



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS**

DANIELLE DAS FLORES DE SALES

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA
MADEIRA DE *Cedrelinga catenaeformis***

SANTARÉM

2019

DANIELLE DAS FLORES DE SALES

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA
MADEIRA DE *Cedrelinga catenaeformis***

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título Bacharel Interdisciplinar em Ciências Agrárias, no Instituto de Biodiversidade e Florestas, da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Orientador: Victor Hugo Pereira Moutinho

Co-orientador: Bruno Monteiro Balboni

**SANTARÉM
2019**

DANIELLE DAS FLORES DE SALES

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA
MADEIRA DE *Cedrelinga catenaeformis***

Monografia apresentada
como requisito parcial para
obtenção do título Bacharel
Interdisciplinar em Ciências
Agrárias, no Instituto de
Biodiversidade e Florestas, da
Universidade Federal do Oeste do
Pará.

Orientador: Victor Hugo Pereira
Moutinho

Co-orientador: Bruno Monteiro
Balboni

Aprovado em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Victor Hugo Pereira Moutinho (Orientador)

Engenheiro Florestal Anselmo Júnior Correa Araújo

Prof. MSc. Thiago Augusto de Sousa Moreira

Sales, Danielle Das Flores de.

Caracterização física e mecânica da madeira de Cedrelinga
Catenaeformis / Danielle Das Flores de Sales. - Santarém, 2019.
30f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e
Florestas, Bacharelado Interdisciplinar em Ciências Agrárias.
Orientador: Victor Hugo Pereira Moutinho.
Coorientador: Bruno Monteiro Balboni.

1. Propriedades tecnológicas. 2. Madeira. 3. Cedrorana. I.
Moutinho, Victor Hugo Pereira, orient. II. Balboni, Bruno
Monteiro, coorient. III. Título.

UFOPA/Sistema Integrado de Bibliotecas

CDD 23 ed. 674.13

“A persistência é o menor caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado até aqui, por estar do meu lado em todos os momentos, por sempre me dar forças a seguir em frente.

Aos meus pais, que são minha base e estrutura, por todo apoio ao longo de toda vida. Eu amo vocês.

Às minhas tias Maria Sônia e Maria Cristiane, pelo apoio e carinho, amo vocês.

À minha prima Janaína, por todo o apoio e incentivo. Obrigada.

Ao Marcelo pelo apoio em todos os momentos que me incentivou com carinho e companheirismo.

Ao meu orientador Victor Hugo Moutinho e co-orientado Bruno Balboni, por todos os ensinamentos compartilhados, e tudo que fizeram por mim, muito obrigado.

A todos os colegas do Laboratório que me ajudaram, e compartilharam seus conhecimentos comigo. Ao Anselmo, por me ajudar sempre que precisei. À Milca, por compartilhar seus conhecimentos e me ajudar sempre que precisei.

À Bruna por sua amizade, apoio e ajuda sempre, muito obrigada.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, minha gratidão.

RESUMO

A madeira é um material heterogêneo que apresenta uma variedade de formas de usos, onde existe um grande número de diferentes espécies. De forma que o conhecimento de suas propriedades tecnológicas são importantes para definir seu correto e uso final. Cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*) é uma leguminosa, que no Brasil ocorre com maior frequência nos estados de Amazônia, Acre e Pará, apresenta-se como uma possível alternativa a várias outras espécies. Objetivou-se nesse estudo determinar as propriedades físicas e mecânicas de Cedrorana sua classe de resistência, avaliar a caracterização simplificada proposta pela norma NBR 7190, e a relação da densidade aparente (12%) com suas propriedades mecânicas. Cedrorana foi classificada como madeira normal, de densidade e retratibilidade média. Apresenta características para classe de resistência C20. Para a relação entre densidade aparente e as propriedades mecânicas foram diretamente proporcionais e significativa apenas com a propriedade de cisalhamento e na resistência na compressão paralela as fibras. A caracterização simplificada entre os esforços da madeira propostos pela norma NBR7190, não foram representativos para *Cedrelinga catenaeformis*. Cedrorana apresentou grande potencial em substituir outras espécies.

