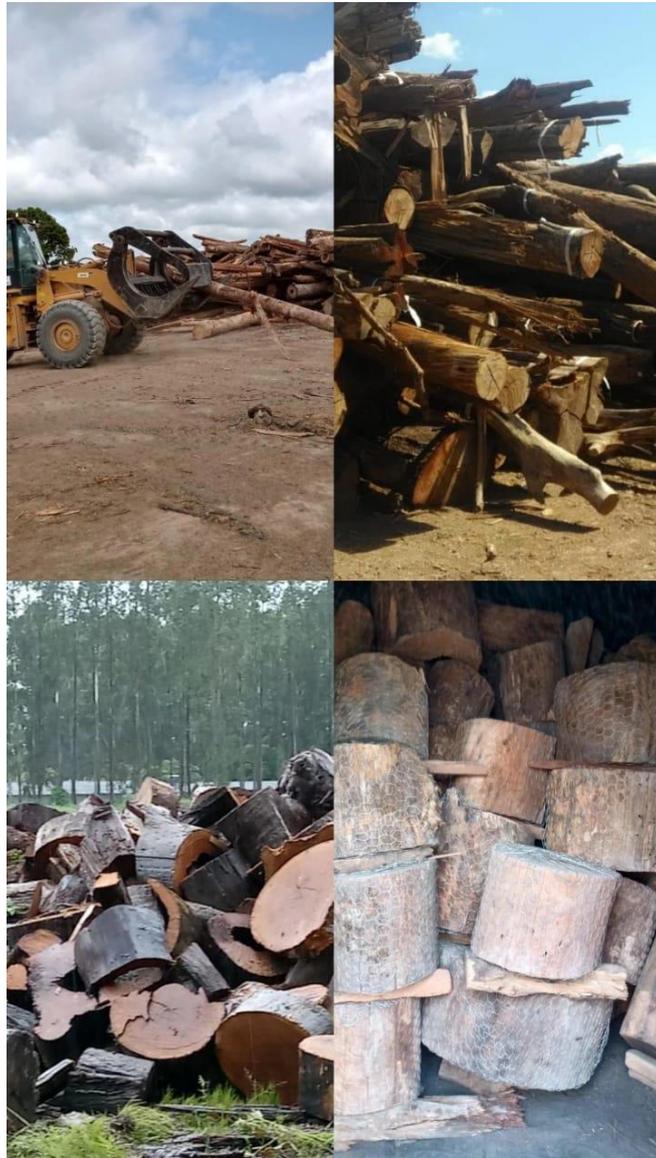
Tabela 3 - Espécies selecionadas para o estudo.

Espécie	Família	Nome Vulgar	Densidade Básica (g/cm ³)
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Fabaceae	Angelim-vermelho	0,927
<i>Licania</i> sp.	Chrysobalanaceae	Casca-seca	0,881
<i>Manilkara</i> sp.	Sapotaceae	Maçaranduba	0,872
<i>Caryocar</i> sp.1	Caryocaraceae	Piquiá	0,802
<i>Eschweilera</i> sp.	Lecythidaceae	Matamatá	0,792
<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W.Grimes	Fabaceae	Timborana	0,790
<i>Pouteria</i> sp.	Sapotaceae	Guajará-cinza	0,754
<i>Caryocar</i> sp.2	Caryocaraceae	Pequiarana	0,701
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Moraceae	Inharé	0,599
<i>Parkia</i> sp.	Fabaceae	Fava-branca	0,501
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	Tapiririca	0,397
<i>Simaba guianensis</i> (Aubl.) Engl.	Simaroubaceae	Marupá amarelo	0,354

Fonte: Lima *et al.* (2020).

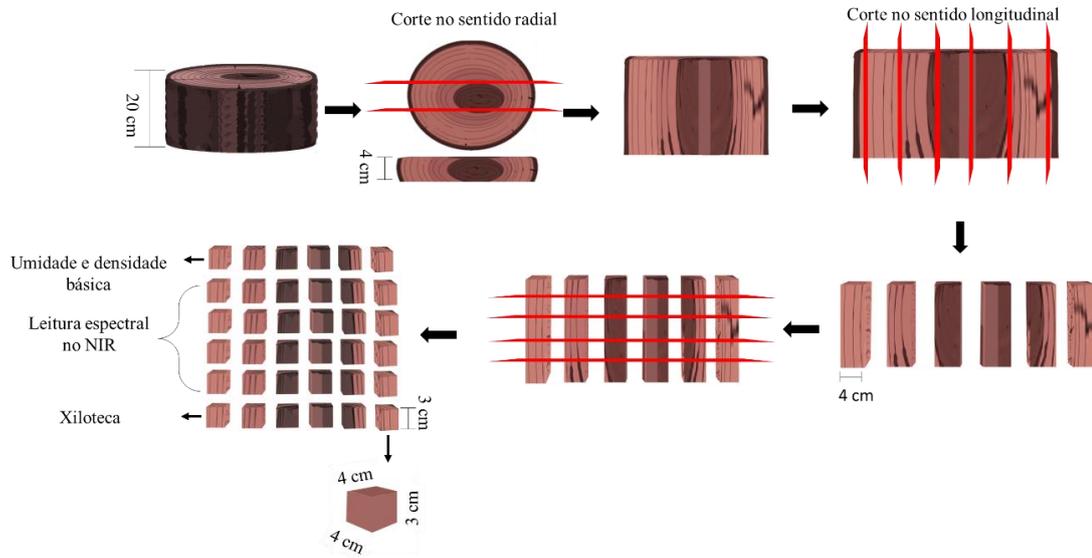
No pátio de estocagem, foram identificadas e selecionadas 12 peças de resíduos, sendo 1 por espécie (FIGURA 4). Essas peças foram sinalizadas nas pilhas com auxílio de um identificador botânico. Posteriormente, os resíduos foram retirados por uma carregadeira (Volvo L90 F) e seccionados em 6 toretes de madeira por espécie. Em cada torete foram retirados discos de 20 cm de espessura. Esses discos foram destinados para a confecção de corpos de prova para as determinações das propriedades da madeira. Foram confeccionados 72 corpos de prova nas dimensões de 4 cm x 4 cm x 3 cm, para leituras espectrais e identificação botânica pela xiloteca da Embrapa Amazônia Oriental (Belém – PA) (FIGURA 5).

