



**MERCADO DE MADEIRA TROPICAL DE CONCESSÕES FLORESTAIS:
ESPÉCIES ALTERNATIVAS PARA AMPLIAR A OFERTA E GARANTIR O ESTOQUE
FUTURO**

FERNANDA BORGES DE LIMA

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**MERCADO DE MADEIRA TROPICAL DE CONCESSÕES FLORESTAIS:
Espécies alternativas para ampliar a oferta e garantir o estoque futuro**

FERNANDA BORGES DE LIMA

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza

BRASÍLIA – DF
Setembro de 2024

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

FERNANDA BORGES DE LIMA

**MERCADO DE MADEIRA TROPICAL DE CONCESSÕES FLORESTAIS:
ESPÉCIES ALTERNATIVAS PARA AMPLIAR A OFERTA E GARANTIR O
ESTOQUE FUTURO**

Tese apresentada como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Doutora em Ciências
Florestais pelo Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais da Universidade de Brasília.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza.

Brasília, DF
Setembro, 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Bm	BORGES DE LIMA, FERNANDA MERCADO DE MADEIRA TROPICAL DE CONCESSÕES FLORESTAIS: ESPÉCIES ALTERNATIVAS PARA AMPLIAR A OFERTA E GARANTIR O ESTOQUE FUTURO / FERNANDA BORGES DE LIMA; orientador ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA. -- Brasília, 2024. 64 p.
	Tese(Doutorado em Ciências Florestais) -- Universidade de Brasília, 2024.
	1. Concessões Florestais. 2. Manejo Florestal. 3. Espécies madeireiras. 4. Floresta Tropical. I. NOGUEIRA DE SOUZA, ÁLVARO , orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, F.B. (2024). Mercado de madeira tropical de concessões florestais: Espécies alternativas para ampliar a oferta e garantir o estoque futuro. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. PPGCFL.DM-X/2024. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 55p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Fernanda Borges de Lima

MERCADO DE MADEIRA TROPICAL DE CONCESSÕES FLORESTAIS: ESPÉCIES ALTERNATIVAS PARA AMPLIAR A OFERTA E GARANTIR O ESTOQUE FUTURO

GRAU: Doutora

ANO: 2024

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta Tese Doutorado poderá ser reproduzida sem autorização por escrito da autora.

Fernanda Borges de Lima
CLN 316, Bloco A.
70775510 – Brasília – DF
Endereço eletrônico: fernandalima08@hotmail.com

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**MERCADO DE MADEIRA TROPICAL DE CONCESSÕES FLORESTAIS:
ESPÉCIES ALTERNATIVAS PARA AMPLIAR A OFERTA E GARANTIR O
ESTOQUE FUTURO**

FERNANDA BORGES DE LIMA

**TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE
DOUTORA.**

APROVADA POR:

PROFESSOR DOUTOR ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA

Professor Associado IV da Faculdade de Tecnologia do Departamento de Engenharia Florestal da UnB
E-mail: ans@unb.br (**Orientador**)

PROFESSOR DOUTOR ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI

Professor Associado IV Faculdade de Tecnologia do Departamento de Engenharia Florestal da UnB
E-mail: ematricardi@gmail.com (**Examinador Interno**)

PROFESSOR DOUTOR LUÍS ANTÔNIO COIMBRA BORGES

Professor Associado IV do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (UFLA)
E-mail: luis.borges@ufla.br (**Examinador Externo**)

DOUTORA MARIA DE FÁTIMA DE BRITO LIMA

Pesquisadora do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro.
E-mail: fatima.lima@florestal.gov.br (**Examinador Externo**)

PROFESSOR DOUTOR MÁRCIO LOPES DA SILVA

Professor Titular do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa
E-mail: marlosil@ufv.br (**Examinador Interno Suplente**)

Brasília-DF, 30 de setembro de 2024.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fortaleza e por todas as bênçãos recebidas e alcançadas.

Aos meus pais e irmãos, Antônio, Sirlene, Ingrid e Marcus Vinicius, por acompanharem os longos anos de dedicação aos estudos.

Ao professor Álvaro Nogueira de Souza, por ser um exemplo da profissão e pelos ensinamentos durante os anos de parceria profissional.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, em especial ao professor Eraldo Matricardi pelo carinho.

Aos membros da banca examinadora.

A Jéssica e Evandro Dalmaso, e a toda a equipe da empresa Cemal, por tornarem possível a realização do meu doutorado.

Aos colegas e amigos de profissão, em especial a Fátima, Jaine, Mario, Hallefy e Rafael, pelo suporte.

Aos amigos que estão comigo desde quando eu não sabia o que gostaria de “ser quando crescer”: Paulo, Ligiane, Ludmilla, Zélia e Dantara.

À amizade, incentivo e admiração recebidos de duas mulheres incríveis, uma amiga e uma segunda mãe: Steffany e Gardênia.

Ao André, por acalmar meu coração.

Aos que tornaram a caminhada até aqui mais serena, bonita e cheia de amor.

DEDICATÓRIA

Dedico todos os meus dias e todos os trabalhos aos meus amados pais, Antônio e Sirlene.

Ao meu pai, por tratar os estudos como uma fonte libertadora e transformadora de vidas. Ele estava certo, pois transformou a minha.

À minha mãe, por ter a alma mais linda que conheço, pelo cuidado e apoio incondicional.

LISTA DE SIGLAS

- FAO: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
- FLONA: Floresta Nacional
- ha: Hectares
- LGFP: Lei de Gestão de Florestas Públicas
- PAOF: Plano Anual de Outorga Florestal
- SFB: Serviço Florestal Brasileiro
- SNUC: Sistema Nacional de Unidades de Conservação
- TA: Termo Aditivo
- UMF: Unidade de Manejo Florestal
- VMA: Valor Mínimo Anual

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1: Principais leis florestais aplicadas aos países com maiores quantitativos de florestas tropicais do continente americano.....	25
Tabela 2: Principais leis florestais aplicadas aos países com maiores quantitativos de florestas tropicais da África Central.	28
Tabela 3: Principais leis florestais aplicadas aos países com maiores quantitativos de florestas tropicais do Sudeste Asiático.	32

CAPÍTULO II

Table 1: The 20 most traded species commercialized.	
Table 2: List of alternative species for each of the five most traded species (Timberflow, 2023), based on the cluster analysis.	

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1: Distribuição Global de Florestas por zona climática. Fonte: Global Forest Resources Assessment 2020/FAO, 2020.....23

CAPÍTULO II

Figure 1: Sum of squares within the clusters to determine the optimal number of clusters.

Figure 2: Dendrogram with the formation of the four clusters, with homogeneous groups of species, based on the technological characteristics of the wood.

Figure 3: Vector arrangement of the species that make up the four clusters, based on the formation of the two axes. Dim1 and Dim2 refer to the first and second dimensions or the first and second principal components, respectively

SUMÁRIO

MERCADO DE MADEIRA TROPICAL DE CONCESSÕES FLORESTAIS: ESPÉCIES ALTERNATIVAS PARA AMPLIAR A OFERTA E GARANTIR O ESTOQUE FUTURO.	12
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. QUESTÕES DE PESQUISA	16
3. HIPÓTESE	16
4. OBJETIVOS	16
5. ESTRUTURA DA TESE	17
REFERÊNCIAS	17
CAPÍTULO I - DIAGNÓSTICO DO MERCADO DE MADEIRA TROPICAL NO BRASIL E NO MUNDO	19
1. INTRODUÇÃO	19
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1. ASPECTOS GERAIS SOBRE FLORESTAS TROPICAIS DO MUNDO	23
3.2. PRINCIPAIS LEIS APLICADAS AS FLORESTAS TROPICAIS POR CONTINENTE.....	25
3.2.2. CONTINENTE AMERICANO	25
3.2.3. CONTINENTE AFRICANO	28
3.2.4. CONTINENTE ASIÁTICO	32
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	37
CAPÍTULO 2 - ALTERNATIVE TREE SPECIES FOR SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT IN THE BRAZILIAN AMAZON	45.

RESUMO GERAL

A tese tratou sobre as concessões florestais que tem por objetivo a exploração sustentável de florestas. A tese está composta por dois capítulos. No primeiro capítulo foi abordado sobre as leis existentes nos continentes que possuem florestas tropicais, com vegetação semelhante a encontrada no Brasil. Foi considerado as bases de dados da FAO - FAOLEX e TimberLex, e periódicos acadêmicos. Foram considerados os continentes americano, asiático e africano. Como resultado os continentes e seus países considerados apresentaram leis que regem a gestão e uso de suas florestas. As concessões florestais são semelhantes em sua aplicabilidade, sendo atividades comuns a elaboração de um plano de manejo, o firmamento de contrato com validade de até 35 anos. Os gargalos enfrentados são as práticas agrícolas desenfreadas, desmatamento, ineficácia e dificuldade na fiscalização das atividades, e maior participação das comunidades locais. No segundo capítulo foi avaliado e apontados grupos de espécies madeireiras da Floresta Amazônica com potencial para exploração, através da avaliação de suas propriedades físico-mecânicas, visando identificar espécies alternativas que possam atender à demanda do mercado. Os dados foram do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) e da plataforma Timberflow. Aplicou-se uma técnica de análise de agrupamento multivariada com o intuito de agrupar espécies com base nas características tecnológicas de suas madeiras e avaliar a similaridade entre elas, a fim de obter grupos homogêneos em termos de potencial econômico e utilização. Os resultados indicaram quatro grupos homogêneos: Cluster 1 (40,72% das espécies, densidade básica-db: 690 kg m⁻³), Cluster 2 (13,92%, db: 260 e 520 kg m⁻³), Cluster 3 (27,32%, db: 550 e 830 kg m⁻³) e Cluster 4 (18,04%, db: 830 kg m⁻³). A maioria das 20 espécies listadas é classificada como mais comercialmente viável (70%), com alta densidade de madeira. As espécies identificadas como alternativas incluem *Dialium guianense* e *Zollernia paraensis* para *Dipteryx odorata*, *Terminalia argentea* para *Dinizia excelsa*, *Terminalia amazonia* e *Buchenavia grandis* para *Goupia glabra*, e *Protium altissimum* e *Maclura tinctoria* para *Hymenaea courbaril*.

Palavras-chave: Manejo florestal, exploração, floresta tropical.

GENERAL ABSTRACT

The thesis addressed forest concessions aimed at the sustainable exploitation of forests. It is composed of two chapters. The first chapter discussed the existing laws in continents that have tropical forests with vegetation similar to that found in Brazil. The databases of FAO - FAOLEX and TimberLex, as well as academic journals, were considered. The American, Asian, and African continents were analyzed. As a result, the continents and their respective countries presented laws governing the management and use of their forests. Forest concessions are similar in their applicability, with common activities including the development of a management plan and the establishment of contracts valid for up to 35 years. The challenges faced include rampant agricultural practices, deforestation, ineffectiveness and difficulty in monitoring activities, and the need for greater participation from local communities. In the second chapter, groups of timber species from the Amazon Forest with potential for exploitation were evaluated through the assessment of their physical-mechanical properties, aiming to identify alternative species that can meet market demand. Data was sourced from the Forest Products Laboratory (LPF) and the Timberflow platform. A multivariate cluster analysis technique was applied to group species based on the technological characteristics of their wood and to evaluate their similarity, thereby obtaining homogeneous groups in terms of economic potential and utilization. The results indicated four homogeneous groups: Cluster 1 (40.72% of species, basic density-db: 690 kg m⁻³), Cluster 2 (13.92%, db: 260 and 520 kg m⁻³), Cluster 3 (27.32%, db: 550 and 830 kg m⁻³), and Cluster 4 (18.04%, db: 830 kg m⁻³). Most of the 20 listed species are classified as more commercially viable (70%), with high wood density. The species identified as alternatives include *Dialium guianense* and *Zollernia paraensis* for *Dipteryx odorata*, *Terminalia argentea* for *Dinizia excelsa*, *Terminalia amazonia* and *Buchenavia grandis* for *Goupia glabra*, and *Protium altissimum* and *Maclura tinctoria* for *Hymenaea courbaril*.

Keywords: Forest management, exploration, tropical forest

MERCADO DE MADEIRA TROPICAL DE CONCESSÕES FLORESTAIS: ESPÉCIES ALTERNATIVAS PARA AMPLIAR A OFERTA E GARANTIR O ESTOQUE FUTURO

1. INTRODUÇÃO GERAL

As florestas públicas nacionais superam 310 milhões de hectares (ha), correspondendo a aproximadamente 37% do território, com maior concentração no bioma Amazônia (Paof, 2023). Para a gestão destas vastas áreas surgiu a necessidade de uma regulamentação específica para florestas, iniciou-se pelo código florestal de 1934 que foi atualizado em 2012. Ainda se destacam as Leis nº 9.985/2000, sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), e da Lei de Gestão de Florestas Públicas (LGFP) nº 11.284/2006 (Brasil, 2000; Brasil, 2006; Lopes, 2018; Sfb, 2018; Paof, 2023).

Posterior à criação da LGFP foi implementado o Serviço Florestal Brasileiro (SFB), órgão responsável pelo gerenciamento das concessões florestais federais concedidas para organizações como empresas, cooperativas e comunidades (Brasil, 2006). Estas organizações possuem o direito de explorar madeira, produtos não-madeireiros e oferecer serviços de ecoturismo, após firmarem contrato e garantir-se o direito do uso por meio do pagamento ao governo de quantias que variam em função da proposta de preço, apresentada durante o processo de licitação (Sfb; Andrae, 2018, p. 1242).

A política de concessão florestal permite que haja o gerenciamento de seu patrimônio florestal, tendo como resultados: combate a grilagem de terras, exploração predatória e desenfreada, proteção dos recursos naturais, ecossistemas, e, principalmente, o manejo Sustentável desse patrimônio. A floresta concedida permanece em pé e apenas de quatro a seis árvores por ha são retiradas, promovendo ao mesmo tempo, uma economia em bases sustentáveis e de longo prazo, por contar com contratos que possuem duração de exploração por até 40 anos (Pinheiro Muniz, 2019, p. 121; Tegegne; 2019, p.1).

No processo para análise e firmamento do contrato de concessão estão especificados parâmetros, chamados indicadores técnicos de desempenho, usados para definir os vencedores da licitação. Alguns indicadores estão relacionados a critérios técnicos eliminatórios. Em caso de não-cumprimento destes critérios, além de sanções, o SFB pode determinar correção das irregularidades e suspender as atividades exploratórias (Sfb, 2018). Os indicadores são específicos de cada área concedida e, portanto, podem ser alterados de contrato para contrato.

São exemplos de indicadores: o monitoramento da dinâmica de crescimento e da recuperação da floresta; a geração de empregos; o aproveitamento de resíduos florestais e o

grau de processamento local do produto florestal ou Fator de Agregação de Valor (FAV) (Sfb, 2018). Considerando o FAV nos processos de concessão, as empresas candidatas a concessionárias se comprometem a processar minimamente a madeira extraída, transformando-as em tábuas, ripas, por exemplo, sendo justificado a geração de empregos e renda no entorno das áreas. Contudo, o SFB propôs para os editais subsequentes que o processamento mínimo da madeira possa ser feito por empresas locais terceirizadas (Sfb, 2019).

Desde o início das concessões no país, os procedimentos estabelecidos pelo SFB estão sendo aperfeiçoados, bem como seus contratos, o que aponta para uma curva crescente de aprendizagem. No entanto, ainda existem pontos que necessitam atenção e estudos (Lima *et al.* 2024, p. 1808). De acordo com Chules (2018), dentre os desafios para a implementação das concessões estão a dificuldade de prestação e manutenção de garantias, concorrência com o comércio de madeira ilegal, falta de incentivos fiscais, falha nos dados inventariados, carência de instrumentos de equilíbrio econômico-financeiro nos contratos e suas exigências. Uma consequência a esses fatores é a inadimplência de alguns contratos.

Para Sist *et al.* (2021) e Petruski *et al.* (2012, p. 96) uma das estratégias para contornar a inadimplência das empresas seria ampliar sua participação no mercado nacional e internacional, uma vez que sua atuação está abaixo de seu potencial, considerando que o setor pode produzir mais e transferir para outros segmentos da economia. Para isso, são necessários a abertura de novos mercados, otimizar os processos relacionados às atividades florestais e o número de empresas, e, fortalecer primeiramente as frentes envolvidas no processamento da madeira (Filgueiras *et al.* 2018, p. 102).

Soma-se a isso o fato de que o mercado se habituou a comprar um grupo restrito de madeira, um ponto fundamental na condução do manejo floresta, uma vez que Rodrigues *et al.* (2022), mostraram que um segundo ciclo é financeiramente inviável nos moldes atuais. A produção abaixo do que permite a Resolução Conama N° 406 (2009), tem sido a regra nos contratos vigentes. Montezano (Comunicação pessoal, 2024), afirma que por diversos motivos, não se chegará a retirar em volume, valor máximo por hectare (25,8m³ para a maioria dos contratos). Tais fatores vão desde ocorrência de ocos na madeira até espécies indesejadas pelo mercado que são deixadas de pé. Nesse caso, há a possibilidade de produtos como madeira em tora complementarem o volume máximo aumentando a segurança financeira do contrato.