Palavras chave: propriedades tecnológicas, madeira, cedrorana

ABSTRACT

Wood is a heterogeneous material that presents a variety of uses, where there are a large number of different species. So that the knowledge of its technological properties are important to define its correct and end use. Cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*) is a leguminous, which occurs in Brazil more frequently in the states of Amazonia, Acre and Pará, is a possible alternative to several other species. The objective of this study was to determine the physical and mechanical properties of Cedrorana in its resistance class, to evaluate the simplified characterization proposed by norm NBR 7190, and the relation of the apparent density (12%) with its mechanical properties. Cedrorana was classified as normal wood of medium density and retratibility. Features C20 resistance class characteristics. In the relationship between apparent density and mechanical properties were directly proportional and significant only with the shear property and in the parallel compression strength the fibers. The simplified characterization of the wood efforts proposed by the NBR7190 standard, were not representative for *Cedrelinga catenaeformis*. Cedrorana presented great potential to replace other species.

Key Words: technological properties, wood, cedrorana

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração do corpo de prova para ensaio de compressão paralela as fibras.....	19
Figura 2: Ilustração do corpo de prova utilizado pela normativa brasileira em ensaio de cisalhamento.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela1: Propriedades físicas de <i>Cedrelinga catenaeformis</i>	22
Tabela 2: Propriedades mecânicas de <i>Cedrelinga catenaeformis</i>	23
Tabela 3:Correlações entre a densidade aparente e propriedades mecânicas.....	25

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO	13
Objetivos gerais:	13
Objetivos específicos:.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
Espécie <i>Cedrelinga catenaeformis</i>	14
Características físicas e mecânicas.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
Material.....	16
Caracterização física e mecânica.....	16
Retratibilidade.....	17
Densidade Básica.....	18
Densidade aparente	18
Ensaio de flexão estática	18
Compressão paralela às fibras	20
Cisalhamento.....	21
Resistência Característica	21
Análises estatísticas	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
Propriedades físicas	22
Propriedades mecânicas	24

Correlação entre densidade e dados mecânicos.....	25
Caracterização simplificada.....	26
Valor Característico	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
6. REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

O material madeira apresenta-se como de grande importância, sendo um dos recursos mais utilizados e estando empregado em diversos setores, como na construção civil, na indústria de produção de papel, em movelarias, na produção de instrumentos musicais, na geração de energia, entre outras aplicações (DIAS; LAHR, 2000).

No Brasil, a madeira é um produto abundante, no entanto, apesar dos avançados recursos tecnológicos nas diferentes áreas do conhecimento humano, várias das espécies que ocorrem nas florestas permanecem sendo exploradas de maneira seletiva (GONÇALEZ; GONÇALVES, 2001).

Para Gonzalez & Gonçalves (2001), muitas espécies de madeira, especialmente as menos conhecidas, são consideradas sem valor comercial, pois são vistas como produtos sem qualidade. Várias razões podem explicar essa tendência, mas a falta de informação sobre suas propriedades físicas e mecânicas é a principal, pois estes os dados que permitem conhecer o potencial uso da espécie (SILVA, 2017).

O conhecimento das informações tecnológicas dessas espécies é necessário para mostrar o desempenho das madeiras, se a mesma é compatível com as já utilizadas comercialmente e para que sua matéria prima seja empregada em diversos produtos (LIMA, 2011).

Para o autor supracitado, a madeira possui elevada complexidade, e o estudo das propriedades físico-mecânicas é essencial para o aproveitamento das qualidades de diferentes espécies. Este estudo traz possíveis alternativas de substituições de outras madeiras de características similares, além de adequar o potencial uso das mesmas a uma aplicação apropriada (BRAZ et al., 2013).

Objetivos gerais:

Avaliar as propriedades físicas de mecânicas da espécie *Cedrelinga catenaeformis*, tendo em vista aumentar o conhecimento de suas propriedades tecnológicas, e conseqüentemente a maior eficácia nos seus possíveis usos.