Figura 4 - Natureza heterogênea (propriedades tecnológicas e dimensões) dos resíduos madeireiros do manejo florestal sustentável.



Fonte: Lima (2021).

Figura 5 - Esquema de preparo dos corpos de prova para a identificação botânica e leitura dos espectros no NIR.



Fonte: Lima (2021).

3.3 Propriedades físicas das madeiras residuais

A umidade e densidade básica foram as propriedades físicas da madeira determinadas nesse estudo. A umidade foi determinada seguindo as diretrizes da NBR 14929 (ABNT, 2017). Por outro lado, a densidade básica da madeira foi determinada considerando os procedimentos da NBR 11941 (ABNT, 2013), cujo volume foi aferido pelo método hidrostático.

3.4 Aquisição dos espectros no NIR

As leituras espectrais foram realizadas em 864 amostras de madeira, no modo de reflectância difusa em um espectrômetro da marca Bruker (modelo MPA, Optik GmbH, Ettlingen, Germany), cujo princípio de funcionamento é baseado em transformada de Fourier. O equipamento é composto por duas vias de aquisição: esfera de integração e fibra ótica. Os dados espectrais foram obtidos em conjunto com o programa OPUS versão 7.5. Para a aquisição dos espectros, considerou-se a faixa de radiação de 3.500 cm^{-1} - 12.500 cm^{-1} , com resolução de 8 cm^{-1} , por meio da esfera de integração. Os espectros foram obtidos diretamente nas faces transversais e radiais de cada corpo de prova de madeira (FIGURA 6), em sala climatizada com temperatura em torno de 20°C e umidade relativa do ar em torno de 65%. As madeiras estavam em condição de equilíbrio, com umidade em torno de 10% no momento da leitura espectral.

Foi aplicado o tratamento matemático da primeira derivada na assinatura espectral visando eliminar os ruídos dos espectros.

Figura 6 - Faces de aquisição espectral nas madeiras amazônicas.



Fonte: Lima (2021).

3.5 Estatística multivariada

A análise de componentes principais foi realizada com o objetivo de explorar previamente a dependência de dados e verificar a similaridade espectral dos dados obtidos. A PCA foi realizada no software livre Chemoface versão 1.63 Nunes *et al.* (2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade básica das madeiras residuais

A variação da densidade básica das madeiras foi de 0,354 (*Simaba guianensis* (Aubl.) Engl.) a 0,927 g/cm³ (*Dinizia excelsa* Ducke) (Ver Tabela 3). Nesse estudo foram verificadas 7 espécies de alta densidade (*Dinizia excelsa* Ducke, *Licania* sp., *Manilkara* sp., *Caryocar* sp.1, *Eschweilera* sp., *Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W.Grimes e *Pouteria* sp.), 3 espécies de média densidade (*Caryocar* sp.2, *Brosimum gaudichaudii* Trécul e *Parkia* sp.) e 2 espécies de baixa densidade (*Tapirira guianensis* Aubl. e *Simaba guianensis* (Aubl.) Engl.), considerando a classificação de Csanády, Magoss e Tolvaj (2015).

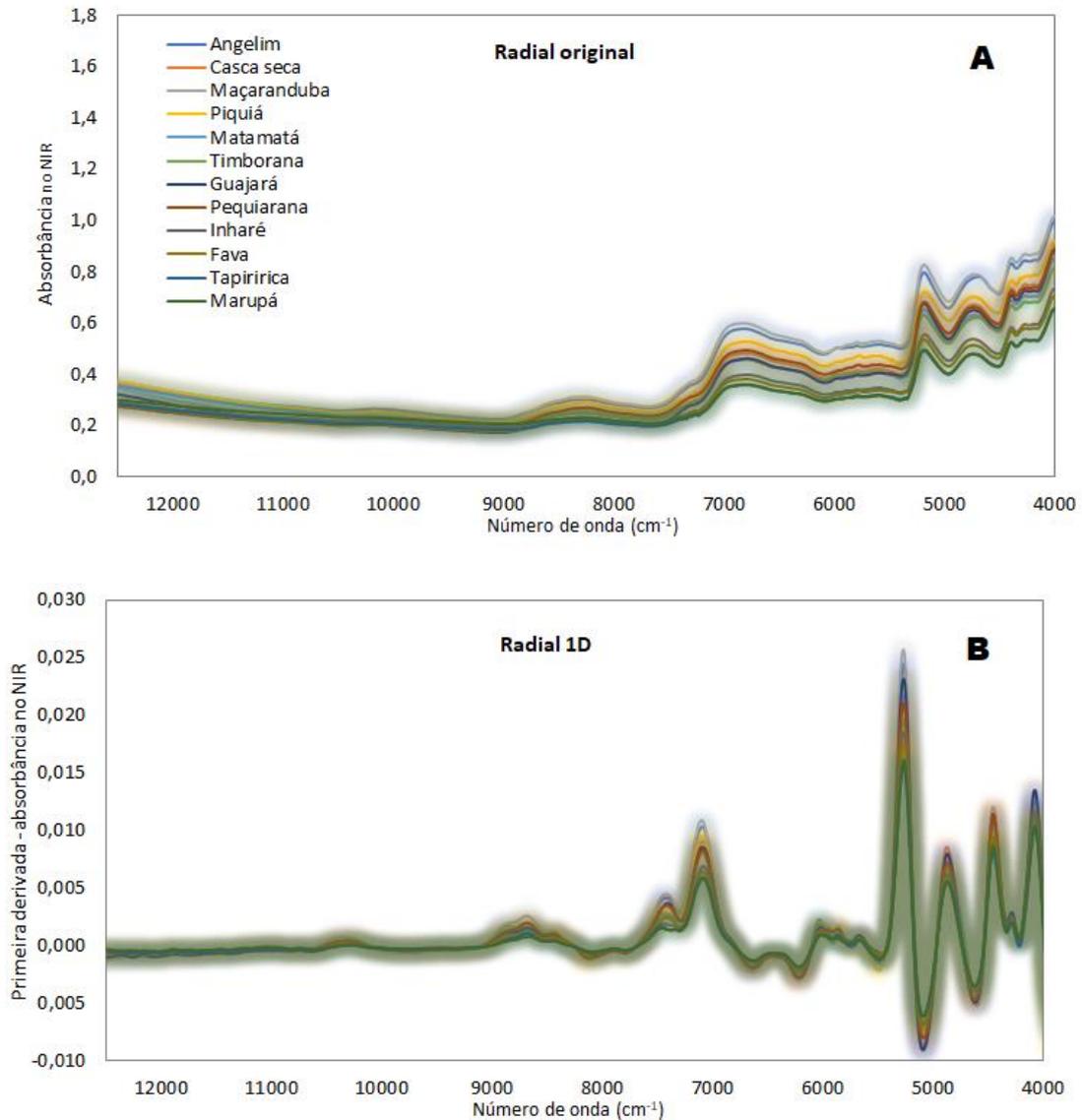
Reis *et al.* (2019) utilizou a densidade básica e outras propriedades físico-mecânicas da madeira, sendo elas contração (tangencial, radial e volumétrica), flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza Janka paralela e transversal, tração perpendicular às fibras, fendilhamento e cisalhamento, com o objetivo de agrupar 54 espécies da floresta Amazônia e assim, realizar uma análise discriminante com a finalidade de substituir espécies madeireiras comerciais consolidadas por outras menos comercializadas, com características semelhantes. Os autores chegaram à conclusão de que a densidade básica foi a propriedade que mais influenciou a formação dos grupos. Estudos que avaliem o potencial de espécies de baixa visibilidade em planos de manejo florestal na Amazônia são importantes, especialmente para evitar a superexploração de espécies de alta demanda e com isso a diminuição do seu estoque na floresta.