Segundo Lima *et al.* (2024, p. 1808), os determinantes para a viabilidade financeira nas concessões florestais são: volume de madeira explorado em campo, rendimento no desdobro de toras nas serrarias das concessionárias, preço da madeira em pé e os custos inerentes aos produtos serrados. Ainda de acordo com a autora, o comprometimento do

concessionário com um primeiro desdobro da madeira explorada implica na inviabilidade no investimento, portanto, a venda da madeira em tora há que ser considerada como forma de mitigar efeitos de elevados custos de transformação.

Considerando as características dos contratos de concessões florestais no Brasil, esse estudo partiu das dificuldades enfrentadas no final da cadeia produtiva da madeira tropical. Nesse ponto, há tensões causadas pela dificuldade no alcance do volume máximo a ser retirado e com a quantidade de espécies demandadas pelo mercado na área em manejo. Há necessidade de se considerar a continuidade do mercado internacional de madeira tropical, assim como, analisar as legislações que regem o manejo em outros países e sua implicação nos estoques futuros.

2. QUESTÕES DE PESQUISA

1. Como são as concessões florestais em outros países tropicais? Quais as leis, percepções e gargalos?
2. Nas concessões florestais brasileiras, para as empresas que não conseguem alcançar o volume máximo permitido existe a possibilidade para incluir novas espécies no mercado? Quais espécies e com quais características?

3. HIPÓTESE

1. O mercado de oferta de madeira está mudando e pressionando a floresta amazônica como a futura maior ofertante mundial.

2. A ampliação do número de espécies ofertadas para o mercado é possível a partir da análise de características e identificação de espécies alternativas.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho foi analisar a legislação mundial de países que ofertam madeira tropical e apresentar espécies alternativas para auxiliar na manutenção dos estoques futuros.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Analisar a legislação que versa sobre o manejo florestal no mundo;

- b. Agrupar espécies madeireiras da Amazônia com base em suas propriedades físico-mecânicas e identificar alternativas àquelas demandadas pelo mercado.

5. ESTRUTURA DA TESE

A tese está organizada e fundamentada em uma sequência lógica, buscando responder às questões norteadoras e alcançar os objetivos propostos. Para tanto, a tese foi estruturada em dois capítulos, abordando as seguintes temáticas:

Capítulo I – Diagnóstico das leis e características do manejo florestal nas florestas tropicais no mundo;

Capítulo II – Espécies Arbóreas Alternativas para o Manejo Florestal Sustentável na Amazônia.

REFERÊNCIAS

ANDRAE, F. H.; SCHNEIDER, P. R.; DURLO, M. A. Importância do manejo de florestas nativas para a renda da propriedade e abastecimento do mercado madeireiro. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 3, p. 1293-1302, 2018.

BRASIL. Lei nº 12.284/06. Lei de Gestão de Florestas Públicas. Brasília. 02 de março de 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20042006/2006/lei/111284.htm. Acesso em: março de 2022.

BRASIL. Lei nº 9.985/2000. Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Brasília. 118 de julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: março de 2022.

CONAMA. Resolução 406 de 02 de fevereiro de 2009 – estabelece parâmetros para elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável. 2009. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=597>. Acesso em: março de 2023.

CHULES, E. L.; SCARDUA, F. P.; MARTINS, R. C. C. Desafios da implementação da política de concessões florestais federais no Brasil. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 295-318. 2018.

FILGUEIRAS, G., CAIRES, M., CARVALHO, A., ARAÚJO, A., DE CARVALHO, A. Desenvolvimento local sustentável através da produção concentrada de madeira em tora no estado do Pará. *Revista Agroecossistemas*, v. 9 n. 2, p. 102-129. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Making forest concessions in the tropics work to achieve the 2030 Agenda: Voluntary Guidelines. 180. 2018.

LIMA, F. B. D., SOUZA, Á. N. D., MATRICARDI, E. A. T., COELHO JÚNIOR, L. M., LIMA, I. B. D., MOSMANN, A. J., GOMES, C. J. O. Determinants of Financial Viability of Forest Concession in Brazilian Amazon. *Forests*, v. 15 n. 10, 1808. 2024.

LOPES, M. G. R.; VILELA, R. A. G.; QUEROL, M. A. P. Anomalias e contradições do processo de construção de um aeroporto: uma análise histórica baseada na Teoria da Atividade Histórico-Cultural. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, n. 2. 2018.

PAOF. Plano Anual de Outorga Florestal - Paof 2023. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/florestal/pt-br/assuntos/concessoes-e-monitoramento/plano-anual-de-outorga-florestal/plano-anual-de-outorga-florestal-publicacoes/paof_2023.pdf. Acesso em: janeiro de 2024.

PETRAUSKI, S. M. F. C., MARQUES, G. M., SILVA, M. L., CORDEIRO, S. A., SOARES, N. S. Competitividade do Brasil no mercado internacional de madeira. *Cerne*, v. 18 n. 1, p. 99-104. 2012

PINHEIRO, A. S.; MUNIZ, T. F. Concessão florestal como instrumento para redução de exploração ilegal madeireira em Unidades de Conservação em Rondônia. *Revista Farol*, v. 8, n. 8, p. 121-142, 2019.

RODRIGUES, M. I., DE SOUZA, Á. N., MAZZEI, L., SILVA, J. N. M., JOAQUIM, M. S., PEREIRA, R. S., JUNIOR, I. M. L. Financial variability of the second cutting of forest management in Tapajós National Forest, Brazil. *Forest Policy and Economics*. n. 136, 2022.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Concessões florestais federais. n. 2, p. 7121, 2018.

SIST, P., PIPONIOT, C., KANASHIRO, M., PENA-CLAROS, M., PUTZ, FE, SCHULZE, M., VIDAL, E. Sustentabilidade das concessões florestais brasileiras. *Ecologia e Manejo Florestal*, v. 496. 2021.

TEGEGNE, Y. T., CRAMM, M., VAN BRUSSELEN, J., LINHARES JUVENAL, T. Forest concessions and the United Nations sustainable development goals: Potentials, challenges and ways forward. *Forests*, v. 10, n. 1, p. 1–21, 2019.

CAPÍTULO I - DIAGNÓSTICO DO MERCADO DE MADEIRA TROPICAL NO BRASIL E NO MUNDO

1. INTRODUÇÃO

Existem florestas em todas as quatro principais zonas climáticas (boreal, temperada, subtropical e tropical), distribuídas por 4,06 bilhões de hectares (ha), ou seja, cerca de 31% da superfície terrestre. O clima, a geologia e a influência antrópica moldam os diferentes tipos de florestas ao redor do mundo. As florestas tropicais e subtropicais, localizadas perto da linha do equador, representam 61% da cobertura global de árvores por área. As florestas boreais, caracterizadas principalmente por florestas de coníferas nas latitudes do Norte, representam 24% da cobertura global de árvores. As florestas temperadas, encontradas nos climas moderados entre os trópicos e as regiões boreais, consistem em uma mistura de tipos de florestas de folhas largas e coníferas, representando cerca de 15% da cobertura global de árvores (Global Forest Review, 2022a; Ameray *et al.*, 2021, p. 18).

Segundo dados da plataforma Global Forest Watch (GFW) (2023), que possui gráficos e mapas interativos sobre as florestas globais, os países com as maiores áreas cobertas por florestas são: Rússia com 755 milhões de ha, Brasil com 498 milhões, Canadá com 421 milhões, seguidos dos Estados Unidos 272 milhões de ha, e República Democrática do Congo com 188 milhões de ha. Ainda de acordo com a GFW, de 2001 a 2021, houve um total de 437 milhões de ha perdidos de cobertura arbórea globalmente, o equivalente a uma redução de 11%. Para Curtis *et al.* (2018, p. 1109), incêndios, urbanização, agricultura itinerante, silvicultura, mas principalmente, o desmatamento para produção de commodities, estão atrelados ao valor total perdido.

Pendrill (2019) afirma que os grupos de commodities mais comumente associados ao desmatamento são: carne bovina, produtos florestais, óleo de palma, cereais e soja, embora a variação entre países e regiões seja significativa. Grande parte do desmatamento atribuído a commodities está atrelada à demanda internacional, cerca de um terço dos ganhos líquidos de florestas é compensado por importações de commodities que causam desmatamento em outros países. Para Winkler *et al.* (2021, p. 120469), esse comportamento desempenha um papel crítico na formação da estrutura e dinâmica da floresta e, portanto, têm impactos profundos nas funções do ecossistema e na biodiversidade.

Consoante ao estudo de Liu *et al.* (2023), do quantitativo de florestas perdidas, parte são resultados de distúrbios de baixa severidade, produtos da mudança climática e das atividades humanas, que afetam áreas florestais muito maiores. Ainda de acordo com a autora,

a intensificação dos regimes de perturbação acarretará o aumento da mortalidade de árvores. Tal fato provavelmente forçará as florestas a crescerem em estaturas mais baixas e mais jovens e, portanto, ter consequências em cascata para a biodiversidade e a mitigação do clima.

Nas florestas temperadas e boreais, a perda de cobertura arbórea desde a virada do século, está relacionada à silvicultura e incêndios florestais. O Canadá, Rússia e Estados Unidos, representam 99% da perda de cobertura de árvores relacionada a incêndios florestais, e, 66% de todas as perdas relacionadas à silvicultura. Práticas florestais insustentáveis, com ciclos muito curtos, podem afetar a condição dessas florestas (Global Forest Review, 2022b). Devem ser considerados também os fenômenos naturais, como furacões e tsunamis, recorrentes nesses países e que afetam os ecossistemas florestais e os meios de subsistência. Além de resultar em degradação intensa em grandes áreas, é considerada de alta intensidade, uma vez que, em um único evento pode reduzir significativamente a capacidade de armazenamento e sequestro de carbono nas florestas costeiras (Gao, 2020; Wei, 2022, p.120468).

Ainda tratando sobre as florestas boreais, precisamente no norte da Europa, Rússia e nordeste da China, que são caracterizadas por enfrentar temperaturas frias, curta estação de crescimento, solos ácidos e que passam a maior parte do ano congelados ou o chamado *permafrost*, ainda estão entre os principais provedores mundiais de serviços ecossistêmicos, incluindo armazenamento de carbono e água potável. No entanto, embora grandes extensões de floresta primitiva não explorada ainda estejam presentes, a exploração madeireira, a mineração, a extração de petróleo e as mudanças climáticas sem supervisão representam ameaças (Angelstam, 2019, p. 98; Lee, 2020, p. 110).

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), corrobora com as informações de que a extensão de florestas está diminuindo, porém destaca as florestas tropicais, localizadas nos continentes americano, africano e asiático, onde os países com maiores quantitativos de florestas são: Brasil, República Democrática do Congo, Peru, Indonésia, Colômbia, Papua Nova Guiné, Venezuela, Bolívia, México e Suriname. A edição de 2020 da Avaliação Global de Recursos Florestais ou *Global Forest Resources Assessments* (em inglês - FRA) da FAO estima que 420 milhões de ha de floresta foram convertidos para outros usos da terra desde 1990. O desmatamento estimado foi de 10 milhões de ha, por ano, entre 2015 e 2020 (cerca de 0,25% ao ano) (Fao, 2022).

Para Bayas *et al.* (2022), as taxas atuais de desmatamento são impulsionadas principalmente pela expansão agrícola. No entanto, as causas diretas e indiretas são complexas e compreendem múltiplos fatores, como por exemplo, produção agrícola em combinação com extração de madeira e expansão da infraestrutura. A última edição do relatório, O Estado das

Florestas do Mundo ou *The State of the World's Forests* - em inglês (SOFO), lançado em 2022, durante o Congresso Florestal Mundial na Coreia, informa que a África registrou a maior taxa anual de perda líquida de florestas em 2010-2020, com 3,9 milhões de ha, seguido pela América do Sul, com 2,6 milhões de ha.

Esta edição do SOFO (2022) apresenta três caminhos que, especialmente se seguidos simultaneamente, podem ajudar a enfrentar as crises que o planeta enfrenta e, ao mesmo tempo, gerar benefícios econômicos sustentáveis, que são: 1 - deter o desmatamento e a degradação florestal como elemento crucial para reverter os motores das mudanças climáticas, perda de biodiversidade, degradação da terra, desertificação e ameaças à saúde humana; 2 - restaurar florestas e paisagens degradadas e colocar mais árvores em ambientes agrícolas como meios econômicos para melhorar os recursos naturais e gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais; e 3 - aumentar o uso sustentável de florestas e construir cadeias de valor verdes para ajudar a atender a demanda futura por materiais e serviços ecossistêmicos e apoiar economias mais verdes e circulares, particularmente no nível local.

Com vista à toda a preocupação global acerca do aumento dos efeitos das mudanças climáticas, este capítulo tratou das leis que norteiam o manejo de florestas tropicais, aprofundando-se aos casos dos países com as maiores áreas, seus instrumentos legais, as percepções e dificuldades relacionadas as concessões florestais, para investigar o papel do Brasil no futuro do mercado mundial de madeira tropical.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados utilizada para alcançar as metas do estudo constou de leis, revisão literária e documental, sendo percorrido quatro dos cinco passos propostos por Rowley & Slack (2004): foram feitas; a revisão literária foi estruturada; escrita a revisão e construída a bibliografia. As seguintes fontes de dados serviram como base ao estudo:

- Plataformas eletrônicas: CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Google Acadêmico, SciELO, Biblioteca Central da Universidade de Brasília, SCOPUS, SPRINGER, Publons e Web of Science.
- FAO – FAOLEX: fornece uma visão geral dos quadros jurídicos e políticos nacionais, fornecendo ligações à Constituição, às políticas setoriais e à legislação primária relacionada com a alimentação e a agricultura atualizado, um dos maiores repositórios

on-line do mundo de leis, regulamentos e políticas nacionais sobre alimentação, agricultura e gestão de recursos naturais.

- **TIMBERLEX:** base de dados da FAO, criado com o apoio financeiro do Ministério da Agricultura, Florestas e Pescas do Japão, fornece as informações jurídicas específicas de cada país - incluindo legislação, políticas e compromissos internacionais - sobre gestão florestal, produção e comércio de madeira. Os perfis legais dos principais países comercializadores de madeira são organizados em torno de um conjunto de Elementos Jurídicos Orientadores (GLEs) para a legalidade da madeira desenvolvido pela FAO e agrupados em quatro grupos para capturar as diferentes fases da cadeia de valor da madeira: 1. Posse de Terra e Manejo Florestal; 2. Atividades de colheita de madeira; 3. Processamento, Transporte e Comércio e 4. Impostos e Taxas.

Foram consideradas as informações das florestas tropicais, que ocorrem principalmente entre os trópicos de câncer e capricórnio e em todas as regiões do planeta, e que se dividem, predominantemente, em três continentes: América, África, Sudeste Asiático. Os continentes apresentam características semelhantes, possuem grande volume de espécies animais e vegetais dispersas em uma zona geográfica de clima quente e úmido (Feeley, 2012; Dirzo, 2001, p. 260).

Para cada continente da faixa tropical foram considerados os principais países com os maiores quantitativos de áreas cobertas por florestas. Desse modo, para o continente americano: Brasil, Bolívia, Colômbia, Peru, Venezuela, México. Para o continente Africano: República Democrática do Congo, República do Congo, Gabão, Camarões e Guiné-Equatorial. Para o Sudeste Asiático, Indonésia, Malásia e Tailândia (Figura 1).

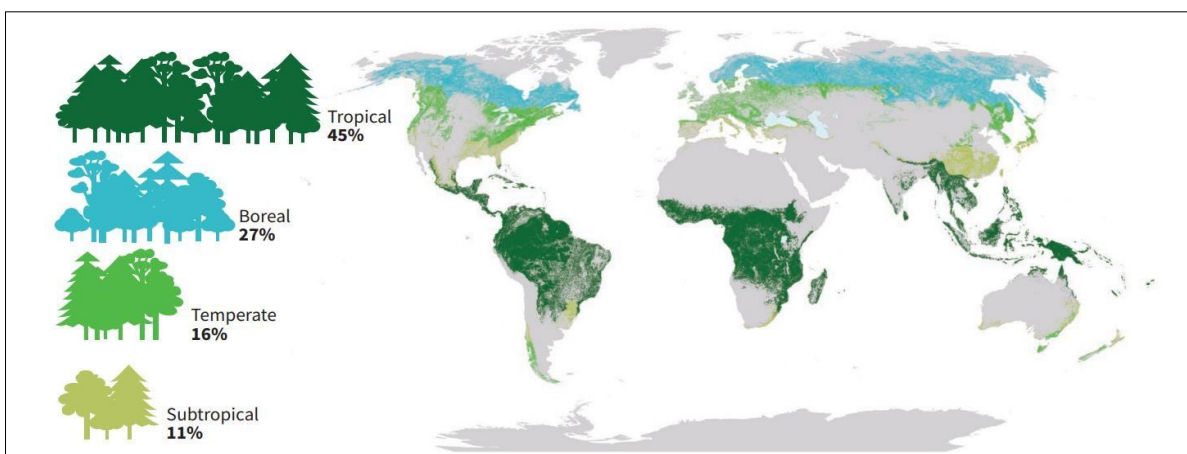


Figura 1: Distribuição Global de Florestas por zona climática. Fonte: Global Forest Resources Assessment 2020/FAO, 2020.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ASPECTOS GERAIS SOBRE FLORESTAS TROPICAIS DO MUNDO

As florestas tropicais são o centro da biodiversidade da Terra e estima-se que apoiem 50% de todas as espécies descritas e uma proporção ainda maior de espécies não descritas (Xavier, 2022, p. 65). Dados da Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) (2020), apontam que as florestas cobrem 31% (4,06 bilhões de ha) da área terrestre global. Um terço desse total estão em cinco continentes, a saber, Ásia, África, América do Sul e do Norte. Ainda segundo a FAO, desde 1990 estima-se que 420 milhões de ha de floresta foram perdidos pela conversão de uso da terra, embora a taxa de desmatamento tenha diminuído nas últimas três décadas. Entre 2015 e 2020, a taxa de desmatamento foi estimada em 10 milhões de ha por ano, e, atrela-se a isso a expansão agrícola, principal motor do desmatamento, degradação e da perda associada de biodiversidade florestal.