Objetivos específicos:

Determinar a densidade básica e aparente da madeira, bem como a retratibilidade radial, tangencial e volumétrica, o coeficiente de anisotropia, propriedades mecânicas na flexão estática, compressão paralela às fibras e cisalhamento, e o valor característico para *Cedrelinga catenaeformis*. Além disso, também avaliar as relações entre as propriedades físicas e mecânicas e verificar a caracterização simplificada entre os esforços da madeira.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Espécie *Cedrelinga catenaeformis*

Cedrelinga catenaeformis é uma leguminosa, conhecida popularmente como cedrorana, cedro-mara, cedro-maritimo, cedro-alagoano, entre outros (CADEMARTORI et al., 2010). Ocorre com maior frequência nos estados do Amazonas, Acre e Pará, sendo presente também em países como o Peru e Colômbia (REMADE, 2019). Árvore de grande porte, podendo atingir até 40 metros de altura e 2 metros de diâmetro, possui madeira leve a medianamente pesada (GONÇALVEZ; GONÇALVEZ, 2001).

A cedrorana apresenta cerne e alborno distintos pela cor, cheiro perceptível, gosto indistinto, densidade baixa, grã ondulada e textura grossa, podendo ser empregada na construção civil, e em utilidades em geral como: móveis, laminas decorativas, chapas de compensado entre outros (IPT, 2013).

A madeira de cedrorana apresenta um aplainamento regular, é fácil de serrar, pregar, parafusar e colar, recebe bom acabamento e facilidade no processo de secagem (REMADE, 2004). É indicada para construção civil leve externa e interna (GROBÉRIO, 2002).

Essa espécie também apresenta características ideais para a utilização em sistemas silviculturas, devido seu rápido crescimento, boa produção de sementes e forma de fuste (MAGALHÃES; BLUM, 1984). Além disso, segundo os autores, não apresenta diferenças significativas de crescimento em diferentes solos. As características da espécie que permitem um bom crescimento em solos mais pobres se dá pela sua grande capacidade de

nodulação e associação com micorrizas, além de um bom crescimento radicular, que leva a uma mais eficiente ocupação do espaço do solo (MAGALHÃES; BLUM, 1984).

Características físicas e mecânicas

As informações das propriedades físicas e mecânicas do material madeira são fundamentais para a definição de seus usos de forma adequada (ARAÚJO, 2007).

Estas propriedades são determinadas através de ensaios laboratoriais, por meio de equipamentos próprios para tal finalidade, seguindo normas que ditam como ocorrem os procedimentos, as dimensões dos corpos de prova, as fórmulas de cálculo entre outras informações (ARAÚJO, 2002).

Dentre as propriedades físicas, a que tem destaque para a produção tecnológica e usos da madeira é a densidade básica, que muitas vezes está correlacionada a outras propriedades (GONÇALVES et al., 2009). A densidade básica pode ser definida como a relação entre a massa da madeira completamente seca e o volume saturado. Segundo Batista (2012), a densidade esta correlacionada com a umidade, a movimentação dimensional, propriedades térmicas, resistência mecânica entre outros.

Outra variável importante é a retratibilidade, que ocorre por conta da interação da madeira com o ambiente, de maneira a ser definida como a movimentação da dimensão da madeira em decorrência da alteração do teor de umidade (GUMA, 2013). Segundo Braz (2013), essa propriedade deve ser considerada quando se recomenda madeira para utilidades que exijam boa estabilidade dimensional, por exemplo portas e janelas, para evitar o aparecimento de empenos.

As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a forças externas (PEREIRA, 2009). Os valores dessas propriedades variam de acordo com a densidade da madeira, tempo de duração de ensaio mecânico, a direção das fibra, o tipo de esforço entre outros fatores (BRAZ, et al., 2013).

Por exemplo, ensaios como de compressão paralela às fibras referem-se à compressão axial na estrutura de madeira; o cisalhamento da madeira consiste na separação das fibras causadas por esforços contrários, paralelo às mesmas, e os ensaios de flexão estática em madeira, refere-se à aplicação de uma carga ao copo de prova que repousa entre dois apoios, no centro de seu comprimento, de maneira a deforma-lo até sua ruptura (MORESHI, 2005; PEREIRA, 2009).