Pereira *et al.* (2020) concluiu que as características físicas da madeira, umidade e a densidade básica, foram as propriedades mais importantes para agrupar os resíduos madeireiros do manejo florestal sustentável visando à produção de lenha e carvão vegetal siderúrgico. Assim como ocorreu nesse trabalho, as espécies, *Eschweilera amazonica*, *Manilkara* sp. apresentaram densidade básica elevada, e com isso, são espécies promissoras para produção de carvão vegetal. Estes autores também verificaram a variação da densidade básica semelhante a apurada nesse estudo (0,221 a 0,867 g/cm³). Esses resultados reportam a variabilidade das espécies desse bioma, naturalmente espécies de baixa a alta densidade, o que denota a importância de se qualificar madeiras amazônicas com técnicas apropriadas.

4.2 Assinatura espectral no NIR

Na Figura 7A são apresentadas as assinaturas espectrais no NIR obtidas na face radial das amostras de madeira das 12 espécies tropicais da Amazônia. Cada linha representa a média dos espectros NIR obtidos de 72 corpos de prova de cada espécie. Visualmente, foi possível identificar as espécies com maior semelhança e as mais distintas, especialmente quando os espectros foram associados a densidade básica dos corpos de prova. Os espectros da região superior foram referentes as espécies de maior densidade (*D. excelsa*, *Manilkara* sp. e *Caryocar* sp.1), enquanto, os espectros da região inferior foram das espécies de menor densidade (*S. guianensis*, *Parkia* sp. e *B. gaudichaudii*). Os dados foram tratados com a aplicação da primeira derivada (1d) e apresentaram bandas de absorção que demonstraram onde ocorreram a maior diferença entre as espécies. Os maiores valores de absorbância NIR podem ser observados nos comprimentos de onda de aproximadamente 7000 cm^{-1} e 5000 cm^{-1} (FIGURA 7B). Apesar de ser possível verificar as espécies de alta, média e baixa densidade no gráfico dos espectros médios, não foi possível fazer inferências sobre valores dessa importante propriedade da madeira ou até mesmo agrupar as espécies a fim de evidenciar as espécies com maior similaridade. A umidade não teve influência na aquisição dos espectros.

Figura 7 - Média dos espectros originais (A) e tratados com primeira derivada (B), obtidos na face radial da madeira de 12 espécies nativas da Amazônia.