Ao tratar dos grandes polos florestais, a África teve a maior taxa anual de perda de florestas entre 2000 e 2010, totalizando 3,9 milhões de ha, seguido pela América do Sul, com 2,6 milhões de ha. Em contrapartida, no mesmo período, a Ásia teve o maior ganho de área florestal, seguido pela Oceania e Europa (Fao, 2020). No entanto, Europa e Ásia registraram taxas substancialmente mais baixas de ganho de 2010-2020 (Fao, 2020; Pingault, 2021). Imai *et al.* (2018), ao analisar oito países do sudeste asiático (Camboja, Indonésia, Laos, Malásia, Mianmar, Filipinas, Tailândia e Vietnã), desde 1990, identificou que na Tailândia a área coberta por floresta estava com valores de cobertura estáveis, nas Filipinas e no Vietnã houve aumento, porém, nos outros cinco países do Sudeste Asiático foram identificadas perdas de floresta.

Segundo a Global Forest Watch e Tyukavina *et al.* (2022), o Brasil lidera a lista de países com maior perda de floresta tropical, seguido da República Democrática do Congo e da Bolívia. No Brasil, segundo dados do Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), em julho de 2022 foi detectado 1.739 quilômetros quadrados de desmatamento na Amazônia Legal, uma redução de 17% em relação a julho de 2021, com as maiores áreas desmatadas no Pará (34%), Amazonas (28%), Acre (15%), Rondônia (11%), Mato Grosso (10%) e Maranhão (2%). O SAD pondera que o desmatamento ocorreu em áreas privadas ou sob diversos estágios de posse, bem como em assentamentos, Unidades de Conservação (UCs) e em terras indígenas (Imazon, 2022).

Para Pendrill (2019), as atividades associadas à diminuição de áreas cobertas por florestas são a pecuária, madeira e subprodutos florestais, especialmente o cultivo de cereais e

soja. Consoante ao autor, o desmatamento está relacionado ao aumento da demanda internacional de produtos madeireiros, especialmente para países que apresentaram diminuição nas taxas de desmatamento e aumento da cobertura florestal, sendo consideradas nesse caso, a Europa e a Ásia (China, Índia e Rússia). Contudo, para Tyukavina *et al.* (2022), os eventos extremos de incêndios florestais, observados nos últimos anos, também explicam a perda significativa de áreas verdes.

Consoante aos estudos de Myers *et al.* (2020, p.125) e Hansen (2018, p. 80) o gerenciamento do setor florestal surgiu da chamada “crise da madeira tropical” de meados da década de 1980, quando organizações ambientais retrataram o rápido desmatamento dos países tropicais como um desastre grave e crescente. Segundo Çalişkan (2022), as administrações públicas detêm os direitos de gestão de mais de 80% das áreas florestais de propriedade global e a gestão por parte das administrações públicas é particularmente predominante na América do Sul, onde responde por mais de 95%. Porém, de acordo com relatório da FAO (2020) acrescenta-se que a gestão pública diminuiu sua ação globalmente desde 1990, com um aumento de parte das florestas públicas geridas por empresas, entidades, instituições e por comunidades locais.

Com o aumento do comércio internacional de commodities que apresentam risco à diminuição florestal, está se tornando cada vez mais importante considerar as ligações comerciais entre os países e avaliar possíveis conexões entre perda e ganho florestal. Países que passaram por uma transição florestal e agora estão aumentando sua cobertura florestal tendem a deslocar o uso da terra para fora de suas fronteiras e ao mesmo tempo demandam por madeira de outros polos (Armenteras, 2023, p. 735; Hansen, 2018, p.77).

De acordo com Garrido (2002), a grande demanda de madeiras duras tropicais pelos países desenvolvidos pode resultar na exaustão das florestas da Malásia e da Indonésia, enquanto isso, no Brasil, ainda permanecerão por muitos anos, mesmo com o desmatamento. A madeira é um recurso importante por representar quase metade das finanças da exploração da floresta nativa, fonte de emprego e renda em toda a cadeia de beneficiamento e comércio até o consumidor final. O esgotamento juntamente com o aumento da demanda por madeira tropical, pode consolidar o aprimoramento da madeira como uma nova trajetória nas florestas de produção (Adeodato, 2011; Tegegne, 2019).

3.2. PRINCIPAIS LEIS APLICADAS ÀS FLORESTAS TROPICAIS POR CONTINENTE

3.2.2. CONTINENTE AMERICANO

No continente americano, precisamente na América do Sul encontra-se a maior floresta tropical do mundo, a Amazônica, abrangendo nove países (Tegegne, 2018). Destes, seis relataram que cerca de 115 milhões de ha de floresta está destinada à produção. De acordo com a Faolex (2023) esses são os resumos das principais leis que tratam sobre as florestas tropicais dos países da América (Tabela 1).

Tabela 1: Principais leis florestais aplicadas aos países com maiores quantitativos de florestas tropicais do continente americano.

PAÍS	LEI	RESUMO
Brasil	Nº 11.284 de março de 2006 e Decreto nº 12.046, de 5 de junho de 2024	Lei de Gestão de Florestas Públicas Regulamenta no âmbito federal a Lei Nº 11.284
Peru	Nº 27.309 de julho de 2000	Lei de Florestas e Fauna Silvestre - Estabelece o regime de concessões florestais e promove o uso sustentável dos recursos florestais
Colômbia	Nº 2 de janeiro de 1959	Lei Florestal - Estabelece bases para o manejo, conservação e proteção dos recursos florestais.
Venezuela	Nº 1.004 de janeiro de 1966	Lei Florestal dos solos e das águas - Estabelece a conservação, fomento e aproveitamento dos recursos naturais.
Bolívia	Nº 1700 de julho de 1996	Lei Florestal - Estabelece a utilização sustentável e a proteção de florestas e terras florestais para o para o benefício das gerações atuais e futuras, harmonizar os interesses sociais, económicos e ecológicos do país.
México	Sem número - abril de 2018	Lei Geral de Desenvolvimento Florestal Sustentável - Estabelece as bases para a proteção, conservação e uso sustentável dos recursos florestais.

Fonte: FAOLEX, 2024.

Legislação e regulamentos que apoiam o manejo florestal sustentável especificamente para as florestas amazônicas foram desenvolvidos nos países com documentos explícitos de política florestal. A Colômbia possui um Plano Nacional que estabelece um quadro estratégico

que incorpore ativamente o setor florestal para o desenvolvimento nacional. Brasil e Bolívia têm um conjunto de leis e/ou decretos supremos como instrumentos que promovem e regulam o setor. Por outro lado, em todos os países existem numerosos regulamentos em hierarquias diferentes que versam sobre os recursos florestais. Este quadro jurídico-regulatório estabelece definições e princípios sobre recursos, silvicultura, planejamento territorial, uso e manejo florestal, mudança parcial ou total no uso da terra, e usos não florestais e agrícolas (a b c d e l Faolex, 2024).

Além disso, sobre o regime institucional e suas competências; disposições sobre florestas a serem geridas e utilizadas de forma sustentável, as florestas a serem protegidas e/ou conservados, e as medidas para reduzir o desmatamento e a degradação. Existem também numerosos regulamentos relativos instrumentos de gestão (planos gestão florestal), processos de aprovação, fiscalização e controle florestal; especificações sobre volumes de corte, técnicas de corte exploração; processamento, transporte e comercialização de produtos florestais madeireiros e não madeireiros; as regras para proteção contra incêndio, sobre reflorestamento e arborização, e sobre restauração ou recuperação florestal e terras degradadas. Bem como, sobre promoção, financiamento, incentivo e medidas de promoção considerando diferentes atores locais (a b c d e l Faolex, 2024; Haddad *et al.* 2024; Zanin, 2022).

No geral, os processos de concessão são semelhantes nos países elencados, onde, para o início das operações é necessário um plano de manejo florestal e as operações são iniciadas no dia seguinte à notificação da resolução que aprova o plano de manejo. São consideradas atividades prévias ao início de operações, inventários e censos para a formulação de planos de manejo, planejamento de infraestrutura, estradas, pátios de armazenamento, primários e secundários; construção de acampamentos, construção de viveiros, assim como trabalhos de vigilância da área; as quais não requerem a aprovação do plano de manejo (Timberlex, 2024).

Dentre os países americanos, o Brasil desponta em área e regramentos rigorosos, ocupando o primeiro lugar mundial em extensão contínua de florestas tropicais, cerca de 59% do seu território é coberto por florestas (Fao, 2020). O Código Florestal (Lei N° 12.651 de maio de 2012), caracteriza-se como um dos mais restritivos, devido ao quantitativo de regramentos impostos (Tegegne, 2018). O Brasil, ao adotar tardiamente o sistema de concessões em 2006, com início das primeiras atividades em 2010, se beneficiou da capacidade de contar com as experiências de outros países e aprimorá-las para a construção de sua própria política. Além disso, a proposta se beneficiou de um amplo debate com os setores interessados antes da promulgação da Lei N° 11.284 em 2006. Uma das principais preocupações em relação às concessões florestais no Brasil foi a capacidade do governo de monitorar e garantir

efetivamente a manutenção da integridade florestal durante e após o término dos contratos de concessão (Lima e Azevedo-Ramos, 2020, p.102285; Silva *et al.* 2023).

Como consequência do aumento da produção, o valor arrecadado conseqüentemente é maior ao longo dos anos, alcançando um valor total de R\$ 69 milhões em 2019. Observou-se, também, um acréscimo de cerca de 70% dos valores arrecadados em 2020 em relação à arrecadação realizada no ano anterior. Segundo o órgão gestor Serviço Florestal Brasileiro (SFB), o crescimento da arrecadação é resultado do aumento da produção das florestas sob concessão florestal, da manutenção da adimplência dos valores a serem arrecadados nas parcelas de pagamento pela produção florestal durante o ano de 2020, e do pagamento dos termos de parcelamento dos valores inadimplidos (Sfb, 2022).

Para o Peru, desde 2001, os novos relatórios técnicos mostram que mais de 2,6 milhões de ha de floresta foram desmatados na Amazônia peruana nos últimos vinte anos, sendo mais de 190.000 ha apenas em 2020. Restam cerca de 68,3 milhões de ha de florestas amazônicas no Peru. Estima-se que as florestas amazônicas peruanas tenham perdido 9,8 milhões de ha, o que representa 13,6% da região da selva (Dourojeanni, 2022, p. 250). Dentre as causas, pode-se destacar que o desmatamento está relacionado à dinâmica econômica regional pela agricultura e mineração, sendo esta última uma atividade muito lucrativa na região que atrai migração e explicaria o seu maior crescimento populacional. As atividades turísticas, também são contabilizadas como um dos fatores das perdas florestais (Moschella, 2023).

Para o caso mais grave de trabalho forçado se dá com os povos indígenas da Amazônia no corte ilegal de madeira. Um número significativo de madeireiros ainda usa o sistema de “habilitação condicionada”, que é baseado na antecipação de dinheiro ou bens aos trabalhadores madeireiros com o objetivo de incorporá-los ao trabalho de extração (Yonz e Quispe, 2023; Dourojeanni, 2022, p. 265; Rincon, 2013).

Em termos de manejo florestal, todos os países têm políticas e regulamentos que governam e orientam as operações do manejo florestal sustentável especificamente para as florestas amazônicas já foram desenvolvidos em sete dos oito países. Todos os países realizaram ou têm em mente execução de um inventário florestal nacional que permite avaliar e monitorar ao longo do tempo a extensão e qualidade da floresta, tanto no âmbito nacional quanto na Região Amazônica. Mais de 80% da floresta amazônica foi pretendido pelos países para manter um uso sustentável (Rincon, 2013; Macdicken *et al.* 2015; Sabogal, 2018).

3.2.3. CONTINENTE AFRICANO

O continente Africano é o detentor da segunda maior área coberta por floresta tropical

(Houngbedji, 2023). Segundo dados da FAO (2020) a África teve a maior taxa anual de perda líquida de florestas entre 2010 e 2020, com quase 4 milhões de hectares. A exploração de madeira tropical no continente pode variar anualmente e conforme sua localização geográfica, além da demanda global por produtos madeireiros e questões socioeconômicas.

Na tabela 2, estão as principais leis que versam sobre as florestas localizadas no continente africano, na África Central e os países, sendo República Democrática do Congo, República do Congo, Gabão, Camarões e Guiné-Equatorial, que possuem os maiores quantitativos em área coberta por florestas tropicais.

Tabela 2: Principais leis florestais aplicadas aos países com maiores quantitativos de florestas tropicais da África Central.

PAÍS	LEI	RESUMO
República Democrática do Congo	Nº 011 de 29 de agosto de 2002	Código Florestal - Define o regime aplicável à conservação, à exploração e à valorização dos recursos florestais no conjunto do território nacional.
República do Congo	Nº 33 de 8 de julho de 2020	Código Florestal – Estabelece os princípios fundamentais da organização e gestão do domínio florestal nacional, suas regras de exploração e comercialização aplicáveis aos produtos florestais.
Gabão	Nº 016 de 31 de dezembro de 2001	Código Florestal – Versa sobre a exploração racional da floresta, da fauna selvagem e dos recursos haliêuticos.
Camarões	Nº 94 de 20 de janeiro de 1994	Lei sobre gestão das florestas, da fauna e da pesca.
Guiné-Equatorial	Nº 1 de 18 de fevereiro de 1997	Lei sobre uso e manejo de florestas

Fonte: FAOLEX, 2024.

Regimes florestais nos países africanos centrais são historicamente derivados de períodos colonial. Nas décadas de 1990 e 2000, todos países da região adotaram códigos florestais definindo as bases do manejo florestal. Destaca-se que todos os países abordados (Tabela 2) possuem suas leis florestais definidas há mais de uma década, para a República do Congo, que apresenta uma lei de 2020, trata-se de uma nova legislação, originalmente promulgada nos anos 2000. O Estado exerce uma soberania permanente sobre as florestas africanas, fazendo parte do domínio público e representam pelo menos 15% da superfície total do território nacional. As outras florestas são protegidas ou fazem parte do domínio privado (Timberlex, 2024; g Faolex, 2024).

Ao longo da última década, as empresas madeireiras dos países citados intensificaram seus esforços na busca por práticas florestais mais sustentáveis, devido à importância ambiental, as necessidades das comunidades tradicionais e pela adequação as leis em vigência (Safari, 2024). Através do desenvolvimento de planos de manejo, aproximadamente 30 milhões de ha de florestas tropicais densas foram colocados sob gestão ou estão em processo de desenvolvimento de um plano de exploração (Nasi, 2006; Majambu, 2021).

Segundo Hounghbedji (2023), antes da década de 2000, a produção de madeira pelas empresas florestais era feita com base na chamada exploração mineira, com licenças de exploração que especificavam os volumes de madeira a retirarem. A partir das mobilizações internacionais para preservação da biodiversidade e respeito as comunidades locais, os Estados foram reformando a atividade madeireira nos países com a adoção de leis, códigos e normas que incorporaram as concessões florestais (Hansen, 2018, p. 77; Guérin-turcq, 2023).

As áreas concedidas a exploração madeireira são feitas por períodos de 15 a 30 anos, exceto na República Centro-Africana, onde as licenças de exploração podem se estender por até 100 anos (Tritsch *et al.*, 2020). Estimam-se que aproximadamente 28% da superfície florestal tropical total do continente foram atribuídos a concessões florestais para a produção de madeira (Cerutti e Nasi, 2021). Referente a comercialização e destinação dos produtos florestais, Bayol (2010, p. 44) destaca que a produção é majoritariamente exportada, sendo os principais compradores a União Europeia e a Ásia. O autor ainda informa que o setor florestal é dominado por uma única empresa de origem francesa com atividade na África desde meados de 1950.

O Código Florestal da República Democrática do Congo definiu o regime aplicável à conservação, à exploração e a valorização dos recursos florestais no território nacional. Ele está composto por 156 artigos distribuídos em 10 títulos, a saber: Disposições Gerais; Estatuto das

Florestas; Orientações de Uso; Proteção; Inventário, Desenvolvimento e Reconstrução da Flora; Concessão Florestal; Exploração Florestal; Fiscalidade Florestal; Disposições Penais e Disposições de Transitórias e Finais (g Faolex, 2024).

As concessões são divididas conforme sua finalidade. Existem as Concessões Florestais Industriais para a produção madeireira; as Concessões Florestais para Comunidades Locais e as Unidades Florestais Artesanais. Destaca-se que as concessões também são feitas através de processos de licitação, assim como no Brasil, no entanto, os contratos assinados não podem ser superiores a 25 anos, porém com a possibilidade de renovação (g Faolex, 2024).