Através do ensaio de flexão dois parâmetros normalmente são analisados o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade. Sendo o módulo de elasticidade de maior importância na caracterização tecnológica da madeira, especificamente no dimensionamento de vigas, representando a resistência máxima do material quando submetido a uma carga aplicada (SCANAVACA JÚNIOR; GARCIA, 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Material

O material do estudo foi adquirido no mercado local, sendo que suas características anatômicas foram conferidas para a devida identificação da espécie. Todas as análises do material foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Para cada propriedades foram utilizados 12 corpos de provas específicos, com exceção de retratibilidade e densidade básica e aparente que foram mensuradas utilizando-se o mesmo corpos de prova, por permitirem obtenção de dados que contemplam as propriedades.

Caracterização física e mecânica

As propriedades físicas foram obtidas de acordo com as definições e métodos do texto normativo brasileiro NBR7190/97. Para as propriedades mecânicas os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios (EMIC 300N) utilizando as diretrizes do texto normativo americano ASTM D143-09.

Retratibilidade

Os corpos de prova por conta da limitação de material não seguiram as dimensões como propõe o texto normativo, de forma que foram adaptados com dimensões de 25mm x 25mm x 100mm os quais foram imersos em água, recebendo vácuo diariamente para agilizar o processo de saturação. Após isso, mediu-se o volume pelo método de deslocamento de água, com auxílio de uma balança digital e um Becker com água. Com auxílio de paquímetro as dimensões radiais e tangenciais de cada amostra foram aferidas. Na sequência os mesmos foram levadas a estufa a uma temperatura de 100 °C até atingirem peso constante. Após a estabilidade mediu-se novamente as faces radiais e tangenciais e o volume das amostras.

A retratibilidade radial, tangencial, volumétrica foram calculados pela equação 1 e o coeficiente de anisotropia conforme a equação 2.

$$\varepsilon_{(r,t,l)} = \left(\frac{D_{tu} - D_{ts}}{D_{tu}} \right) \times 100 \quad \text{(Equação 1)}$$

$$CA = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_r} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

ε : coeficiente de contração máxima linear (%);

D_u : dimensão em condição saturada (mm);

D_s : dimensão em condição seca (mm);

CA : coeficiente de anisotropia;

t: direção tangencial;

r: direção radial;

l: direção longitudinal;

Densidade Básica

Para determinação da densidade básica, utilizou-se os corpos de prova que foram submetidos a duas medições de massa: a primeira foi a imersão total em água até a saturação de volume e a segunda seca em estufa.

Para determinar a densidade básica utilizou-se a equação 3.

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

ρ_b : densidade básica

m_s : massa da madeira seca;

V_{sat} : volume da madeira saturada.

Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada com os corpos de prova a condição de 12% de umidade, conforme a equação 4.

$$\rho_{12\%} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$\rho_{12\%}$: densidade aparente

$m_{12\%}$: massa da madeira a 12% de umidade;

$V_{12\%}$: volume da madeira a 12% de umidade.

Ensaio de flexão estática

Na flexão estática os corpos de prova foram submetidos ao ensaio, estando bi apoiados, sendo aplicado uma força no centro até o rompimento.

Dessa forma, calculou-se o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade com as seguintes equações, respectivamente:

$$f_M = \left[\frac{M_{m\acute{a}x}}{W_e} \right] \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

f_M : módulo de ruptura à flexão estática (N/m²);

$M_{m\acute{a}x}$: máximo momento aplicado ao corpo de prova (N/m);

W_e : módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova (m³).

$$E_{M0} = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%})L^3}{(V_{50\%} - V_{10\%})4bh^3} \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

E_{M0} : módulo de elasticidade à flexão estática (N/m²)

$F_{M,50\%}$: carga correspondente a 50% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo de prova (N);

$F_{M,10\%}$: carga correspondente a 10% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo de prova (N);

L : distância entre os apoios, vão livre (m);

$V_{50\%}$: deslocamento no meio do vão correspondente a 50% da carga máxima estimada (m);

$V_{10\%}$: deslocamento no meio do vão correspondentes a 10% da carga máxima estimada (m);

b : largura da seção transversal do corpo de prova (m);

h : altura da seção transversal do corpo-de-prova (m).