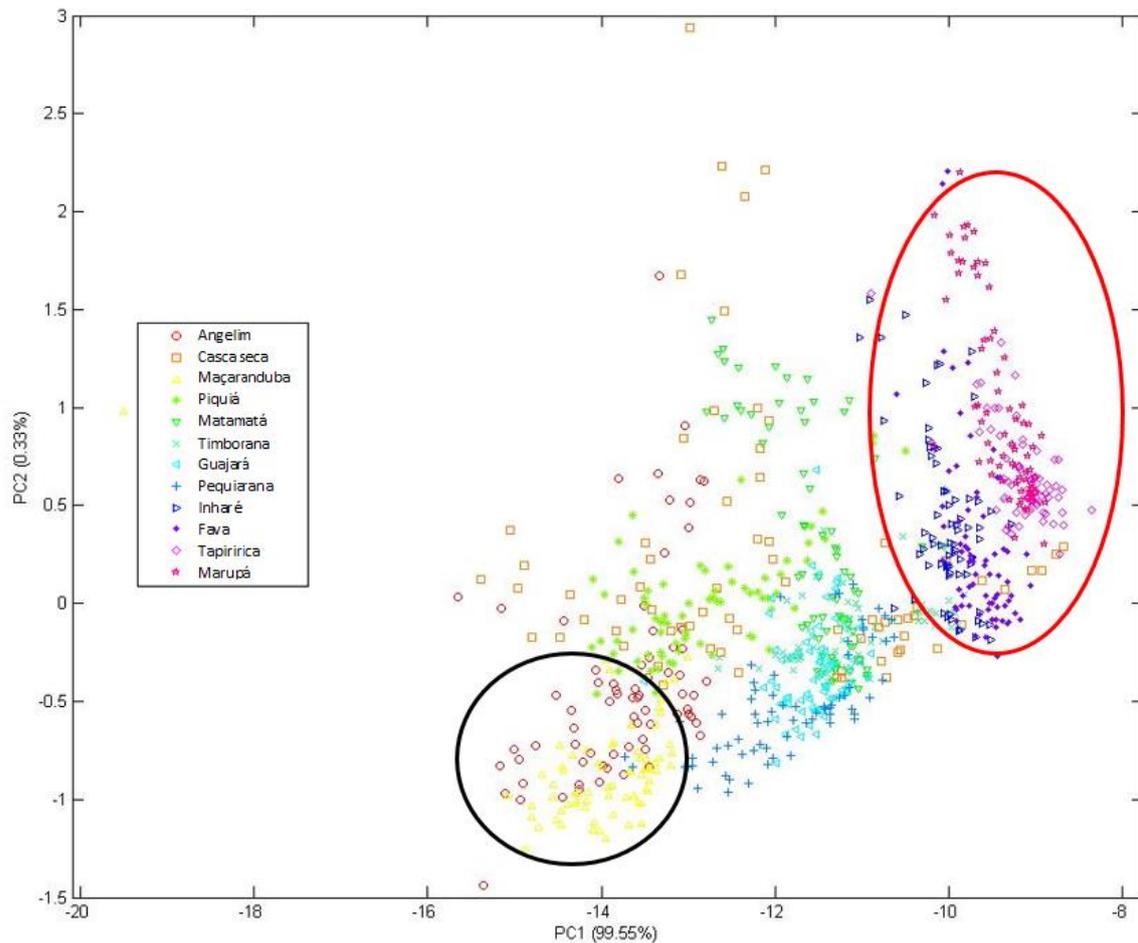
Fonte: Da autora (2021).

Em Pace *et al.* (2019), os resultados obtidos por meio dos espectros NIR para cada espécie da Mata Atlântica demonstraram que as extremidades superior e inferior dos espectros médios são dados de espécies de densidades mais altas e mais baixa, respectivamente. O mesmo resultado pode ser observado (NASCIMENTO *et al.*, 2017; SOARES *et al.*, 2017) em que a assinatura espectral NIR possibilitou associar os espectros x densidade básica, mas, com madeiras de espécies amazônicas, assim como ocorreu neste trabalho.

4.3 Análise de componentes principais dos dados espectrais

A análise de componentes principais dos dados não tratados matematicamente demonstrou que 2 componentes são suficientes para explicar 99,88% da variabilidade dos dados espectrais obtidos da face radial das madeiras residuais (FIGURA 8). A primeira componente (PC1) explicou 99,55% da variabilidade dos dados analisados, enquanto a segunda componente principal (PC2) explicou 0,33%.

Figura 8 - Escores da análise de componentes principais de dados espectrais não tratados, obtidos na face radial da madeira de 12 espécies nativas da Amazônia.



Fonte: Da autora (2021).

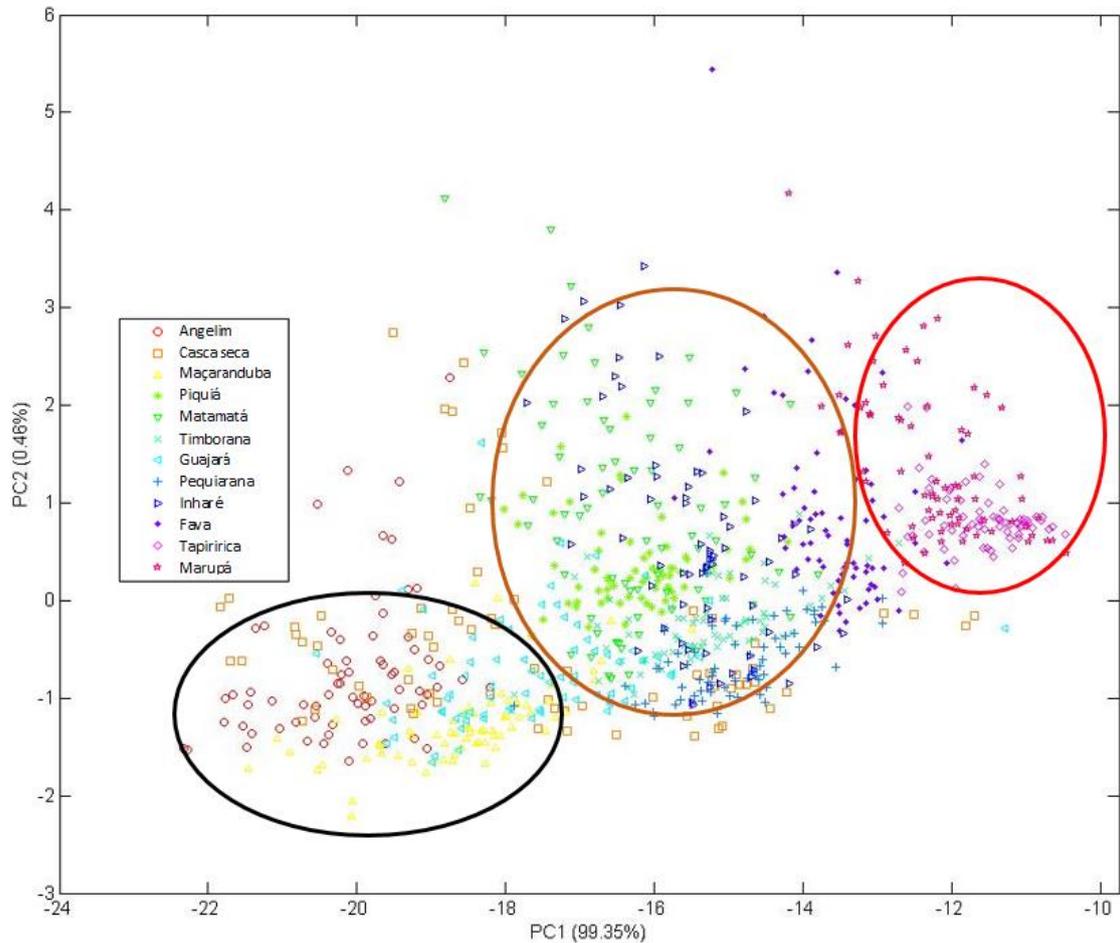
Nota-se que existe um gradiente de densidade básica no gráfico e, portanto, foi possível separar as espécies em dois grupos, sendo espécies de alta (círculo preto) e baixa (círculo vermelho) densidade. Na parte inferior do gráfico são verificadas as espécies de alta densidade (*D. excelsa* e a *Manilkara* sp.) e na região superior, as espécies de baixa densidade (*S. guianensis*., *T. guianensis*, *Parkia* sp. e *B. gaudichaudii*). Esses dois grupos de espécies são