No Congo, o Código Florestal aprova simultaneamente três tipos de regimes econômicos de exploração e cinco tipos de licenças de exploração. Os regimes econômicos de exploração florestal são: o regime de concessão, o regime de compartilhamento da produção e o regime de imposição direta. O regime de concessão repousa sobre o pagamento de uma taxa anual, enquanto o regime de partilha da produção divide a produção total entre o titular do título de exploração e o modelo de imposição direta impõe o pagamento pontual de impostos e direitos especificamente vinculados a uma autorização de uso (g Faolex, 2024).

Em Camarões, as concessões e sua gestão são de responsabilidade do Ministro responsável pelas Florestas. Como os outros países tratados nesta tese para o continente africano, seguem um planejamento prévio de exploração onde são considerados o desenvolvimento sustentável do patrimônio florestal, no entanto, no período de 15 anos. A Lei estipula que as florestas comunitárias têm um plano de gestão simples aprovado pela administração florestal, simplificação também seguida na República Democrática do Congo (h Faolex, 2024).

Wingate *et al.* (2022, p. 6251) ao analisar os fragmentos/manchas florestais em Camarões, ressaltam que crescente competição por terras, a baixa produtividade agrícola, o acesso limitado ao conhecimento e à tecnologia são os causadores do desmatamento das florestas na região. Os autores afirmam que pequenos agricultores abrem áreas para a agricultura num padrão de cultivo itinerante e que as florestas tropicais da área de estudo devem declinar ainda mais, com um aumento simultâneo da fragmentação florestal e o efeito de borda que o acompanha. Concluindo que o gerenciamento de forma sustentável para o benefício da população e as gerações futuras é imperativo.

Karsenty (2021, p. 280) identifica “complexos rurais” (mosaico de pousios florestais, hortas caseiras, culturas alimentares e plantações em aldeias) e a expansão das atividades de subsistência (agricultura de corte, queima e recolha de lenha) como a principal causa direta da perda e da destruição florestal. O mesmo autor aborda que as concessões florestais não causam

impactos diretos as florestas da África, devido à colheita extremamente seletiva associada aos elevados custos de transporte, retirando de uma a três árvores por ha. Por outro lado, a abertura de estradas e pátios florestais, bem como pelo impacto das concentrações populacionais associadas à indústria madeireira, ocasionam em impactos “indiretos” as florestas.

Por outro lado, Karsenty (2023, p. 32) afirma que as concessionárias europeias, outrora essenciais na exploração e na indústria madeireira africana, estão gradualmente a ceder os seus ativos a investidores asiáticos. Se os operadores malaios estão presentes na África Central desde meados da década de 1990, as empresas chinesas entraram no setor desde a década de 2000. Estes operadores possuem um capital significativo e os mercados em que operam aceitam qualidades que o são por vezes inferiores aos solicitados pelos compradores europeus. Isto permite-lhes explorar uma gama mais ampla de espécies tendo influência no desgaste florestal.

A iniciativa World Rainforest Movement (2001), justifica que as leis e os regulamentos formulados e impostos às grandes empresas florestais são falhas, apontando que embora os governos promovam ativamente o investimento privado nas florestas naturais, pouco fizeram para estabelecer um quadro de controle desses interesses privados. Os regulamentos que estabelecem um mínimo padrão operacional, muitas vezes não são claros e raramente são aplicados, promovendo e prevendo a geração de lucros, enquanto a população local não tem oportunidade de participar significativamente na decisão sobre a melhor forma de usar recursos florestais.

Para Bayol (2010, p. 45), Tritsch *et al.* (2020), Nghonda, (2023, p.687) e Davis *et al.* (2020, p. 485), o estabelecimento gradual da gestão florestas de produção sustentável tem sido uma das grandes mudanças no setor florestal nos últimos quinze anos, substituindo pouco a pouco uma operação de registro do tipo “mineração”. Porém, os gerenciadorees estão mal equipados para cumprirem seu papel legalmente. Os maciços florestais são vastos e muitas vezes difíceis acesso e as administrações estão mal equipadas.

Ao final, o setor madeireiro e da indústria madeireira na África passou por profundas mudanças nas últimas duas décadas, estando no centro das preocupações padrões internacionais relativos à gestão sustentável e luta contra as alterações climáticas, devendo também se adaptar à evolução do mercado e à crescente demanda por uma melhor gestão levando em conta aspectos sociais e ambientais no manejo florestal (Bayol *et al.* 2010, p.57).

3.2.4. CONTINENTE ASIÁTICO

Em geral, as áreas florestais são categorizadas em três funções distintas: floresta de produção, floresta de proteção e floresta de conservação.

Tabela 3: Principais leis florestais aplicadas aos países com maiores quantitativos de florestas tropicais do Sudeste Asiático.

PAÍS	LEI	RESUMO
Indonésia	Nº 41 de 30 de setembro de 1999	Lei Florestal - Dispõe sobre a gestão da floresta para conservação, proteção e produção.
Malásia	Nº 313 de 1993	Lei Florestal Nacional - Dispõe sobre a administração, gestão e conservação de florestas e desenvolvimento florestal dentro dos Estados da Malásia e para fins relacionados.
Tailândia	BE 2484 de 1941/	Lei Florestal - Prevê o controle e a gestão das florestas estaduais, regulamentando a extração e

Fonte: FAOLEX, 2024.

Para Indonésia, a Lei nº 41 de 1999 prevê o gerenciamento de florestas em termos de conservação, proteção e produção. O Ato é constituído de 18 Capítulos e 84 artigos, lidando com gerenciamento florestal, planejamento, pesquisa, desenvolvimento, educação, treinamento e execução dos benefícios ambientais e socioeconômicos derivados da administração adequada desses recursos naturais. A referida lei passou por alterações até 2019, estabelecendo o inventário florestal como base para alocação de áreas florestais e planejamento de manejo florestal. O inventário florestal é estabelecido em diferentes níveis de escala territorial: Nacional, Provincial, Bacias Hidrográficas e Unidades de Manejo Florestal (h Faolex, 2024).

O Artigo 29 prevê a licença comercial concedida para usar e dispor de florestas e seus produtos. O Artigo 50 trata da proteção da floresta por meio de restrições e proibições. O Artigo 67 reconhece os direitos das Comunidades tradicionais de obter sustento para suas necessidades diárias pela floresta. Relacionado as concessões, os concessionários são obrigados a realizar atividades de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas após a exploração, e cada titular de licença comercial e titular de direitos de gestão é obrigado a desenvolver planos de gestão florestal para licença de utilização de madeira que inclui um Plano de gestão florestal de

longo prazo (10 anos) e um plano de gestão de curto prazo (1 ano) (h Faolex, 2024).

Entre os anos de 2011 e 2013 houve a suspensão para plantações de palma de óleo, celulose e papel em algumas áreas florestais primárias e de turfa. Durante esse período houve a implementação do Plano de Ação Nacional de Combate à Exploração Ilegal de Madeira que tinha por objetivo o combate à exploração ilegal de madeira por meio do fortalecimento da fiscalização, da melhoria da rastreabilidade da cadeia de suprimentos e da cooperação internacional.

Segundo Tacconi (2019) de 1966 até o final da década de 1980, a Indonésia foi o maior exportador mundial de toras brutas e o maior produtor mundial de compensado. A madeira foi o segundo maior contribuinte para a economia indonésia, depois do petróleo e do gás, durante os anos imediatamente seguintes à diminuição do preço do petróleo em 1982. No entanto, foi somente na década de 1980 que os pesquisadores começaram a perceber o desmatamento na região.

Instituições financeiras internacionais equiparam as serrarias e fábricas de papel indonésias com tecnologias de ponta, exacerbando a demanda insaciável por madeira. Espécies valiosas como teca e mogno, antes abundantes, tornaram-se raras (Samejima, 2020, p. 530). A província de Riau, em Sumatra, atualmente registra a maior taxa anual de destruição florestal devido a incêndios deliberadamente provocados para dar lugar a plantações de dendê. Muitas empresas produtoras de óleo de dendê também estão envolvidas na exploração madeireira e na produção de celulose, intensificando a devastação das florestas originais (Piabuo *et al.* 2021, p. 14176).

Como resultado dessas altas taxas de desmatamento, a Indonésia figura entre os maiores emissores de CO₂ do mundo, após China e Estados Unidos, cujas emissões são majoritariamente industriais, e o Brasil, devido ao desmatamento na Amazônia. No entanto, mesmo essas florestas estão rapidamente desaparecendo, o que é preocupante pois coloca em risco a sobrevivência de sete das quinze espécies de mamíferos não-humanos que ali habitam. Com a Índia projetada para se tornar o país mais populoso do mundo até 2050, a pressão sobre os recursos florestais tende a aumentar (Coggins *et al.* 2022, p. 120).

Nos anos 70, houve uma expansão desenfreada da indústria madeireira em diversos países, resultando em uma intensificação massiva do desmatamento, frequentemente à margem da lei e com o respaldo da corrupção generalizada. No início dos anos 90, a taxa de desmatamento da floresta tropical atingiu 1,7 milhões de ha por ano, aumentando ainda mais no final da década. A Indonésia, detentora de 95 milhões de ha de floresta tropical, enfrenta previsões alarmantes de perda total das áreas florestais mais acessíveis dentro de uma década.

O abate ilegal de árvores é endêmico, representando entre 70% e 90% de toda a madeira extraída, facilitado pela falta de controles internos por parte do governo (Yong e Peh, 2014, p. 2009; Samejima, 2020).

A área florestal da Malásia é estimada em 22 milhões de hectares, compreendendo mais de dois terços da área total do país. Baseado na constituição da Malásia, as terras florestais são colocadas sob a jurisdição dos respectivos governos estaduais (Yong e Peh; 2016, p. 210). A utilização de madeira de florestas protegidas e de conservação é estritamente proibida. Além do gerenciamento florestal por setores privados e empresas estatais, o governo também fornece acesso para o gerenciamento florestal às comunidades locais que vivem nas proximidades ou nas áreas florestais. Cada titular de licença comercial e titular de direitos de gestão é obrigado a desenvolver Planos de gestão florestal para licença de utilização de madeira em florestas naturais e florestas de plantação, e para licença de serviço ecossistêmico. O Plano de Gestão Florestal inclui um Plano de gestão florestal de longo prazo (10 anos) e um plano de gestão de curto prazo (1 ano) e contratos de concessão de no máximo 35 (trinta e cinco) anos e podendo ser estendido. (h Faolex, 2024).

34

Consoante a Nitanan *et al.* (2020, p. 485), a Malásia contava com 5,9 milhões de hectares de plantações de óleo de palma (*Elaeis guineensis*), e, embora o desmatamento tenha diminuído desde 1992, o preço recorde do óleo de palma em 2022 e o crescimento populacional de 75% no mesmo período indicam que o desmatamento pode ser retomado sob pressão econômica e demográfica. Os fatores subjacentes responsáveis pelo desmatamento na Malásia foram apropriadamente descritos como pobreza, instituições e políticas públicas fracas. Além disso, o cultivo itinerante, praticado tradicionalmente pelos nativos com base em direitos à terra, também foi identificado como um fator relevante do desmatamento em Bornéu, embora seu impacto tenha diminuído ao longo do tempo.

Os principais compradores de madeira de floresta tropical do sudeste asiático estão localizados relativamente próximos e se caracterizam por uma alta demanda por produtos de madeira, seja para consumo interno ou para a produção de bens manufaturados. Esses países têm indústrias de processamento de madeira e móveis, bem como mercados de construção robustos. Além disso, a globalização do comércio tornou os produtos de madeira uma mercadoria internacionalmente negociada. Alguns dos principais compradores de madeira de floresta tropical incluem: China, Estados Unidos, União Europeia, Japão, Índia, Coreia do Sul, Austrália e Arábia Saudita (Barbier, 2023, p. 250).

Há trinta anos, a maioria dos governos relutavam em reconhecer a questão politicamente sensível da exploração madeireira ilegal, apesar da crescente atenção dos meios

de comunicação social e das organizações não-governamentais (ONGs). Ao longo da década de 1990, a consciência da dimensão do problema cresceu, em parte devido aos esforços dos ativistas indígenas e ambientais, bem como à crescente apreciação da escala das perdas de receitas para as nações pobres.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As leis florestais surgiram em resposta à crescente pressão sobre os recursos naturais e à necessidade de assegurar a sustentabilidade ambiental. Os continentes e seus países considerados neste estudo possuem leis que regem a gestão e uso de suas florestas. As concessões florestais seguem semelhantes em sua aplicabilidade, sendo atividades comuns a elaboração de um plano de manejo, o firmamento de contrato com validade de até 35 anos. Bem como, a estreita relação entre as empresas concessionárias e comunidades locais, que precisam manter uma relação de coexistência, incentivando as atividades extrativistas.

No continente africano e sudeste asiático os contratos podem ser estendidos e renovados sem a necessidade de uma nova formulação, ao contrário do modelo praticado no Brasil. Além disso, foram identificadas as concessões de curto prazo, com contratos curtos de 1 a 5 anos destinados a exploração das comunidades locais.

Os gargalos enfrentados são semelhantes e foram identificados como resultado das práticas agrícolas desenfreadas, desmatamento para extração de madeiras nobres, ineficácia e dificuldade na fiscalização das atividades, e, mesmo que estejam contempladas nas concessões, a falta de participação das comunidades locais é citada.

Como caminho que pode ser percorrido, há o estímulo as transições para paisagens madeireiras bem manejadas que sustentem a produção de espécies comercialmente importantes de maneiras social e ambientalmente aceitáveis, que requerem instituições que gerem o financiamento e possibilitem políticas necessárias para intervenções pós-exploração, influenciando nas normas de negócios, construindo capacidade e otimizando as práticas existentes.

Todo esse conjunto de fatores encontrados nos meios de informação analisados no nosso estudo apontam para que a demanda global por madeira possa vir a ser suprida pelas madeiras tropicais da América do Sul. O Brasil como principal detentor dos estoques de madeira tropical acabará forçado a ser também o principal player do mercado mundial a ofertar madeira. Como a maioria da madeira brasileira está em áreas públicas, o mecanismo para regular a saída dessa madeira para o mercado interno e externo deverá ser a concessão florestal. Na escala em que é praticada hoje resta a pergunta: O Brasil está preparado para esse papel de principal

player?

Do ponto de vista de leis e decretos, podemos inferir que sim, o Brasil está preparado, pois possui um ordenamento jurídico robusto, quando se trata das concessões. No início de sua implementação, o processo era burocrático, inflexível e com uma “visão” bem dura quanto a conservação da floresta. Com o passar dos anos e mediante ao diálogo com quem maneja floresta, os processos foram sendo aperfeiçoados, ainda longe de ser o modelo perfeito, mas é nítido que o órgão gestor tenta implementar as concessões.

Entretanto, sob uma perspectiva prática, é imprescindível que haja uma ampliação e uma atuação mais robusta do Serviço Florestal Brasileiro. O suporte do Estado e a valorização do órgão gestor são importantes para que as leis e as políticas públicas sejam implementadas, pois trata-se de um país com extensões continentais e seu tamanho requer maior esforço e celeridade em suas atividades, seja na análise dos estudos técnicos, do edital, das propostas, da execução e no monitoramento das atividades.

O investimento e o incentivo constantes na inovação tecnológica através de pesquisas científicas favorecem a indústria madeireira e a geração de informações preciosas. Por fim, estudos sobre a diversidade de espécies florestais podem resultar na apresentação de novas espécies com potencial madeireiro, diminuindo assim, a pressão sobre determinadas espécies que são extensamente demandadas pelo mercado consumidor.

Uma abordagem integrada entre investimento em tecnologias de monitoramento e múltiplos *stakeholders* incluindo governos, setor privado e comunidades locais fortaleceriam a fiscalização e o controle do desmatamento. Aliado a isso, campanhas de conscientização e educação ambiental serão sempre necessárias para sensibilizar e informar a população sobre a importância da preservação das florestas e do consumo responsável da madeira. Produto este que nunca deixará de ser demandado e ofertado no mundo.

REFERÊNCIAS

ADEODATO, S., VILELA, M., BETIOL, S., MONZONI, M. Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo. São Paulo. FGV/RAE, 2011.

AMERAY, A., BERGERON, Y., VALERIA, O., MONTORO GIRONA, M.; CAVARD, X. Forest carbon management: A review of silvicultural practices and management strategies across boreal, temperate and tropical forests. *Current Forestry Reports*, 1-22. 2021.

ANGELSTAM, P.; ELBAKIDZE, M.; AXELSSON, R.; KHOROSHEV, A.; PEDROLI, B.; TYSIACHINIOUK, M.; ZABUBENIN, E. Florestas-modelo na Rússia como abordagem de paisagem: projetos de demonstração ou iniciativas de aprendizado para o manejo florestal sustentável? *Forest Policy and Economics*. v. 101. p. 96-110. 2019.

ARMENTERAS, D., GONZÁLEZ-DELGADO, T. M., GONZÁLEZ-TRUJILLO, J. D., & MEZA-ELIZALDE, M. C. Local stakeholder perceptions of forest degradation: Keys to sustainable tropical forest management. *Ambio*, v. 52 n. 4. p. 733-742. 2023.

a GLOBAL FOREST REVIEW. Indicador de Extensão Florestal. World Resources Institute. 2022. Disponível em: <https://research.wri.org/gfr/global-forest-review>. Acesso em: março de 2023.

b GLOBAL FOREST REVIEW. World Resources Institute. Indicador de Degradação Florestal. 2022. Disponível em: <https://research.wri.org/gfr/forest-condition-indicators/forest-degradation>. Acesso em: março de 2023.