Compressão paralela às fibras

Para o ensaio de compressão paralela às fibras, foram utilizadas amostras com dimensões de 25 mm x 25 mm x 100 mm. Conforme mostra a figura 1.

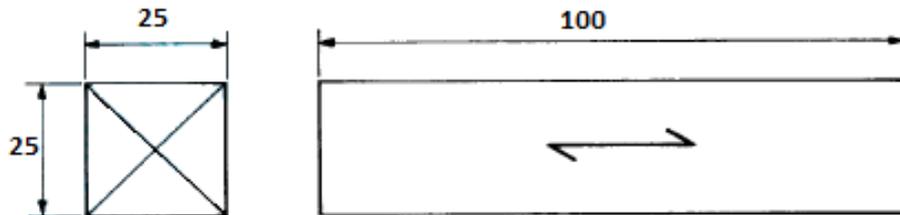


Figura 1: Ilustração do corpo de prova para ensaio de compressão paralela as fibras. Fonte: Adaptado de NBR 7190 (1997).

A resistência à compressão é dada pela relação entre a máxima tensão e a área transversal conforme mostra a equação 7.

$$f_{c0} = \frac{f_{c0 \max}}{A} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

f_{c0} : resistência à compressão paralela às fibras (kgf/cm²);

$f_{c0 \max}$: máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio (kgf);

A : área inicial da seção transversal comprimida (cm²).

Cisalhamento

Para o ensaio de cisalhamento foram confeccionados corpos de prova com dimensões conforme mostra a figura 2.

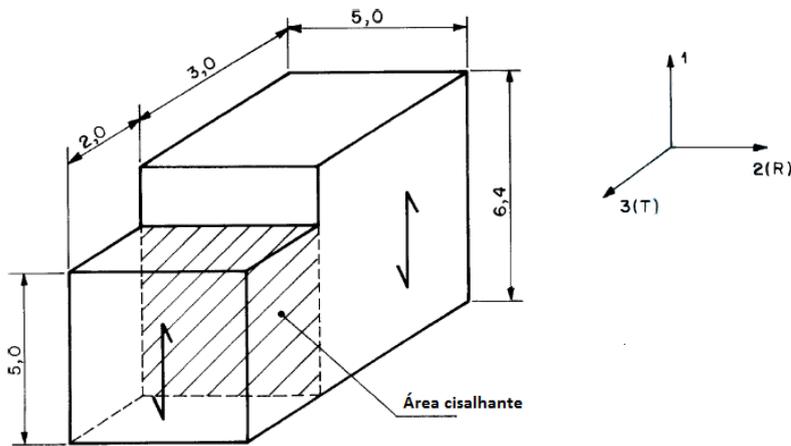


Figura 2: Ilustração do corpo de prova utilizado pela normativa brasileira. Fonte: NBR 7190 (1997).

A resistência ao cisalhamento é obtida através da tensão máxima que pode suportar a seção crítica do corpo de prova, conforme a seguinte equação:

$$fv0 = \frac{Fv0\ max}{Av0} \quad \text{(Equação 8)}$$

Onde:

$fv0$: resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira (N/cm²);

$Fv0max$: máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova (N);

$Av0$: área inicial da seção crítica do corpo-de-prova, em um plano paralelo às fibras (cm²).

Resistência Característica

A classe de resistência foi calculada conforme a NBR 7190/1997. *Cedrelinga catenaeformis* foi enquadrada na classe de resistência através da resistência característica na compressão paralela às fibras.

A resistência característica foi calculada conforma a equação 9:

$$X_{w,k} = \left(2 \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - x_2^n \right)^{1,1} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

X_{wk} : resistência característica

n : número de corpos de prova

Os resultados foram colocados em ordem crescente $x_1 < x_2 < x_3 \dots x_n$, não se tomando para X_{wk} valor inferior a x_1 , nem a 0,70 do valor médio.

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas pelo software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017), onde verificou-se a normalidade dos dados pelo teste Shapiro-Wilk. e realizou-se a correlação de Spearman entre a densidade básica e propriedades mecânicas, a 95% de probabilidade.