distintos e suas diferenças foram evidenciadas no gráfico de escores da análise de componentes principais, em que estão em lados opostos do gráfico. O fato de estarem dispostos em lados distintos, evidencia-se um gradiente de densidade básica das madeiras. Na região intermediária, provavelmente está relacionada as espécies de densidade média. Em campo, se colhidos espectros de amostras de madeiras de alta densidade desconhecidas, provavelmente os escores estariam dispostos na região das espécies de densidade elevada, o que já é importante em uma indústria na classificação de madeiras nativas.

Pace *et al.* (2019), através da análise de componentes principais dos dados não tratados matematicamente de espécies da Mata Atlântica, demonstrou que duas componentes principais foram suficientes para gerar gráficos de pontuações com formação de quatro grupos associados a variação da densidade básica da madeira. Esse resultado está em acordo com o verificado nesse estudo, em que é possível distinguir os dois grupos utilizando a densidade básica, porém, com espécies da Amazônia.

Assim como ocorreu com os dados espectrais obtidos na face radial, a análise de componentes principais dos dados não tratados matematicamente da face transversal demonstrou que 2 componentes foram suficientes para explicar 99,81% da variabilidade dos dados espectrais (FIGURA 9), em que a primeira componente (PC1) explicou 99,35% e a segunda componente principal (PC2) explicou 0,46%.

Figura 9 - Escores da análise de componentes principais de dados espectrais não tratados, obtidos na face transversal da madeira de 12 espécies nativas da Amazônia.



Fonte: Da autora (2021).

Os dados espectrais da face transversal foram segregados em 3 grupos de espécies similares, sendo espécies de alta (círculo preto), baixa (círculo vermelho) e média (círculo marrom) densidade básica. Na parte inferior do gráfico foram verificadas as espécies de alta densidade (*Dinizia excelsa* Ducke, *Licania* sp. e *Manilkara* sp.). Na região superior, as espécies de baixa densidade (*Simaba guianensis* (Aubl.) Engl. e *Tapirira guianensis* Aubl.) e na região intermediária, as espécies de média densidade (*Caryocar* sp.1, *Eschweilera* sp., *Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W.Grimes, *Pouteria* sp., *Caryocar* sp.2, *Brosimum gaudichaudii* Trécul e *Parkia* sp.).

Lima *et al.* (2021) agrupando espécies com base na colorimetria, verificaram que as espécies *Dinizia excelsa* e *Manilkara elata* ficaram agrupadas na mesma classe de cor (marrom-arroxeada). Assim como ocorreu nesse estudo, essas duas espécies formaram um grupo composto por espécies de alta densidade básica, tanto na face radial quanto na face transversal.

Lima *et al.* (2020) utilizaram a análise de componentes principais e a densidade básica para agrupar espécies. O objetivo do estudo foi evidenciar o potencial energético dos resíduos madeireiros de vinte espécies da Amazônia. Assim, foi possível observar que as análises estatísticas multivariadas são uma importante ferramenta para verificar a similaridade das propriedades tecnológicas das madeiras Amazônicas e definir potenciais utilidades.

Por mais que exista sobreposição de pontos nos gráficos previamente apresentados (FIGURA 9), o que impossibilitou a separação das madeiras por espécie, foi possível atestar que a densidade básica foi importante na explicação da dispersão dos pontos nos gráficos, demonstrando um gradiente nítido de densidade.