BAYAS, J. C. L.; VEJA, L.; GEORGIEVA, I. SCHEPASCHENKO, D. DANYLO, O.; DURAUER, M.; BARTL, E.; HOFHANSL, F.; ZADOROZHNIUK, R.; BURIANCHUK, M.; SIRBU, F.; MAGORI, B. BLYSHCHYK, K.; BLYSHCHYK, W.; RABIA, A. H.; PAWE, C. K.; SU, Y.; AHMED, M.; PANGING, K.; MELNYK, O.; VASYLYSHYN, O.; VASYLYSHYN, R.; BILOUS, A. BILOUS, S. FRITZ, S. Causadores da perda de florestas tropicais entre 2008 e 2019. *Scientific Data*. n. 146. 2022.

BARBIER, E., BOCKSTAEL, N., BURGESS, J.; STRAND, I. O comércio de madeira e o desmatamento tropical na Indonésia. As causas do desmatamento tropical. Routledge. p. 242-270. 2023.

BAYOL, N.; DEMARQUEZ, B.; DE WASSEIGE, C.; EBA'A, R.; FISHER, J. F.; NASI, R. La gestion des forêts et la filière bois en Afrique Centrale. *Les forêts du bassin du Congo. État des forêts*, p. 43-62. 2010.

COGGINS, C., ÅRHEM, N., BOEDHIHARTONO, A. K, PHAN, H., LE, H., WARDANI, E. M. Sudeste Asiático — Florestas sagradas e relações homem-ambiente. Routledge. p. 242-270. 2022. KARSENTY, A. Géopolitique des forêts d'Afrique centrale. *Hérodote*, n. 1, p. 108-129, 2020.

CUNHA SOARES, C.; BEZERRA, M. D. G. F. A gestão da concessão florestal no estado do Pará. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*. v. 11 n. 1. 2022.

CURTIS, P. G.; SLAY, C. M.; HARRIS, N. L. TYUKAVINA, A. HANSEN, M. Classificando os impulsionadores da perda florestal global. *Science*. p. 1108- 1111. v. 361, n. 6407. 2018.

CLARKE, H. R.; REED, W. J.; SHRESTHA, R. M. Optimal enforcement of property rights on developing country forests subject to illegal logging. *Resource and Energy Economics*, v. 15, n. 3, p. 271-293, 1993.

CERRUTI, P. O; NASI, R. Manejo florestal sustentável (SFM) de florestas tropicais úmidas: a Bacia do Congo Blaser, J., Hardcastle, P. (Eds.) Alcançando o manejo sustentável de florestas tropicais, Burleigh Dodds Science Publishing , Cambridge. 2021.

DALAGNOL, R., WAGNER, F. H., GALVÃO, L. S., BRAGA, D., OSBORN, F., DA CONCEIÇÃO BISPO, P.; SAATCHI, S. Mapping tropical forest degradation with deep learning and Planet NICFI data. *Remote Sensing of Environment*, 298, 113798. 2023.

DIRZO, R. Tropical forests. In *Global biodiversity in a changing environment: scenarios for the 21st Century*. New York, NY: Springer New York. p. 251-276. 2001.

DAVIS, K. F.; KOO, H. I.; DELL'ANGELO, J.; D'ODORICO, P.; ESTES, L.; KEHOE, L. J.; TATLHEGO, M. Perda de floresta tropical aumentada por aquisições de terras em larga escala. *Nature Geoscience*, v. 13 n.7, p. 482-488. 2020.

DOUROJEANNI M. ¿Es posible detener la deforestación en la Amazonia Peruana?». En A. Castro y M. I. Merino-Gómez (Eds.) *Desafíos y perspectivas de la situación ambiental en el Perú*. En el marco de la conmemoración de los 200 años de vida republicana. Lima: INTE-PUCP, p. 247-285. 2022.

FEELEY, K. J.; REHM, E. M.; MACHOVINA, B. (2012). Perspective: the responses of tropical forest species to global climate change: acclimate, adapt, migrate, or go extinct? *Frontiers of biogeography*, v. 4 n. 2. 2012.

FAO. Distribuição de florestas por zonas climáticas. 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb9360es/online/src/html/deforestation-land-degradation.html>. Acesso em: fevereiro de 2023.

a FAOLEX. BRASIL. Lei N° 12.651, de 12 de maio de 2012. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/bra113357.pdf>. Acesso em: abril de 2024.

b FAOLEX. BOLÍVIA. Lei N° 1.700 de julho de 1996. Lei Florestal. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/bol6960.pdf>. Acesso em: abril de 2024.

c FAOLEX. COLÔMBIA. Sobre Economía Forestal de la Nación y Conservación de Recursos Naturales Renovables. 1959. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col24341.pdf>. Acesso em: janeiro de 2024.

d FAOLEX. MÉXICO. Lei Geral de Desenvolvimento Florestal Sustentável. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/mex177385.pdf>. Acesso em: janeiro de 2024.

e FAOLEX. VENEZUELA. Lei florestal, de solos e de águas. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ven3045.pdf>. Acesso em: janeiro de 2024.

f FAOLEX. REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DO CONGO. Lei N°011/2002 - Código Florestal. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/cng34383.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

g FAOLEX. REPÚBLICA DO CONGO. Lei Florestal N° 33/2020 - Código Florestal. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/con197361.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

h FAOLEX. INDONÉSIA. Lei Florestal N° 41/1999. Disponível em:

<https://faolex.fao.org/docs/pdf/ins36649.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

i FAOLEX. GABÃO. Lei Código Florestal Nº 16/01. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/gab29255.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

j FAOLEX. CAMARÕES. Lei Código Florestal Nº 94/01. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/cmr4845.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

k FAOLEX. GUINÉ-EQUATORIAL. Lei Florestal Nº 01/97. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/eqg17394.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

l FAOLEX. PERU. Ley Nº 27.302 de julio de 2000. Ley Florestal y de Fauna Silvestre. 2000. Disponível em: <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/27308.pdf>. Acesso em: abril de 2024.

m FAOLEX. MALÁSIA. Nº 313 de 1993. Disponível em: <https://www.fao.org/faolex/country-profiles/general-profile/en/?iso3=MYS>. Acesso em: abril de 2024.

n FAOLEX. TAILÂNDIA. BE 2484 de 1941/nº 8 be 2562 de 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC070605>. Acesso em: abril de 2024.

GUÉRIN-TURCQ, A. Florestas no mundo, ambientes antropizados: um inventário. Geoconfluências. P.15. 2023.

GLOBAL FOREST WATCH. World Resources Institute. Mudança Florestal Disponível em: <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/global/?category=forest-change&location>. Acesso em: março de 2023.

GAO, Y.; SKUTSCH, M.; PANEQUE-GÁLVEZ, J.; GHILARDI, A. Sensoriamento remoto da degradação florestal: Uma revisão. Environmental Research. n. 15. v. 10. 2020.

HADDAD, E. A.; ARAÚJO, I.F.; FELTRAN-BARBIERI, I. F.; ARAÚJO, F. S.; PEROBELLI, A. R.; SASS, K. S.; C. A. NOBRE. Economic drivers of deforestation in the Brazilian Legal Amazon. Nature Sustainable. 2024.

HANSEN, C. P.; RUTT, R.; ACHEAMPONG, E. 'Experimental' ou negócios como de costume? Implementação do acordo de parceria voluntária de aplicação da lei florestal, governança e comércio da União Européia (FLEGT) em Gana. Política e Economia Florestal. v. 96, p. 75-82, 2018.

HOUNGBEDJI, K., MERTENS, B. ZANUSO, C. Planos de gestão florestal e condições de vida das populações florestais na África Central: uma revisão da literatura. Artigos de pesquisa. V. 1 n. 21. 2023.

IMAI, N., FURUKAWA, T., TSUJINO, R., KITAMURA, S., & YUMOTO, T. Factors affecting forest area change in Southeast Asia during 1980-2010. PLoS One, N.13 V. 5. 2018.

IMAZON. Sistema de Alerta de Desmatamento – julho de 2022. Disponível em:

<https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2022/08/SAD-Julho-2022.pdf>. Acesso em: 09 de setembro de 2022.

YANUARIADI, T.; CLAUDON, J. C. Revisão das tendências comerciais atuais de madeira tropical e produtos de madeira. TEAKNET. 232.2022

YONG, D. L., PEH, K. S. H. South-east Asia's forest fires: blazing the policy trail. *Oryx*. v. 50 n. 2, p. 207-212. 2016.

KARSENTY, A.; SALAU, S. Fiscal incentives for improved forest management and deforestation-free agricultural commodities in Central and West Africa. *International Forestry Review*, v. 25, n. 1, p. 27-38, 2023.

KARSENTY, A. Political economy of forest protection. In: *The Routledge Handbook of the Political Economy of the Environment*. Routledge. p. 275-299. 2021.

LEE, E. F.; KUULUVAINEN, T. Boreal and taiga biome. *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation - Elsevier*. p. 103-115. 2020.

LIU, Z.; WANG, J. W.; BALLANTYNE, A.; ELE, S. H.; WANG, X.; LIU, S.; CIAIS, P.; WIMBERLY, M. C.; PIAO, S.; YU, K.; YAO, Q.; LIANG, Y.; WU, Z.; FANG, Y.; CHEN, A.; XU, J. ZHU, J. A perturbação florestal diminuiu na China de 1986 a 2020, apesar das variações regionais. *Communications Earth Environment*. n. 15. 2023.

LIMA, F. B. D., SOUZA, Á. N. D., MATRICARDI, E. A. T., COELHO JÚNIOR, L. M., LIMA, I. B. D., MOSMANN, A. J., GOMES, C. J. O. Determinants of Financial Viability of Forest Concession in Brazilian Amazon. *Forests*, v. 15 n. 10, 1808. 2024.

LIMA, R. Y. M; AZEVEDO-RAMOS, C. Conformidade do sistema brasileiro de concessões florestais com as diretrizes internacionais para florestas tropicais. *Forest Policy and Economics*. N. 119, P.102285. 2020.

MYERS, R.; RUTT, R.; MCDERMOTT, C.; MARYUDI, A.; ACHEAMPONG, E.; CAMARGO, M.; CÂM, H. Imposing legality: Hegemony and resistance under the EU forest law enforcement, governance, and trade (FLEGT) initiative. *Journal of Political Ecology*, v. 27 n. 1, p. 125–146. 2020.

MAJAMBU, E.; DEMAZE, M. T.; ONGOLO, S. The politics of forest governance failure in the Democratic Republic of Congo (DRC): lessons from 35 years of political rivalries. *International Forestry Review*, v. 23, n. 3, p. 321-337, 2021.

MOSCHELLA, P. Perda de florestas amazônicas devido à expansão urbana no Peru. *Revista Kawsaypacha: Sociedade e Meio Ambiente*. N. 12. 2023.

MACDICKEN, KG, SOLA, P., HALL, JE, SABOGAL, C., TADOUM, M.; WASSEIGE, C. Progresso global em direção ao manejo florestal sustentável. *Ecologia e Manejo Florestal*. N. 352, P. 47-56. 2015.

NITANAN, KM, SHUIB, A., SRIDAR, R., KUNJURAMAN, V., ZAITON, S., HERMAN, MA. O valor econômico total dos serviços ecossistêmicos florestais nas florestas tropicais da Malásia. *International Forestry Review*. N. 22 v.4, p. 485-503. 2020.

NASI, R.; CASSAGNE, B.; BILLAND, A. Forest management in Central Africa: where are we? *International Forestry Review*, v. 8, n. 1, p. 14-20, 2006.

NGHONDA, P. N. D. D., MUTEYA, H. K, KASHIKI, B. K. W. N, SAMBIÉNI, K. R, MALAISSE, F., SIKUZANI, Y. U, BOGAERT, J. Rumo a uma abordagem inclusiva à gestão florestal: destaque da percepção e participação das comunidades locais na gestão das florestas de miombo em torno de Lubumbashi (Haut-Katanga, RD do Congo). *Florestas*, N.14 v.4, 687. 2023.

OMAM, M. M. C, YASUOKA, H. Participação da população local na gestão florestal na Bacia do Congo: uma revisão e avaliação. *Monografias de estudo africanas. Edição suplementar*. V. 62, p. 5-41. 2023.

PIABUO, S. M.; MINANG, P. A.; TIEGUHONG, C. J.; FOUNDJEM-TITA, D.; NGHOBUCHE, F. Extração ilegal de madeira, eficácia da governança e emissão de dióxido de carbono nos países produtores de madeira da Bacia do Congo e da Ásia. *Environment, Development and Sustainability*. v. 23, p. 14176-14196, 2021.

PETRAUSKI, S. M. F. C., MARQUES, G. M., SILVA, M. L., CORDEIRO, S. A., SOARES, N. S. Competitividade do Brasil no mercado internacional de madeira. *CERNE*, v. 18 n. 1, p. 99-104. 2012.

PENDRILL, F.; PERSSON, M. U.; GODAR, J.; KASTNER, F. Desmatamento deslocado: comércio de commodities com risco florestal e perspectivas para uma transição florestal global. *IOP Science*. v. 14. n. 5. 2019.

PINGAULT, N.; ROSHETKO, J. M; MEYBECK, A., *Perspectivas do Setor Florestal da Ásia-Pacífico: Silvicultura inovadora para um futuro sustentável*. FAO - CGIAR Programa de Pesquisa em Florestas, Árvores e Agroflorestas. 2021.

RINCÓN, M. *Amazônia colombiana: conservação ou desenvolvimento? Considerações sócio-jurídicas*. *Novos Paradigmas das Ciências Sociais Latino-Americanas*. 2013.

ROWLEY, J.; SLACK, F. Conducting a literature review. *Management research news*, v. 27, n. 6, p. 31-39, 2004.

SABOGAL, C. *Informe Regional Sobre La Situación De Los Bosques En La Región Amazónica*. OTCA. P. 96. 2018.

SAFÁRI, D. Controle estatal da floresta e desqualificação das comunidades locais. *Vamos Conversar sobre Terra e Biodiversidade*. v. 2 n. 01. 2024.

- SAFFORD, H. D.; VALLEJO, V. R. Chapter 12 - Ecosystem management and ecological restoration in the Anthropocene: integrating global change, soils, and disturbance in boreal and Mediterranean forests. *Developments in Soil Science - Elsevier*. v. 36, p. 259-308. 2019.
- SAMEJIMA, H. Comércio de madeira tropical do Sudeste Asiático para o Japão. *Florestas Tropicais Antropogênicas: Interfaces Humano-Natureza na Fronteira de Plantações*. 2020.
- SIST, P., PIPONIOT, C., KANASHIRO, M., PENA-CLAROS, M., PUTZ, FE, SCHULZE, M., VIDAL, E. Sustentabilidade das concessões florestais brasileiras. *Ecologia e Manejo Florestal*. v. 496. 2021.
- SILVA, R. F. B.; CASTRO VICTORIA, D.; NOSSACK, F. A.; VIÑA, A.; MILLINGTON, J. D.; VIEIRA, S. A.; LIU, J. A desaceleração do desmatamento após uma política florestal brasileira foi menos eficaz em terras privadas do que em todas as áreas de conservação. *Communications Earth & Environment*. v. 4 n. 1, P. 111. 2023.
- TACCONI, L.; RODRIGUES, R. J.; MARYUDI, A. Law enforcement and deforestation: Lessons for Indonesia from Brazil. *Forest policy and economics*. v. 108, p. 101943. 2019.
- TEGEGNE, Y. T., CRAMM, M., VAN BRUSSELEN, J., LINHARES JUVENAL, T. Forest concessions and the United Nations sustainable development goals: Potentials, challenges and ways forward. *Forests*, v. 10, n. 1, p. 1–21, 2019
- TEGEGNE, Y. T., VAN BRUSSELEN, J., CRAMM, M., LINHARES-JUVENAL, T., PACHECO, P., SABOGAL, C.; TUOMASJUKKA, D. Making Forest concessions in the tropics work to achieve the 2030 Agenda: Voluntary Guidelines. 2018.
- TIMBERLEX. Perfil dos países. Disponível em: <https://timberlex.apps.fao.org/>. Acesso em janeiro a setembro de 2024.
- TRITSCH, I.; LE VELLY, G.; MERTENS, B.; MEYFROIDT, P.; SANNIER, C.; MAKAK, J. S.; HOUNGBEDJI, K. Os planos de manejo florestal e a certificação FSC ajudam a evitar o desmatamento na Bacia do Congo? *Ecological Economics*. n. 175. 2020.
- TYUKAVINA, A., POTAPOV, P., HANSEN, M. C., PICKENS, A. H., STEHMAN, S. V., TURUBANOVA, S., HARRIS, N. Global Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing*, n. 3. 2022.
- WRI. Sold Down the River - The Need to Control Transnational Forestry Corporations: A European Case Study *Forests Monitor*. 2001.
- WINKLER, K.; FUCHS, R.; ROUNSEVELL, M.; HEROLD, M. As mudanças globais no uso da terra são quatro vezes maiores do que o estimado anteriormente. *Nature Communications*. n. 2501. 2021.
- WEI, X.; GILES-HANSEN, K.; SPENCER, S. A.; GE, X.; ONUCHIC, A.; QIANG LI, T.; BURENINA, ILINTSEV, A.; HOU, Y. Exploração florestal e hidrologia nas florestas boreais: num contexto de perturbação crescente e cumulativa. *Forest Ecology and Management*. v. 522. p.120468. 2022.