Avaliou-se também a caracterização simplificada da resistência e rigidez da madeira conforme proposto na norma NBR7190/97, por meio das relações entre a resistência no cisalhamento e resistência na compressão paralela as fibras (f_{v0}/f_{c0}), o módulo de elasticidade na flexão estática e módulo de elasticidade na compressão paralela as fibras (E_{M0}/E_{c0}), e a resistência na compressão paralela as fibras e resistência na compressão normal as fibras (f_{c90}/f_{c0}).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas

Os dados referentes às propriedades físicas da madeira de cedrorana estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades físicas de *Cedrelinga catenaeformis*

	ε_r (%)	ε_t (%)	ε_v (%)	CA	ρ_b (g/cm ³)	$\rho_{12\%}$ (g/cm ³)
Média	4,84	8,11	10,86	1,77	0,55	0,71
Mediana	4,78	8,41	10,98	1,73	0,55	0,73
Máximo	6,27	9,96	11,70	4,18	0,59	0,80
Mínimo	2,05	5,53	9,64	1,09	0,48	0,55
CV (%)	18,27	11,88	5,03	34,18	6,18	6,93
Desvio Padrão	0,88	0,96	0,55	0,60	0,03	0,05

ε_r : Retratabilidade Radial; ε_t : Retratabilidade Tangencial; ε_v : Retratabilidade Volumétrica; CA: Coeficiente de anisotropia; ρ_b : Densidade básica; $\rho_{12\%}$: Densidade aparente.

O valor médio da densidade básica de *Cedrelinga catenaeformis* encontrado no presente estudo é de 0,55 g/cm³, valor 17% superior ao encontrado por Gonçalves e Gonçalves (2001). Mas bastante similares às madeiras *Qualea dinizii* Ducke e *Nectandra dioica* Mez, 0,55 g/cm³ e 0,54 g/cm³ respectivamente Cardoso et al (2012).

A densidade aparente apresentou valor 48,07% superior ao encontrado por IPT (2003), para *Cedrelinga catenaeformis*. Angelim-amargoso (*Vatairea fusca*) apresenta 0,77g/cm³ para densidade aparente (DIAS e LAHR, 2004) valores próximos ao encontrado para cedrorana no presente estudo.

A amplitude da retratabilidade é um indicador da estabilidade dimensional da madeira (GONÇALVES et al., 2006). Os valores encontrados para a retratabilidade radial, tangencial e volumétrica de *Cedrelinga catenaeformis* foram de 4,84%, 8,11% e 10,86% respectivamente, valores semelhantes ao de IPT (2013), que encontraram valores de 4,8%, 7,9% e 11,8%, para as respectivas propriedades.

As diferenças entre as retratabilidade radial e tangencial, apresentam valor de 3,27%, segundo Gonçalves et al. (2006), esta diferença frequentemente explica os defeitos que acontecem durante a secagem.

O coeficiente de anisotropia foi de 1,77, superior ao encontrado por Fernando, Valle e Calderon (2018) de 1,31. O valor ideal para o coeficiente de anisotropia seria quando este valor é igual a 1, indicando a inexistência de alterações nas dimensões nos diferentes sentidos (MORESHI, 2012). No entanto, isso se aplica mais na teoria, o autor relata que madeiras com fator de anisotropia entre 1,6 a 1,9 são classificadas como madeiras normais, sendo esta a classificação de *Cedrelinga catenaeformis*.

Ainda que as densidades básica e aparente tenham sido maiores do que os valores encontrados na literatura, as retratibilidades foram muito similares. Tal ocorrência mostra que a madeira de cedrorana, apresenta retratibilidade estável independente da densidade.

Propriedades mecânicas

Na Tabela 2, são apresentados os valores referentes aos ensaios de compressão paralela às fibras, flexão estática e cisalhamento.

Tabela 2. Propriedades mecânicas de *Cedrelinga catenaeformis*

	f_{c0} (MPa)	E_{c0} (MPa)	f_M (MPa)	E_{M0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
Média	45,23	5855	75,84	9841	14
Mediana	44,18	5888	71,33	10120	12,91
Máximo	55,37	7492	105,4	12430	24
Mínimo	34,41	3778	56,85	7100	7
CV (%)	13,74	18,26	22,7	18,24	43
Desvio Padrão	6,21	1069	17,21	1795	5,97

f_{c0} : Módulo de ruptura na compressão; E_{c0} : Módulo de elasticidade na compressão; E_{M0} : Módulo de elasticidade na flexão ; f_M : Módulo de ruptura na flexão; f_{v0} : Resistência no cisalhamento.