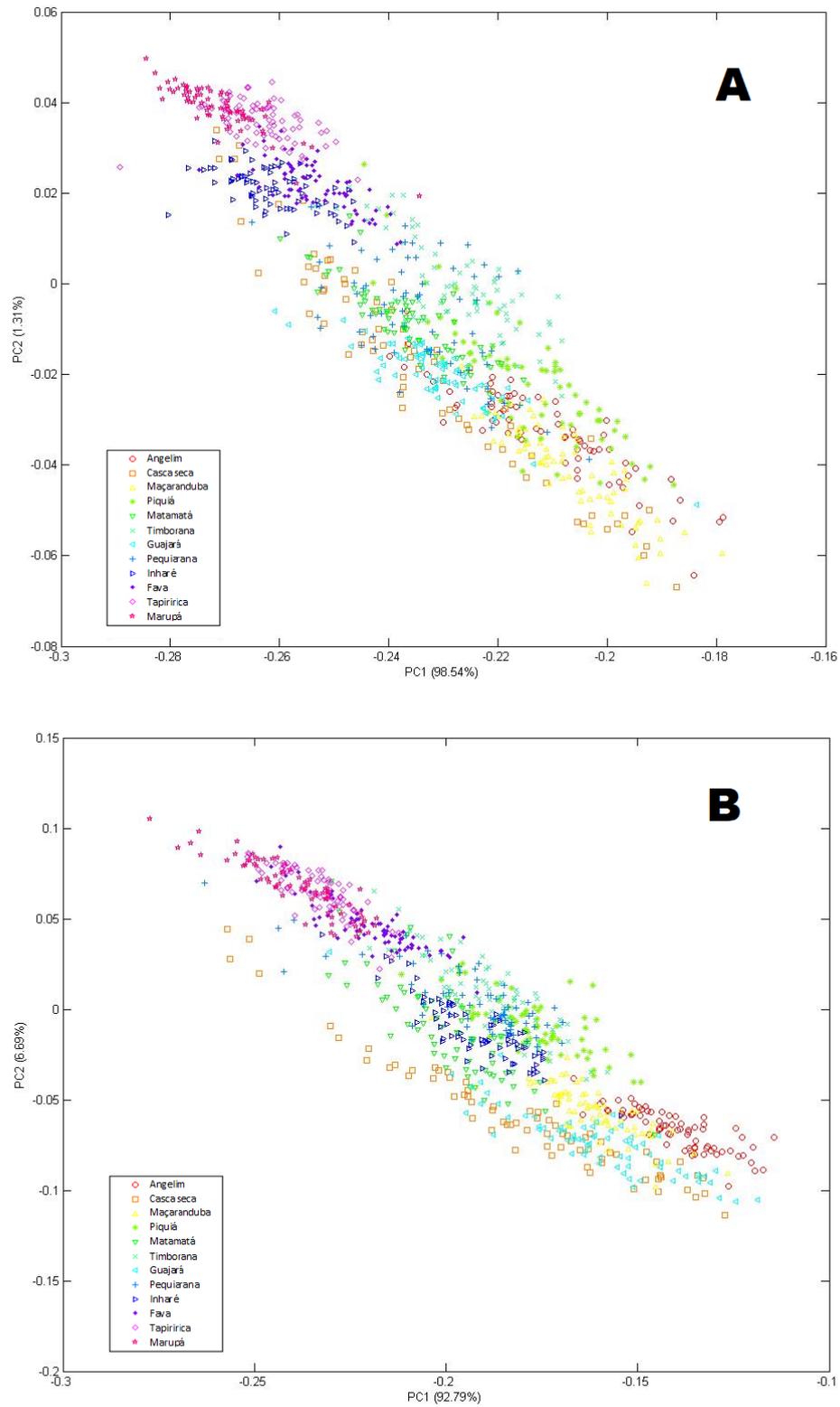
Muñiz *et al.* (2016) estudando madeiras vendidas como "angelim" no Brasil, concluíram que na análise de infravermelho, os resultados foram influenciados pela superfície em que os espectros foram coletados. A influência da superfície nos espectros está relacionada com características anatômicas das seções transversais, que carregam mais informações no que diz respeito ao tipo e distribuição celular, do que seções longitudinais (radial e tangencial). Essa característica pode explicar o fato do gráfico da face transversal, ter apresentado uma maior dispersão dos pontos em relação ao gráfico da face radial.

Para melhorar os resultados, ou seja, fazer com que não haja sobreposição, sugere-se a utilização de análises estatísticas mais sofisticadas, como a Análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA). Acredita-se que essa técnica estatística possa separar com maior taxa de sucesso as espécies florestais com base nos dados espectrais.

Nascimento *et al.* (2017) concluiu que a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) combinada com análise multivariada PLS (regressão por mínimos quadrados parciais) apresenta resultados convincentes para previsão da densidade básica de madeiras da Amazônia, potencializando esta ferramenta na área florestal. Já Pace *et al.* (2019), também concluiu que essa combinação é promissora para o controle no comércio de madeira e na conservação das espécies.

A fim de tentar obter melhores resultados, foi realizada também a análise dos espectros tratados por primeira derivada (FIGURA 10). Nota-se, que tanto na face radial quanto na transversal a soma das duas componentes principais foi menor em relação aos dados da análise de componentes principais dos dados originais, uma vez que na face radial (FIGURA 10A), a PC 1 (98,54%) e a PC 2 (1,31%), somam 99,85% e na face transversal (FIGURA 10B), a PC 1 (92,79%) e a PC 2 (6,69%), somam 99,48%. Embora o tratamento da primeira derivada tenha piorado a explicação da variabilidade dos dados, foi verificado uma melhora na dispersão dos dados no gráfico, ficando melhor distribuídos.

Figura 10 - Escores da análise de componentes principais de dados espectrais tratados com 1° derivada, obtidos na face radial (A) e na face transversal (B) da madeira de 12 espécies nativas da Amazônia.



Fonte: Da autora (2021).

5 CONCLUSÃO

Não foi possível distinguir as espécies apenas pela análise visual da assinatura espectral. Porém, a análise de componentes principais dos dados espectrais originais medidos tanto na face radial quanto na transversal, demonstrou que a dispersão das amostras nas componentes principais 1 e 2 se dá em função da densidade básica das madeiras.

A partir da primeira e da segunda componente principal foi possível gerar gráficos de *scores* com formação de dois grupos na face radial e três grupos na face transversal, sendo que os grupos formados estão associados a variação da densidade básica da madeira.