WINGATE, V. R.; AKINYEMI, F. O.; IHEATURU, C. J.; IFEJIKA SPERANZA, C. Um inventário baseado em sensoriamento remoto de manchas de floresta tropical da África Ocidental: Uma base para melhorar sua conservação e uso sustentável. *Remote Sensing*. v.14 n. 24, p. 6251. 2022.

XAVIER, J. A., MUNIZ, B. R. B., KANIESKI, M. R., CAMPOS, C. G. C.; HENKES, J. A. Impactos das Mudanças Climáticas nas Florestas Tropicais. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 11 n. 2, p. 65-82. 2022.

YONZ, J. A. V.; QUISPE, W. S. A. Desmatamento e perda florestal na província de Condorcanqui, Amazonas, Peru, durante o período 2001-2021. *Engenharia Investiga*. v. 5, 2023.

ZANIN, P. R.; MARINHO, R. R.; NEVES, J. R. D.; NOGUEIRA, A. R. Periodização do desmatamento na Amazônia legal: da metade do século XX ao começo do século XXI. *Revista Geonorte*, v. 13 n. 42. 2022.

Alternative Tree Species for Sustainable Forest Management in the Brazilian Amazon

Fernanda Borges de Lima ¹, Álvaro Nogueira de Souza ¹ , Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi ¹ , Ricardo de Oliveira Gaspar ¹, Ingrid Borges de Lima ¹ , Hallefy Junio de Souza ¹, Mario Lima dos Santos ¹ , Eder Pereira Miguel ¹, Luís Antônio Coimbra Borges ² , Cassio Rafael Costa dos Santos ³, Fernando Nunes Gouveia ⁴  and Maria de Fátima de Brito Lima ^{4,*} 

¹ Forestry Department, College of Technology, University of Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Brasília 70910-900, DF, Brazil; fernanda.lima08@hotmail.com (F.B.d.L.); ansouza@unb.br (Á.N.d.S.); ematricardi@unb.br (E.A.T.M.); ricogaspar@unb.br (R.d.O.G.); borgesdelimaingrid@gmail.com (I.B.d.L.); hallefyj.souza@gmail.com (H.J.d.S.); mariolimaeng@gmail.com (M.L.d.S.); edermiguel@unb.br (E.P.M.)

² Forestry Department, Federal University of Lavras, Avenida Doutor Sylvio Menicucci, Lavras 37200-000, MG, Brazil; luis.borges@ufla.br

³ Forestry Department, Federal Rural University of Amazon, Capitão Poço Campus, Profª. Antonia Cunha de Oliveira Street, Capitão Poço 68650-000, PA, Brazil; cassio.santos@ufra.edu.br

⁴ Forest Products Laboratory, Brazilian Forestry Service, Ministry of Environmental and Climate Change, Brasília 70818-900, DF, Brazil; fernando.gouveia@florestal.gov.br

* Correspondence: fatima.lima@florestal.gov.br; Tel.: +55-(61)-99953-7389

Abstract: The scarcity of hardwoods from tropical forests makes the search for alternative species necessary for commercialization. This study aimed to establish groups of timber species from the Amazon Forest with potential for logging purposes through the assessment of their physical-mechanical properties, aiming to identify alternative species that can meet the market demands. We utilized data from the Forest Products Laboratory (LPF) (containing information on basic density and other wood mechanical properties) and the Timberflow platform, as well. We applied a multivariate cluster analysis technique with the aim of grouping species based on the technological characteristics of their wood and evaluating similarity among them to obtain homogeneous groups in terms of economic potential and utilization. The results indicated four homogeneous groups: Cluster 1 (40.72% of species, basic density-db: 690 kg m⁻³), Cluster 2 (13.92%, db: 260 and 520 kg m⁻³), Cluster 3 (27.32%, db: 550 and 830 kg m⁻³), and Cluster 4 (18.04%, db: 830 kg m⁻³). Most of the 20 listed species are classified as more commercially viable (70%), with high wood density. Species identified as alternatives include *Dialium guianense* and *Zollernia paraensis* for *Dipteryx odorata*, *Terminalia argentea* for *Dinizia excelsa*, *Terminalia amazonia* and *Buchenavia grandis* for *Goupia glabra*, and *Protium altissimum* and *Maclura tinctoria* for *Hymenaea courbaril*. The analysis highlighted the overexploitation of a restricted group of species and the need to find alternatives to ensure the sustainability of forest management. This study contributed to identifying species that can serve as alternatives to commercial ones, promoting a more balanced and sustainable forest management.

Keywords: alternative species; wood density; forest management; selective logging; cluster analysis; physical-mechanical properties



Citation: Lima, F.B.d.; Souza, Á.N.d.; Matricardi, E.A.T.; Gaspar, R.d.O.; Lima, I.B.d.; Souza, H.J.d.; Santos, M.L.d.; Miguel, E.P.; Borges, L.A.C.; Santos, C.R.C.d.; et al. Alternative Tree Species for Sustainable Forest Management in the Brazilian Amazon. *Forests* **2024**, *15*, 1763. <https://doi.org/10.3390/f15101763>

Academic Editors: Luis Diaz-Balteiro, Panagiotis P. Koulelis, Zacharoula S. Andreopoulou and Dimitris Fotakis

Received: 22 July 2024

Revised: 26 August 2024

Accepted: 11 September 2024

Published: 8 October 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Natural forests provide multiple ecosystemic and socioeconomic services, as well as holding a significant portion of Earth's biodiversity [1–3]. Among the various services provided by this type of vegetation, timber production stands out, with tropical forests being an important source of timber supply for the world [4]. Brazil presents the largest area covered by tropical forests worldwide, particularly the Amazon Rainforest, which has been predominantly exploited through conventional logging practices characterized by minimal operational planning and low-impact mitigation [5,6].

In this context, the sort and intensity of polycyclic forest management are the main drivers of structural diversity and modulators of biodiversity in forest ecosystems [5,7]. Therefore, even reduced-impact logging can have effects, sometimes deleterious, on the abundance and composition of tree species [5]. Consequently, such practices impact the quantity and financially undermine the feasibility of timber extraction in future harvests [7,8].

Timber from tropical tree species is recognized for its distinctive physical and aesthetic characteristics, and is widely used in the manufacture of high-end furniture, flooring, cladding, decking, boats, musical instruments, and a wide range of handcrafted products [9]. Consumption and, consequently, the increase in demand for this type of forest resource is correlated with global economic growth, influenced by urbanization, increasing wealth, changes in design trends, and consumer preferences for wood-based products [10]. Such specific market preferences have driven the selective over-exploitation of a greatly restricted group of species in the Amazonian tropical forests [11,12].

Despite the economic advantages attributed to this very select group of timber species, their intense exploitation can lead to a lack of diversification in selective logging since the growth rate of these species does not keep pace with the market needs [13]. As a result, this lack of species diversification, together with their intense exploitation, can lead to a drop in the abundance and even the extinction of such species [14]. In addition, the low commercialization value resulting from the species composition and the small size of the trees harvested can make forest management financially unfeasible in later cycles [8].

Thus, the concentration of logging practices of certain groups of tropical species and the consequent overexploitation of these groups continues to be a worrying issue, as it weakens and negatively impacts logging in the Amazon [15]. An example of the effects of overexploitation, historically known, is the pau-brasil (*Paubrasilia echinata*), a species that was considered threatened with extinction in the 20th century [16]. This species is currently used to make jewelry, pens, and violin bows, and is considered an incorruptible wood as it does not rot and is resistant to insect attack [17].

In addition to pau-brasil, Brazilian mahogany (*Swietenia macrophylla*) is used in furniture manufacturing due to its ease of processing, dimensional stability, and durability [18]. Other species, such as Brazil nuts (*Bertholletia excelsa*) and rosewoods (*Dalbergia nigra* and *Aniba rosaeodora*), are highly valued in the market. However, due to their desirable characteristics and high international demand, these species have been severely exploited and are now considered endangered in Brazil [19]. Because of their overexploitation, all species of the genus *Handroantus*, *Tabebuia*, and *Dipteryx* will become part of the Appendix II of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) as of November 2024 [20].

Currently, even if a broad and stable forest base were established for the regional timber industry, it would have to evolve substantially in terms of using greater volumes of a wider range of commercial species, as well as investing in technology and the development of new products [21,22]. From this perspective, species composition is an important aspect of the viability of forest management, and expanding this composition is a necessary factor to ensure the long-term sustainability of the activity [23].

Therefore, the scarcity of hardwoods makes it necessary to search for alternatives, specifically the discovery of new individuals for exploitation with similar characteristics. This explains the variation in species exploited each year and underscores the importance of conducting research to uncover the potential, whether for timber or other purposes, of native species in the Amazon [8], considering that the Atlantic Forest biome has already experienced overexploitation of forest species. To promote this substitution, it is crucial to survey the forest structure and its behavior concerning diameter distribution. Studies on the technological characteristics of woods intended for commercialization from alternative species [24] are also essential to assess the feasibility of using such species as alternatives and/or complements to intensively exploited species.

The construction and dissemination of this information is fundamental to the discovery of new timber species. It is also necessary to compare this information, especially on the

technological characteristics of the wood. That said, the aim of this study was to build groups of timber species from the Amazon rainforest, analyzing them based on their physical-mechanical properties, and thus, carry out a discriminant analysis to indicate timber species that could be alternatives to the commercial species that are in demand by the consumer market.

Materials and Methods

1.1. Database

The database of the Forest Products Laboratory (LFP), a center specializing in research, development, and innovation that performs activities in the areas of technology and the use of forest products, biomass energy, biotechnology, botany, toxic analysis of extractives, spectroscopy, wood structures, and construction processes, was used to build the groups of species with exploitation potential, toxicological analysis of extractives, spectroscopy, wood structures and construction processes, as well as providing support to agencies that oversee and control the timber trade, transport and exploitation, such as the Brazilian Institute for the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA), the Federal Police, the Environmental Police and State Environment Secretariats. The LFP is part of the structure of the Brazilian Forest Service, an agency linked to the Ministry of the Environment and Climate Change (MMA).

The properties that were analyzed are:

- Basic density (kg/m^3);
- Tangential shrinkage (%);
- Volumetric shrinkage (%);
- Radial shrinkage (%);
- Shear strength (MPa);
- Parallel hardness (kgf);
- Transverse hardness (kgf);
- Tensile strength (MPa);
- Flexural strength (MPa);
- Static bending (MPa);
- Compression at break (MPa);
- Proportional compression (MPa).

To identify the possible alternative species, we used quantitative information about the volume production of the proposed species, taken from the databases of the official forestry control systems stored on the Timberflow platform. These data mainly include forestry guides (for the transportation, sale, and processing of wood and other products) made available by IBAMA through the DOF/SINAFLO system, SISFLORA Mato Grosso, and SISFLORA Pará for the period between January 2007 and December 2020. In addition, the forestry company Cemal provided a list of the most exploited species in its Forest Management Unit (FMU). A list was generated of all the species traded at least once during this period. We then applied four criteria to segregate the most promising species, which must have the following characteristics:

(1) They are abundant in the forest: This criterion is important to avoid species that are rare in production forests or that exist endemically in one or a few regions of the Amazon. As a basis, we used the list of 227 naturally dominant forest species in the Amazon rainforest.

(2) Non-threatened: We selected species that, in addition to not presenting legal impediments to their exploitation, are not included in current ordinances on threatened species (IN MMA 01/2014, Ordinance MMA 443/2014, Ordinance MMA 561/2021), in addition to the CNCFlora and IUCN red lists.

(3) They are currently under-exploited: We selected, from the databases of the official forestry control systems, the species that have a low commercialized volume, defined as those that are not among the 20 main timber species in the Amazon which, as discussed above, account for half of the volume of the timber managed.

(4) They have their properties mapped: We considered species that present technical studies already conducted by reference research institutions, such as the LPF and the Institute of Technological Research (IPT), avoiding the disclosure of species for which little information is available to buyers and market operators.

1.2. Data Analysis

We used a multivariate cluster analysis aiming to group the species (based on their timber technological characteristics) and to assess the similarity between them in order to obtain homogeneous groups in terms of economic potential and use. An X-matrix of the data on these technological characteristics was drawn up, in which each variable x_{ij} represented the i -th technological characteristic classified in the j -th species.

The group resulting from this classification must exhibit high internal homogeneity (within-cluster) and high external heterogeneity (between-cluster). The X-matrix was used as an input in the cluster and the discriminant analyses. The simple Euclidean distance and Ward's method were used to separate the groups, applying the Equation (1):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (1)$$

where d_{ij} is the Euclidean distance between species i and j , and x_{ik} and x_{jk} are the values of the k -th technological characteristics of species i and j , respectively. Ward's method minimizes the sum of the squares of the differences within each group in order to form groups with the least possible variation between species within the same group, according to Equation (2):

$$W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (2)$$

To determine the ideal number of clusters in this study, we used the Gap statistic, an effective technique that compares the dispersion of the real data within the clusters obtained with a null reference, which is a random uniform distribution of the data. Initially, we calculated the intra-cluster dispersion W_k for different values of k (number of clusters), which represents the sum of the squared distances within each cluster, providing a dispersion measure of the real data for each cluster configuration.

Thus, we generated several samples of random data uniformly distributed within the data space and calculated the intra-cluster dispersion W_k for the same k values. This process generates a null reference that allows us to compare the dispersion of the real data with the dispersion expected at random.

The gap statistic is then calculated as the difference between the logarithm of the average dispersion of the random data and the logarithm of the dispersion of the real data according to Equation (3):

$$Gap(k) = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B \log(W_k^*(b)) - \log(W_k) \quad (3)$$

where B is the number of random data samples. This metric helps us identify the optimal number of clusters k_* , which is the one that maximizes the gap statistic.

In other words, k_* is chosen where the difference between the dispersion of the real data and the dispersion of the random data is most significant, indicating distinct and relevant groups in the timber technological characteristics of the species analyzed. This statistical approach ensures that the definition of the clusters' number is not arbitrary but based on a rigorous mathematical foundation, guaranteeing that the groups identified accurately reflect the similarities and differences between the species evaluated.

After determining the optimal number of clusters, we used the `fviz_cluster` function from the `factoextra` package in R to visualize the clustering results. This function provides a powerful and intuitive way to plot the clusters in a two-dimensional space, where each species is represented as a point. The `fviz_cluster` function uses the results of a Principal Component Analysis (PCA) to reduce the dimensionality of the data, projecting it onto two

main axes—referred to as Dim 1 and Dim 2—which capture the maximum variance in the data. Dim 1 and 2 represent the two most significant components derived from the PCA, summarizing the overall variability in the species' technological characteristics.

Each cluster is displayed with a different color, making it easy to distinguish the groups visually.

The points (species) within the same cluster are grouped closely together, indicating that they share similar technological characteristics, while points in different clusters are spread further apart, reflecting their dissimilarities.

The `fviz_cluster` function also adds convex hulls around the clusters, further enhancing the visual separation between them. This visualization is crucial for interpreting the structure of the clusters, as it allows us to see how well the species are grouped according to their characteristics and whether the clusters are distinct from one another.

In addition to `fviz_cluster`, the `fviz_dend` function was employed to generate a dendrogram, which provides a hierarchical visualization of the clustering process, illustrating how species were progressively grouped based on their technological characteristics. These visualizations were essential for ensuring that the clusters formed were coherent and aligned with the economic potential and usage patterns of the species.

2. Results

The optimal statistical interval (k) obtained was approximately 0.57, resulting from the formation of four homogeneous groups among the most and least traded species (Figure 1). The separation of these species into four groups and the consequent formation of clusters was based on various attributes of these species. Among these attributes, however, wood basic density (kg m^{-3}) showed the greatest predominance and, consequently, had the greatest influence in separating these groups.

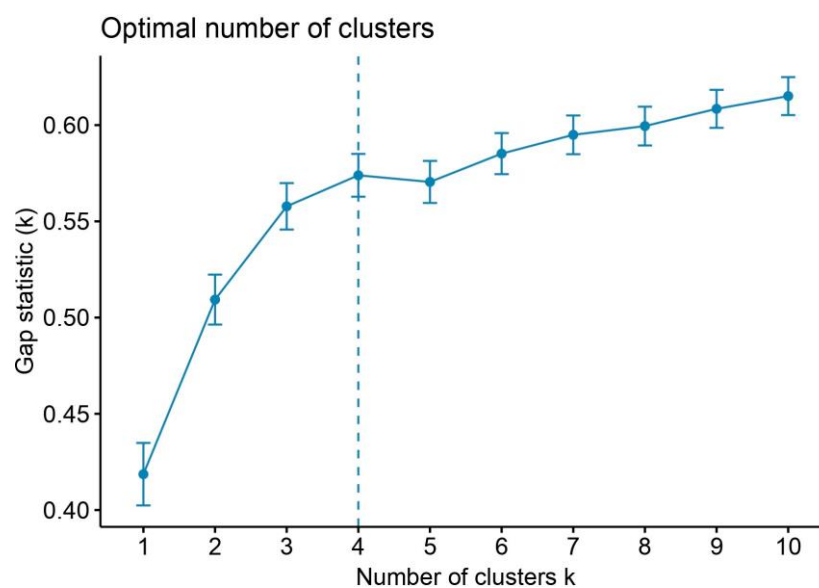


Figure 1. Sum of squares within the clusters to determine the optimal number of clusters.