Esse estudo pode auxiliar nas ações de fiscalização e controle, visando reduzir a superexploração de espécies ameaçadas de extinção e substituir por outras que apresentem propriedades da madeira semelhantes e que possuem maior estoque na floresta. Pode-se concluir também que a densidade básica é uma das principais propriedades físico-mecânicas da madeira utilizada para realizar a análise discriminante e agrupar espécies conforme o objetivo do estudo.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**. Madeira - Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/2789/abnt-nbr11941-madeira-determinacao-da-densidade-basica>. Acesso em: 22 out. 2021.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**. Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/38090/nbr14929-madeira-determinacao-do-teor-de-umidade-de-cavacos-metodo-por-secagem-em-estufa>. Acesso em: 18 out. 2021.
- AMARAL, E. A. *et al.* Evaluating basic density calibrations based on NIR spectra recorded on the three wood faces and subject to different mathematical treatments. **New Zealand Journal of Forestry Science**, [Rotorua], v. 51, n. 2, p. 1-7, Feb. 2021. Disponível em: <https://nzjforestryscience.nz/index.php/nzjfs/article/view/100>. Acesso em: 12 out. 2021.
- BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, out./dez. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/fwcr6xtPW4dSBTnDJXJG89S/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 out. 2021.
- BIRKETT, M. D.; GAMBINO, M. J. T. Estimation of pulp kappa number with near infrared spectroscopy. **Tappi Journal**, [Norcross], v. 9, n. 72, p. 193-197, 1988.
- BOTOSSO, P. C. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. (Embrapa Florestas. Documentos, 194).
- BRASIL. Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006. Regulamenta os arts. 12, parte final, 15, 16, 19, 20 e 21 da Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965, o art. 4o, inciso III, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, o art. 2o da Lei no 10.650, de 16 de abril de 2003, altera e acrescenta dispositivos aos Decretos nos 3.179, de 21 de setembro de 1999, e 3.420, de 20 de abril de 2000, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 01 dez. 2006.
- BRASIL. Lei Complementar nº 124, de 03 de janeiro de 2007. Institui, na forma do art. 43 da Constituição Federal, a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 04 jan. 2007.
- BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 8, p. 1-74, 11 jan. 2002.
- BRASIL. Lei nº 11.284, de 02 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 03 mar. 2006.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRERETON, R. G. **Chemometrics: data analysis for the laboratory and chemical plant**. Chichester: Wiley, 2003. p. 489.

BURNS, D. A.; CIURCZAK, E. W. **Handbook of near-infrared analysis**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 808 p.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix, 1996.

CSANÁDY, E.; MAGOSS, E.; TOLVAJ, L. **Quality of machined wood surfaces**. New York City: Springer International Publishing, 2015.

EMBRAPA. **Contando Ciência na WEB**. Bioma Amazônia. Brasília: Embrapa's Headquarters, 2021. Disponível em: www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-amazonia. Acesso em: 21 out. 2021.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. In: FEARNSIDE, P. M. (ed.). **Destrução e conservação da Floresta Amazônica**. Manaus: Editora do INPA. 2020. 1 v., 368 p. No prelo.

FERREIRA, M. M. C. Multivariate QSAR. **Journal Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 13, n. 6, p. 742-753, Nov. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/3vpDxvPbzdj3cGhhqbHs3CL/abstract/?lang=en>. Acesso em: 07 out. 2021.

FLORA DO BRASIL. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. 2020. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 06 nov. 2021.

GOUVÊA, A. de F. G. *et al.* Determinação da densidade básica das madeiras de eucalyptus por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 349-358, abr. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/BkzfnKpYb3BmtdTKhJxdH6S/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 22 out. 2021.

GOVERNO DO BRASIL. **Governo atua em diversas áreas para preservação e desenvolvimento sustentável da Amazônia**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2020/10/governo-atua-em-diversas-areas-para-preservacao-e-desenvolvimento-sustentavel-da-amazonia>. Acesso em: 10 nov. 2021.

HEIDERMAN, F. G. Do sonho do progresso às políticas de desenvolvimento. In: HEIDERMAN, F. G.; SALM, J. F. (orgs.). **Políticas públicas e desenvolvimento: bases epistemológicas e modelos de análise**. Brasília: Editora UnB, 2009.

HOFFMEYER, P.; PEDERSEN, J. G. Evaluation of density and strength of Norway spruce by near infrared reflectance spectroscopy. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 53, p. 165-170, 1995.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Amazônia Legal**. IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 10 nov. 2021.

ICMBio. **Livro Vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília: ICMBio/MMA, 2018. Disponível em: www.icmbio.gov.br/portal/component/content/article/10187. Acesso em: 21 out. 2021.

IMAZON. **Sistema de monitoramento da exploração madeireira (Simex):** mapeamento da exploração madeireira na Amazônia – Agosto 2019 a Julho 2020. Belém: Imazon, Idesam, Imaflora e ICV, 2021. p. 1.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal em 2020 foi de 10.851 km²**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5811. Acesso em: 11 out. 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Coordenação geral de observação da terra**. Programa de monitoramento da Amazônia e demais biomas. Desmatamento – Amazônia Legal, 2021 Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

LESTANDER, T. A.; JOHNSON, B.; GROTHAGE, M. NIR techniques create added values for the pellet and biofuel industry. **Bioresource Technology**, [Oxford], v. 100, n. 4, p. 1589-1594, Feb. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18952415/>. Acesso em: 15 out. 2021.

LIMA, M. D. R. *et al.* Colorimetry as a criterion for segregation of logging wastes from sustainable forest management in the Brazilian Amazon for bioenergy. **Renewable Energy**, [Kidlington], v. 163, p. 792-806, Jan. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148120313239>. Acesso em: 08 out. 2021.

LIMA, M. D. R. *et al.* Logging wastes from sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. **Biomass & Bioenergy**, [Kidlington], v. 140, p. 1-15, set. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096195342030194X>. Acesso em: 17 out. 2021.

MORA, C. R. *et al.* Determination of basic density and moisture content of merchantable loblolly pine logs by near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, [Chichester], v. 19, n. 5, p. 391-399, Nov. 2011. Disponível em: <https://www.osapublishing.org/jnirs/abstract.cfm?uri=jnirs-19-5-391>. Acesso em: 29 out. 2021.

MUÑIZ, G. I. B. de *et al.* Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 865-875, out./dez. 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/945359/fundamentos-e-estado-da-arte-da-espectroscopia-no-infravermelho-proximo-no-setor-de-base-florestal>. Acesso em: 14 out. 2021.

MUÑIZ, G. I. B. de *et al.* 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**, Concepción, v. 18, n. 3, p. 505-522, jul. 2016. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2016000300010. Acesso em: 17 out. 2021.