As a result of the observation, 10.83% of the inventoried and assessed species were classified as more commercial, while 89.18% were classified as less commercial. The cluster analysis grouped 40.72% of the species (79 species) into Cluster 1, which predominantly includes species with low wood density ($<690 \text{ kg m}^{-3}$). Within this group, 11 species were considered more commercial, and 68 were seen as less commercial. Thus, this was the group with the highest number of species identified as potential alternatives to the 11 commercial species (Figure 2).

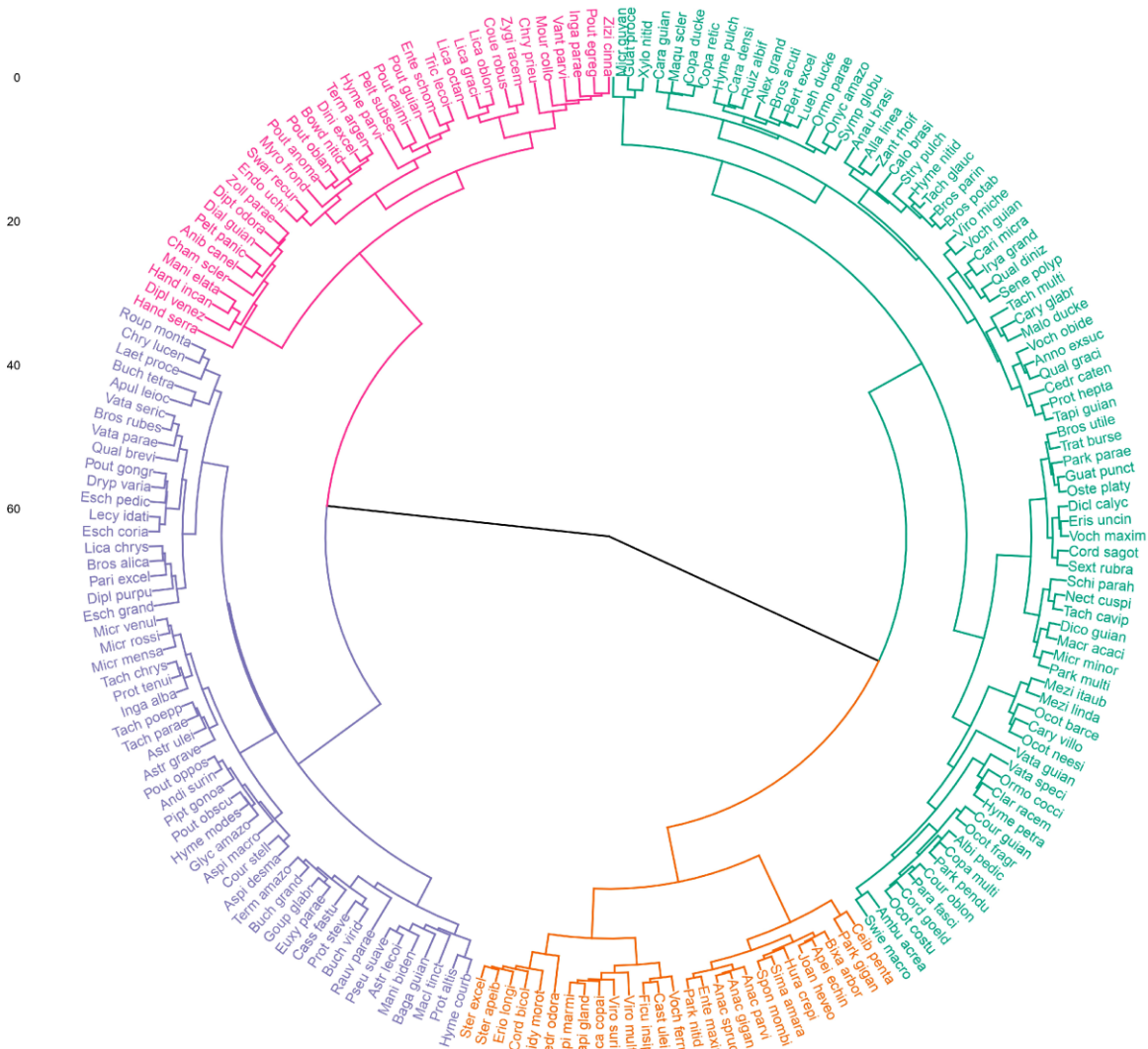


Figure 2. Dendrogram with the formation of the four clusters, with homogeneous groups of species, based on the technological characteristics of the wood.

Cluster 2, on the other hand, grouped 27 species (13.92% of all species), all of which were classified as less commercial. This means that these species did not fit into any of the other three groups with potentially alternative, more commercial species. The species in this cluster generally had a basic wood density between 260 and 520 kg m⁻³. Cluster 3 grouped 53 species (27.32% of the total) with a predominant wood density between 550 and 830 kg m⁻³, of which six were classified as more commercial and 47 as less commercial. Finally, Group 4 had 35 species (18.04%) with a predominant average wood density of 830 kg m⁻³, represented by four more commercial species and 31 less commercial species indicated as potential alternatives. The dendrogram in Figure 2 shows the four groupings.

Figure 3 describes the vector arrangement of the four clusters.

The data presented in Table 1 shows that the 20 most traded species, according to Timberflow (2023) and the forestry company and concessionaire Cemal, account for 43.66% of all the wood commercialized in the Amazonian forest. The three most traded species (*Dipteryx odorata*, *Manilkara huberi*, and *Dinizia excelsa*) have a basic wood density considered high (above 800 kg m⁻³).

As expected, the vast majority (70%) of the 20 species listed are classified as most commercial (MAC). Most of these species fall into Clusters 3 and 4, with basic density values ranging

from 750 to 910 kg m⁻³, being, therefore, high-density wood species. From the 20 species listed, those in Cluster 1 had lower basic density values, ranging from 460 to 630 kg m⁻³.

The species status regarding extinction threat, according to the IUCN (2024) Red List, showed that most of the 20 species (65%) are classified as “Least Concern”, which denotes such species present no extinction risk, apparently. Among the five most commercialized species, only *Manilkara elata* presented the “Endangered” status. On the other hand, the most commercialized species, *Dipteryx odorata*, does not present available data regarding the extinction threat status.

As for the abundance of the species, this variable does not show a very clear pattern in relation to the volume sold. The three most traded species had abundance values of less than 20 trees ha⁻¹, while the 4th (*Goupia glabra*), 13th (*Erismia uncinatum*), and 20th (*Peltogyne paniculata*) most exploited species had the highest abundances of 89, 50, and 50 trees ha⁻¹, respectively. This indicates that species abundance is a factor that is sometimes not considered in the exploitation and commercialization planning of Amazonian timberwoods. In these cases, the uses and commercial demand for such wood are predominantly considered instead.

Table 2 lists alternative species for each of the five most commercialized species in the Amazon, according to Timberflow, 2023. These alternative species were identified based on a cluster analysis that considered the physical-mechanical properties of the wood. For the species *Dipteryx odorata*, the alternatives are *Dialium guianense* and *Zollernia paraensis*. Both species present the status of “Least Concern”, and they also have basic densities (above 800 kg m⁻³) and physical-mechanical characteristics similar to *Dipteryx odorata*. *Dialium guianense*, with an abundance of 64 trees per hectare, has considerable availability, making it a good alternative. Additionally, this species’ timberwood presents a slightly similar color to the *Dipteryx odorata* timberwood color.

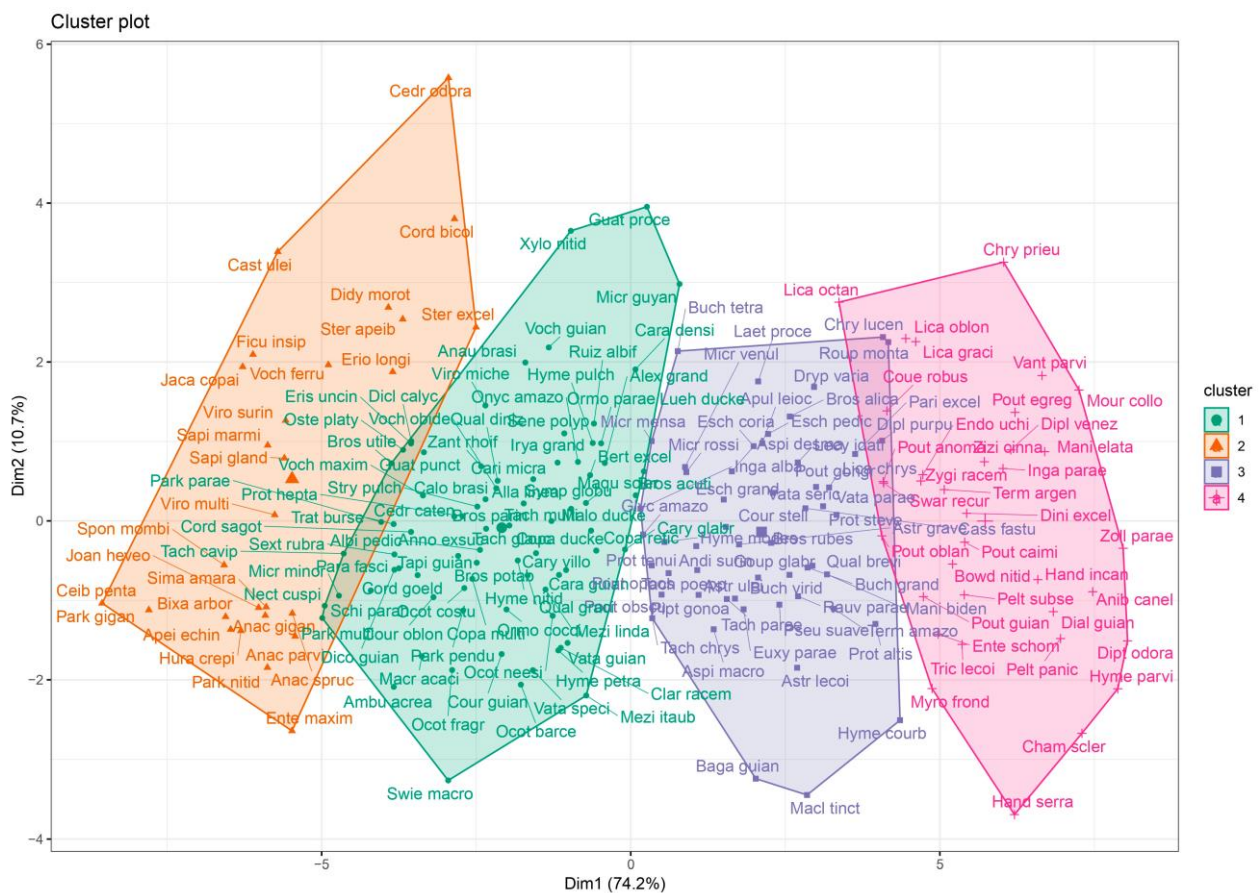


Figure 3. Vector arrangement of the species that make up the four clusters, based on the formation of the two axes. Dim1 and Dim2 refer to the first and second dimensions or the first and second principal components, respectively.

Table 1. List of the 20 most commercialized species (Timberflow, 2023), together with information on the commercial class, cluster, and abundance.




































Species	Rank	Cluster	Class	Abundance	IUCN Status	Basic Density	Acumulated Volume	Volume Percentage	Wood Color
				N° Trees ha ⁻¹		kg m ⁻³	m ³	%	
<i>Dipteryx odorata</i>	1	4	SMC	19	Data Deficient	910	1,663,957.44	3.37	
<i>Manilkara elata</i>	2	4	SMC	5	Endangered	870	1,644,969.22	3.34	
<i>Dinizia excelsa</i>	3	4	SMC	7	Least Concern	830	1,638,570.24	3.32	
<i>Goupia glabra</i>	4	3	SLC	89	Least Concern	710	1,579,236.6	3.20	
<i>Hymenaea courbaril</i>	5	3	SMC	14	Least Concern	760	1,571,206.3	3.19	
<i>Couratari guianensis</i>	6	1	SMC	2	Least Concern	520	1,313,608.18	2.66	
<i>Apuleia molaris</i>	7	3	SMC	11	Least Concern	750	1,084,419.78	2.20	
<i>Handroanthus serratifolius</i>	8	4	SMC	22	Endangered	890	1,075,939.56	2.18	
<i>Caryocar villosum</i>	9	1	SLC	5	Least Concern	630	997,216.24	2.02	
<i>Hymenolobium petraeum</i>	10	1	SMC	3	Least Concern	590	996,565.62	2.02	

Table 1. Cont.

Species	Rank	Cluster	Class	Abundance		Basic Density	Acumulated Volume	Volume Percentage	Wood Color
				Nº Trees ha ⁻¹	IUCN Status	kg m ⁻³	m ³	%	
<i>Schizolobium parahyba</i>	11	1	SMC	15	Least Concern	490	994,244.22	2.02	
<i>Astronium lecointei</i>	12	3	SMC	23	Least Concern	750	960,512.66	1.95	
<i>Erismia uncinatum</i>	13	1	SMC	50	Least Concern	460	935,097.78	1.90	
<i>Qualea paraensis</i>	14			45	Least Concern		933,338.22	1.89	
<i>Cariniana micrantha</i>	15	1	SMC	4	Data Deficient	580	832,118.82	1.69	
<i>Clarisia racemosa</i>	16	1	SLC	16	Least Concern	600	808,492.2	1.64	
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	17	1	SLC	37	Least Concern	450	706,828.42	1.43	
<i>Hymenolobium excelsum</i>	18			4	Data Deficient	800–900	630,257.7	1.28	
<i>Allantoma lineata</i>	19	1	SLC	35	Data Deficient	600	588,936.64	1.19	
<i>Peltogyne paniculata</i>	20	4	SLC	50	Data Deficient	810	572,719.12	1.16	

SMC: Species most commercialized by Comércio Ecológico de Madeiras Ltda. (CEMAL); SLC: Species least commercialized by CEMAL. Traded volume data—Source: Timberflow, 2023. Basic wood density data—Sources: Forest Products Laboratory (LPF/SFB) (<https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/>, accessed on 20 June 2024) and Tropical Timber (<http://www.tropicaltimber.info/pt-br/specie/mandioqueira-qualea-paraensis/#lower-content>, accessed on 20 June 2024).

Table 2. List of alternative species for each of the five most traded species (Timberflow, 2023), based on the cluster analysis.

Alternative Species	Rank	Abundance N° Trees ha ⁻¹	IUCN Status	Basic Density kg m ⁻³	Wood Color
<i>Dipteryx odorata</i>					
<i>Dialium guianense</i>	110	64	Least Concern	865	
<i>Zollernia paraensis</i>	427	26	Least Concern	970	
<i>Manilkara elata</i>					
<i>Handroanthus incanus</i>	199	3	Vulnerable	820	
<i>Diploon venezuelana</i>	-	-	Data Deficient	850	
<i>Dinizia excelsa</i>					
<i>Terminalia argentea</i>	15	271	Least Concern	800	
<i>Bowdichia nitida</i>	22	7	Least Concern	775	
<i>Goupia glabra</i>					
<i>Euxylophora paraensis</i>	356	4	Endangered	685	
<i>Buchenavia grandis</i>	75	19	No Information	755	
<i>Terminalia amazonia</i>	27	33	Least Concern	800	
<i>Hymenaea courbaril</i>					
<i>Protium altissimum</i>	-	128	Least Concern	740	-
<i>Maclura tinctoria</i>	470	52	Least Concern	730	
<i>Bagassa guianensis</i>	45	5	Least Concern	700	
<i>Manilkara bidentata</i> subsp. <i>surinamensis</i>	-	-	Least Concern	830	
<i>Astronium lecointei</i>	12	23	Least Concern	770	
<i>Pseudopiptadenia</i> <i>suaveolens</i>	51	14	Least Concern	740	
<i>Rauvolfia paraensis</i>	-	2	No Information	550	

In the case of *Manilkara elata*, the species *Handroanthus incanus*, which has an abundance of three trees per hectare, and is classified as “Vulnerable” according to the IUCN (2024) Red List, may be a limited alternative due to its low availability. *Diploon venezuelana*, with no specific abundance data available, needs further investigation to confirm its viability as an alternative. Among the alternative species to *Dinizia excelsa*, *Terminalia argentea* stands

out for its high abundance (271 trees per hectare), a “Least Concern” extinction threat, and very similar basic wood density (800 kg m^{-3}), as well as other physical-mechanical characteristics, offering a viable and sustainable alternative. However, such species present a different timberwood color compared to *Dinizia excelsa* color, which makes necessary further investigation about the market aesthetic demands for this timberwood.

For *Goupia glabra*, among the alternatives, the species *Terminalia amazonia*, with 33 trees per hectare and a “Least Concern” extinction threat, is highlighted due to its moderate availability and similar wood basic densities (800 kg m^{-3}), despite having a lower abundance compared to the assessed commercial species. As alternative species for *Hymenaea courbaril*, we found *Protium altissimum*, with 128 trees per hectare, and *Maclura tinctoria*, with 52 trees per hectare, which are excellent alternatives due to their high availability and similarly high wood basic densities (740 and 730 kg m^{-3} , respectively). Additionally, both species present a “Least Concern” status, which reinforces their applicability as complementary species. The species *Manilkara bidentata* subsp. *surinamensis* and *Rauvolfia paraensis* require more data on abundance to confirm their viability.

Wood color plays a fundamental role in the market, directly influencing product demand and value. In this study, color was not a variable considered in the data analysis but has been included in the text for visualization purposes. For the five most commercially traded species (Table 1) and their alternatives (Table 2), the wood colors can be viewed on the public site of the Forest Products Laboratory [25].

3. Discussion

The results obtained have shown evidence of overexploitation of a highly restricted group of species. The Amazon region harbors a diverse array of species, each valued in distinct ways: some hold economic significance due to their high market value, particularly in luxury furniture; others are crucial for ecosystem health; and some are utilized by traditional communities for medicinal and artisanal purposes. International demand for these high-value woods directly influences their exploitation in Brazil, aligning it with consumer preferences. Such demand can drive unsustainable practices, complicating efforts to promote sustainable alternatives. Selective logging often prioritizes market demand over species abundance, thereby posing risks to conservation and the long-term sustainability of management practices [26–28].

According to the study performed by [24], 20 of 998 species analyzed and present in the market have been excessively exploited. The authors further state that approximately 52% of timber harvesting in the Amazon region, amounting to around 80 million cubic meters of wood (between 2007 and 2020), is concentrated on exploitation, leading to the depletion of 15 to 20 species.

Among the species most sought after during the survey, *Manilkara huberi* stands out, coming in 2nd place in the ranking of most exploited species, with an abundance of only three trees ha^{-1} . Species like this one, which are intensively exploited and have a low number of individuals per hectare, not only represent a potential risk of extinction but also make their long-term exploitation legally unfeasible, given the need to leave remnant trees. In the state of Pará, in the Brazilian Amazon, where this study was performed, current legislation stipulates that at least three trees of each species, or 10% of the trees per Annual Production Unit (UPA), be left per 100 hectares, which makes the exploitation of species with few individuals not viable.

Ferreira et al. 2020 [27] evaluated the behavior of *Manilkara huberi* when subjected to logging in a managed area in the Amazon, with an emphasis on the time necessary for its stock recovery after exploitation. The authors found that differentiated management practices that favor the survival of *Manilkara huberi* over the course of cycles are essential, highlighting the need to look for alternative species in future cycles to avoid negative impacts on the conservation of this species.

In addition to *Manilkara huberi*, well-known trees such as *Hymenaea courbaril*, *Handroanthus impetiginosus*, *Dipteryx odorata*, and *Cariniana legalis* are also on the list. The reason

they are the most exploited is not only related to the specific properties of these woods but especially to the interest of the consumer market [24]. This fact increases the risks of overexploitation of these groups, which highlights the importance of the search for alternative species that are able to meet the market demands, which would considerably relieve the pressure on stocks of these intensively logged species [11,28,29].

In analyzing the dynamics of tree species over 30 years of logging and thinning in a managed forest in the Amazon, it was found that intense exploitation and thinning led to a progressive reduction in the timber stocks of the exploited species. The authors emphasize the importance of directing extraction in subsequent cycles to species that have not yet been logged, aiming to ensure a sustainable balance in timber stocks over the long term, which supports the thesis presented in this study [30].

The 68 species in Cluster 1, together with the 78 species in Clusters 3 and 4, show that it is feasible to look for alternative species with different wood densities and for different uses in polycyclic management systems. Thus, it is important to observe that the feasibility of establishing a list of alternative species from intensively exploited groups must include not only a survey of similar characteristics between species but also the phytosociological behavior of these species, especially in response to disturbances caused by exploitation throughout the cutting cycles [30,31].

In this regard, studies such as [31] highlight the possibility of mapping potentially alternative species from overexploited groups. The authors assessed the effects of over 30 years of exploitation on the structure and composition of the *Laetia procera* (Poepp.) population in a managed area in the Eastern Amazon, finding that this species has the potential to be used as an alternative to intensively exploited species.

A more specific analysis of alternatives to the five most traded species in the Amazon (Table 2) shows that there are several species with similar physical and mechanical characteristics that can be exploited sustainably, helping to relieve pressure on intensively exploited species. The main species identified as alternatives to the five most exploited species (Timberflow, 2023) have a high basic wood density (above 700 kg m^{-3}) and other physical-mechanical characteristics that turn them viable management options [12].

However, the abundance of these species varies considerably, which must be considered when planning exploitation and marketing programs [12,28]. Species with high abundances, such as *Terminalia argentea* and *Protium altissimum*, are more suitable as viable alternatives. These species, in addition to having high-density wood and other characteristics similar to their intensively exploited representatives (*Dinizia excelsa* and *Hymeneae courbaril*, respectively), because their higher individual density, can be less disturbed by exploitation practices in subsequent cycles, which makes them extremely promising. Obviously, other phytosociological characteristics must be evaluated to corroborate the high resilience these species can present, so that it is possible to include them in management programs as alternatives [26,32].

On the other hand, species identified as potential alternatives but with lower abundance require careful evaluation to ensure the sustainability of their exploitation, especially in polycyclic management programs. This caution is necessary to prevent these species from suffering overexploitation and depletion in the forest, as observed with the overexploited species addressed in this study.

4. Conclusions

This study demonstrates that the cluster analysis was effective in forming four homogeneous groups of Amazonian timber species, primarily based on wood basic density. This approach identified seven species as potential alternatives to the five most commercialized ones, crucial for mitigating the overexploitation of a narrow group of dominant species in the timber market. Species abundance does not follow a clear pattern regarding commercial volume, indicating that the market demand may not consider natural species availability. This approach emphasizes the importance of considering not only the technological properties of woods but also their phytosociological behavior to ensure the

ecological and economic viability of proposed alternatives. Accepting alternative species makes it feasible for the market to support at least the second cycle of production in forest concession projects.

Author Contributions: Conceptualization, F.B.d.L. and Á.N.d.S.; methodology, F.B.d.L., Á.N.d.S., H.J.d.S. and M.L.d.S.; software, H.J.d.S., M.L.d.S., E.P.M. and E.A.T.M.; validation, H.J.d.S., M.L.d.S., C.R.C.d.S., E.P.M. and L.A.C.B.; formal analysis, H.J.d.S., F.B.d.L. and E.P.M.; investigation, F.B.d.L., Á.N.d.S., E.A.T.M. and R.d.O.G.; resources, F.B.d.L., Á.N.d.S. and E.A.T.M.; data curation, M.d.F.d.B.L. and F.N.G.; writing—original draft preparation, F.B.d.L., H.J.d.S., M.L.d.S. and I.B.d.L.; writing—review and editing, Á.N.d.S., M.d.F.d.B.L., C.R.C.d.S., F.N.G. and R.d.O.G.; visualization, M.d.F.d.B.L., I.B.d.L., E.P.M. and C.R.C.d.S.; supervision, Á.N.d.S., E.A.T.M. and R.d.O.G.; project administration, F.B.d.L. and Á.N.d.S.; funding acquisition, Á.N.d.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—CAPES, Foundation of the Education Ministry, grant number 00.889.834/0001-08, and the CAPES was funded by the Education Ministry.

Data Availability Statement: The data can be found on <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/>, accessed on 20 June 2024.

Acknowledgments: We acknowledge the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—CAPES and the University of Brasília, Brazil for awarding scholarships to the author Fernanda Borges de Lima, contributing authors and Forestry Products Laboratory and CEMAL for providing the database to carry out this study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

- Chazdon, R.L. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* **2008**, *320*, 1458–1460. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Comberti, C.; Thornton, T.F.; Wylliede Echeverria, V.; Patterson, T. Ecosystem services or services to ecosystems? Valuing cultivation and reciprocal relationships between humans and ecosystems. *Glob. Environ. Chang.* **2015**, *34*, 247–262. [[CrossRef](#)]
- Felipe-Lucia, M.R.; Soliveres, S.; Penone, C.; Manning, P.; van der Plas, F.; Boch, S.; Prati, D.; Ammer, C.; Schall, P.; Gossner, M.M.; et al. Multiple forest attributes underpin the supply of multiple ecosystem services. *Nat. Commun.* **2018**, *9*, 4839. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Brançalion, P.H.; De Almeida, D.R.; Vidal, E.; Molin, P.G.; Sontag, V.E.; Souza, S.E.; Schulze, M.D. Fake legal logging in the Brazilian Amazon. *Sci. Adv.* **2018**, *4*, eaat1192. Available online: <https://advances.sciencemag.org/> (accessed on 20 June 2024). [[CrossRef](#)]
- Naves, R.P.; Grøtan, V.; Prado, P.I.; Vidal, E.; Batista, J.L.F. Tropical forest management altered abundances of individual tree species but not diversity. *For. Ecol. Manag.* **2020**, *475*, 118399. [[CrossRef](#)]
- Siviero, M.A.; Ruschel, A.R.; Yared, J.A.; de Aguiar, O.J.; Pereira, P.C.; Vieira, S.B.; Sales, A. Harvesting criteria application as a technical and financial alternative for management of degraded tropical forests: A case study from Brazilian Amazon. *Diversity* **2020**, *12*, 373. [[CrossRef](#)]
- Oettel, J.; Lapin, K. Linking forest management and biodiversity indicators to strengthen sustainable forest management in Europe. *Ecol. Indic.* **2020**, *122*, 107275. [[CrossRef](#)]
- Rodrigues, M.I.; de Souza, N.; Mazzei, L.; Silva, J.N.M.; Joaquim, M.S.; Pereira, R.S.; Biali, L.J.; Rodriguez, D.R.O.; Junior, I.M.L. Financial variability of the second cutting of forest management in Tapajos National Forest, Brazil. *For. Policy Econ.* **2022**, *136*, 102694. [[CrossRef](#)]
- de Campos Paraense, V.; Mendes, T.S.; de Santana, A.C.; de Freitas, A.D.D.; Serra, A.B.; de Almeida, M.N.F.; de Sousa Hamada, M.O.; da Silva Santos, R. Desempenho operacional no desdobro de espécies nativas em serrarias na Amazônia. *Braz. J. Dev.* **2023**, *9*, 1003–1015. [[CrossRef](#)]
- FAO. *Global Forest Sector Outlook 2050: Assessing Future Demand and Sources of Timber for a Sustainable Economy*; FAO: Rome, Italy, 2022.
- Dionísio, L.F.S.; Schwartz, G.; Lopes, J.C.; Oliveira, F.A. Growth, mortality, and recruitment of tree species in an Amazonian rainforest over 13 years of reduced impact logging. *For. Ecol. Manag.* **2018**, *430*, 150–156. [[CrossRef](#)]
- da Cunha Castro, T.; de Carvalho, J.O.P.; Schwartz, G.; Silva, J.N.M.; Ruschel, A.R.; de Freitas, L.J.M.; Gomes, J.M.; de Siqueira Pinto, R. The continuous timber production over cutting cycles in the Brazilian Amazon depends on volumes of species not harvested in previous cuts. *For. Ecol. Manag.* **2021**, *490*, 119124. [[CrossRef](#)]
- Reis, P.C.M.D.R.; Reis, L.P.; Souza, A.L.D.; Carvalho, A.M.M.L.; Mazzei, L.; Reis, A.R.S.; Torres, C.M.M.E. Clustering of Amazon wood species based on physical and mechanical properties. *Cienc. Florest.* **2019**, *29*, 337–347.

14. Scconti, M.S.V.; Mascarenhas, A.R.P.; Rebelo, A.C.; Fernandes, I.M.; Vendruscolo, J.; das Dores de Sá Rocha, J.; Moreto, R.F. Current practices of conducting forest management plans in the Amazon may risk the survival of timber species. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2023**, *30*, 82589–82600. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Rodrigues, M.I.; Souza, ÁN de Joaquim, M.S.; Júnior, I.M.L.; Pereira, R.S. Forest concessions in the Brazilian Amazon. *Cienc. Florest.* **2020**, *30*, 1299–1308. [[CrossRef](#)]
16. Agostini, S.D.; Bacilieri, S.; Hojo, H.; Vitiello, N.; Bilynskyj, M.C.V.; Batista Filho, A.; Rebouças, M.M. Ciclo Econômico do Pau-Brasil -Caesalpina Echinata LAM., 1785. *Páginas Inst. Biol. São Paulo* **2013**, *9*, 15–30.
17. Marques, E.O.; Borges, D.C.S. A Importância da Educação Ambiental na Preservação do Pau-Brasil—Paubrasilia echinata. *Sci. Gen.* **2020**, *1*, 60–70.
18. Zaque, L.A.M.; de Mendoza Borges, P.H.; Ferreira, M.D.; de Mendoza Morais, P.H. Teores de extrativos na madeira de Mogno Brasileiro/Extractive contents in Brazilian Mahogany wood. *Braz. Appl. Sci. Rev.* **2021**, *5*, 1871–1880. [[CrossRef](#)]
19. Lara, C.S.; Costa, C.R.; Sampaio, P.D.T.B. The market for seeds and seedlings of rosewood (*Aniba* spp.) in the State of Amazonas. *Rev. Econ. Sociol. Rural.* **2021**, *59*, e221035. [[CrossRef](#)]
20. Pereira, P.C.G.; Hoeflich, V.A.; Ruschel, A.R.; Siqueira Marques, M.L. *Handroanthus* spp. (ipê) e *Dipteryx* spp. (cumarú) na Lista da CITES: Desafio para as Concessões Florestais no Brasil. 2023. Available online: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1163198/> (accessed on 20 June 2024).
21. Balboni, C.; Berman, A.; Burgess, R.; Olken, B.A. The Economics of Tropical Deforestation. *Annu. Rev. Econ.* **2023**, *15*, 723–754. [[CrossRef](#)]
22. Knoke, T.; Hanley, N.; Roman-Cuesta, R.M.; Groom, B.; Venmans, F.; Paul, C. Trends in tropical forest loss and the social value of emission reductions. *Nat. Sustain.* **2023**, *6*, 1373–1384. [[CrossRef](#)]
23. da Silva Medeiros, S.H.; Nascimento, C.C.D.; Oliveira, B.R.; de Souza, M.A.S.; Barros, F.B. Diagnosis of hollow trees in an area of effective sustainable forest management in the Amazon forest. *Int. J. Innov. Educ. Res.* **2021**, *9*, 527–539. Available online: www.ijer.net (accessed on 20 June 2024). [[CrossRef](#)]
24. Andrade, M.; dos Santos, H.; Nunes, F.; Costa, J.N.; Lentini, M.W. Produção de Madeira e Diversidade de Espécies Arbóreas Exploradas na Amazônia Brasileira: Situação Atual e Recomendações para o Setor Florestal 1. 2022. Available online: https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/boletim_timberflow_julho_2022.pdf (accessed on 20 June 2024).
25. Brazilian Woods Database. LPF—Laboratório de Produtos Florestais. Available online: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/banco-de-dados-madeiras-brasileiras-selecao> (accessed on 23 August 2024).
26. Teixeira, D.E.; Cunha, L.E.; Wimmer, P.; Andrade, A. Resistência à abrasão, dureza Janka e a correlação com outras propriedades em 14 espécies de madeiras tropicais brasileiras com potencial para utilização em pisos de madeira. *Rev. Ciência Da Madeira* **2019**, *10*, 135–141. [[CrossRef](#)]
27. Ferreira, T.M.C.; de Carvalho, J.O.P.; Emmert, F.; Ruschel, A.R.; Nascimento, R.G.M. How long does the Amazon rainforest take to grow commercially sized trees? An estimation methodology for *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach. *For. Ecol. Manag.* **2020**, *473*, 118333. [[CrossRef](#)]
28. Capanema, V.P.; Escada, M.I.S.; Andrade, P.R.; Landini, L.G. Assessing logging legislation parameters and forest growth dissimilarities in the Brazilian Amazon. *For. Ecol. Manag.* **2022**, *513*, 120170. [[CrossRef](#)]
29. Sist, P.; Piponiot, C.; Kanashiro, M.; Pena-Claros, M.; Putz, F.E.; Schulze, M.; Verissimo, A.; Vidal, E. Sustainability of Brazilian forest concessions. *For. Ecol. Manag.* **2021**, *496*, 119440. [[CrossRef](#)]
30. de Avila, A.L.; Schwartz, G.; Ruschel, A.R.; do Carmo Lopes, J.; Silva, J.N.M.; de Carvalho, J.O.P.; Dormann, C.F.; Mazzei, L.; Soares, M.H.M.; Bauhus, J. Recruitment, growth and recovery of commercial tree species over 30 years following logging and thinning in a tropical rain forest. *For. Ecol. Manag.* **2017**, *385*, 225–235. [[CrossRef](#)]
31. David, H.C.; Carvalho, J.O.P.; Pires, I.P.; Santos, L.S.; Barbosa, E.S.; Braga, N.S. A 20-year tree liberation experiment in the Amazon: Highlights for diameter growth rates and species-specific management. *For. Ecol. Manag.* **2019**, *453*, 117584. [[CrossRef](#)]
32. Ferreira, A.P.S.; Carvalho, J.O.P.; Santos, C.R.C.; Silva, W.D.S.; Castro, T.C.; Filho, A.F.; Ruschel, A.R. *Laetia procera* (Poepp.) Eichler can be included in polycyclic management programs for timber production, replacing species intensively harvested in the Amazon forest. *For. Ecol. Manag.* **2024**, *563*, 121961. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.