NASCIMENTO, C. C. do *et al.* Estimativa da densidade básica da madeira de *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers por espectroscopia no infravermelho próximo. **Ciência da Madeira**, [Pelotas], v. 8, n. 1, p. 42-53, abr. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/9982/0>. Acesso em: 14 out. 2021.

NUNES, C. A. *et al.* Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [Campinas], v. 23, n. 11, p. 2003-2010, Nov. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/XkQMMnpQZrBHMJr3XDtkwYQ/?lang=en>. Acesso em: 13 out. 2021.

PACE, J. H. C. *et al.* Wood species identification from Atlantic forest by near infrared spectroscopy. **Forest Systems**, [Madrid], v. 28, n. 3, p. 1-10, Dec. 2019. Disponível em: <https://revistas.inia.es/index.php/fs/issue/view/160>. Acesso em: 15 out. 2021.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. São Paulo, v. 14, n. 2, p. 198-219, Apr. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/R8Z76mVbzwk6RCYCLGkSzn/>. Acesso em: 19 out. 2021.

PARÁ. **Instrução Normativa nº 05 de 19 de maio de 2011**. Dispõe sobre a Política Estadual de Floresta e demais formações de vegetação no Estado do Pará. Pará, 2011. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2011/05/19/instrucao-normativano-05-de-19052011/>. Acesso em: 18 out. 2021.

PEREIRA, A. A. *et al.* Agrupamento de resíduos madeireiros do manejo florestal sustentável visando à geração de bioenergia. **Scientia Forestalis**, [Piracicaba], v. 48, n. 127, p. 1-14, jan. 2020. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr127/2318-1222-scifor-48-127-e3157.pdf>. Acesso em: 27 out. 2021.

PNUMA/OTCA. **Perspectivas do meio ambiente na Amazônia**: Geo Amazônia. 2008. Disponível em: www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/geoamazonia_28.pdf. Acesso em: 17 nov. 2021.

REIS, P. C. M. dos R. *et al.* Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia com base em propriedades físicas e mecânicas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 336-346, jan./mar. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/gQRJgt9H5r8J6FXgjDGVdVr/?lang=pt>. Acesso em: 03 out. 2021.

SANTOS, A. J. A. *et al.* Estimation of wood basic density of *Acacia melanoxylon* (R. Br.) by near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, [Chichester], v. 20, n. 2, p. 267-274, abr. 2012. Disponível em:

<https://www.osapublishing.org/jnirs/abstract.cfm?uri=jnirs-20-2-267>. Acesso em: 19 out. 2021.

SCAFI, S. H. F. **Sistema de Monitoramento em Tempo Real de Destilações de Petróleo e Derivados Empregando a Espectroscopia no Infravermelho Próximo**. 2005. 196 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SCARIOT, A. Panorama da biodiversidade brasileira. In: GANEM, R. S. (org.). **Conservação da biodiversidade: legislação e políticas públicas**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2010. p. 111-130.

SOARES, L. F. *et al.* Avaliação de espectrômetro NIR portátil e PLS-DA para a discriminação de seis espécies similares de madeiras amazônicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 418-426, fev. 2017. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=6562. Acesso em: 16 out. 2021.

SOUTO, H. G. Os desafios da Amazônia Legal. **Revista do TCU**, [Brasília], n. 100, p. 13-22, abr./jun. 2004. Disponível em: <https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/view/648>. Acesso em: 22 out. 2021.

STIRLING, R. *et al.* Predicting wood decay and density using Nir Spectroscopy. **Wood and Fiber Science**, [Madison], v. 39, n. 3, p. 414–423, set. 2007. Disponível em: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/2106>. Acesso em: 22 out. 2021.

SUDAM - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Boletim Amazônia**. Belém: SUDAM, 2016. Disponível em: <http://antigo.sudam.gov.br/conteudo/menus/centraldeconteudo/publicacoes/arquivos/boletim-amazonia-n02-2016.pdf>. Acesso em: 02 out. 2021.

THOMAS, E. V. A Primer on multivariate calibration. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 66, n. 15, p. 795-803, Aug. 1994.

THYGESEN, L. G. Determination of dry matter content basic density of Norway spruce by near infrared reflectance and transmittance spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, [Chichester], v. 2, n. 3, p. 127-135, May 1994. Disponível em: <https://www.osapublishing.org/jnirs/abstract.cfm?uri=jnirs-2-3-127>. Acesso em: 12 out. 2021.

TSUCHIKAWA, S.; SCHWANNINGER, M. A review of recent near-infrared research for wood and paper. **Applied Spectroscopy Reviews**, [Philadelphia], v. 48, n. 7, p. 560-587, Mar. 2013

VEIGA, N. S. da. **Inferência da densidade da madeira estimada por esclerometria**. 2014. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

VERÍSSIMO, A. *et al.* Áreas para produção florestal manejada: detalhamento do macrozoneamento ecológico econômico do Estado do Pará. **Relatório para o Governo do Estado do Pará**. Belém: Imazon, 2006. p. 82.

VIEIRA, I. C. G.; SILVA, J. M. C. D.; TOLEDO, P. M. D. Estratégias para evitar a perda de biodiversidade na Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 153-164, ago. 2005. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ea/a/yf6MQVWvKWGD33jN3jqw47n/?lang=pt>. Acesso em: 12 out. 2021.

WILLIAMS, P.; NORRIS, K. **Near-infrared technology**. 2nd ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 2001. 296 p.

WORKMAN, J.; WEYWER, L. **Practical guide to interpretive near infrared spectroscopy**. Boca Raton: CRC Press, 2007.

WWF BRASIL. **Ameaças**: florestas são queimadas, o solo fica debilitado e as pessoas sofrem. 2021. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/amazonia/ameacas_riscos_amazonia/. Acesso em: 07 nov. 2021.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T. **Identificação macroscópica de madeiras**. São Paulo: IPT, 2007.