Os valores encontrados para os ensaios mecânicos foram similares ao de Dias e Lahr (2004) que em seus estudos, encontraram um valores médios para E_{M0} (10.032 MPa), f_M (61 MPa), f_{c0} (41,3 MPa) e f_{v0} (11,9 MPa) para madeira de cedrorana. Entretanto foram divergentes ao encontrados por

Gonçalves & Gonçalves (2001), onde encontraram valores para E_{M0} de 11.277,65 MPa e f_M de 92,77 MPa.

A madeira de cedrorana pode substituir madeiras para construção civil leve externa e interna, estrutural, decorativa e de utilidades em geral, como o Tauari (*Couratari oblongifolia*), que apresenta E_{M0} de 10.591 MPa, f_M de 88,8 MPa e f_{c0} de 6,1 MPa (IPT, 2013). Ressalta-se que o valor encontrado para f_{c0} no presente estudo para madeira de cedrorana foi superior ao encontrado pelo autor em *C. oblongifolia*, assim a utilização dessa madeira como substituta a espécie se faz viável.

Cedrela odorata (cedro) apresenta valores de 10786 MPa e 81,05 MPa para E_{M0} e f_M respectivamente (SILVA, 2017), valores próximos ao encontrados para cedrorana, sendo esta uma das madeiras que podem ser substituídas pela referida espécie. Esta semelhança entre os dados, mostram o porquê que *Cedrelinga catenaeformis* é conhecida como cedrorana uma vez tem significado de cedro falso.

IPT (2013) apresentou para *Vochysia maxima* um valor de 47,6 MPa para f_{c0} , valor próximo ao encontrado para cedrorana no estudo, de maneira que cedrorana pode vir a substituí-la.

Nota-se que a madeira de cedrorana apresenta boas características, uma vez que sua densidade básica é bem próxima ao do mogno (*Swietenia macrophylla King*), espécie de alto valor agregado de densidade básica de 0,52g/cm³ (IPT, 2019), de forma a ser de grande potencial para uso e substituição de outras madeiras.

Correlação entre densidade e dados mecânicos

Os dados referentes às correlações entre a densidade aparente e as propriedades mecânicas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Correlações entre a densidade aparente e propriedades mecânicas

	R²	p-valor
$\rho_{12\%} \times E_{M0}$	0,53	0,09
$\rho_{12\%} \times f_M$	0,28	0,41
$\rho_{12\%} \times E_{c0}$	-0,05	0,88
$\rho_{12\%} \times f_{c0}$	0,58	0,05
$\rho_{12\%} \times f_{v0}$	0.88	0.009

Observa-se que os valores de para f_{c0} e f_{v0} apresentam relação significativa com a densidade aparente. Entretanto as relações entre as propriedades de E_{M0} , f_M e, E_{c0} , não apresentaram o mesmo comportamento, onde que estatisticamente suas relações com a densidade aparente não foram significativas.

As correlações encontradas entre a densidade aparente e as propriedades de f_{c0} e f_{v0} condizem com os relatos da literatura, onde normalmente a densidade é diretamente proporcional às propriedades mecânicas da madeira.

Esperava-se maiores relações entre a densidade aparente e às propriedades mecânicas, como mostra o estudo de Lobão (2004), com *E. grandis* que apresentou forte relação entre a densidade da madeira e as suas propriedades mecânicas, sendo quanto maior a densidade, maior a resistência mecânica. Este resultado pode estar relacionado com as características anatômicas da madeira como por exemplo lenho inicial e lenho tardio, angulação microfilar e composição química.

Caracterização simplificada

As relações entre as propriedades mecânicas foram diferentes das sugeridas pela norma. A relação de f_{v0}/f_{c0} foi de 0,31, 158% superior ao valor indicado pela norma (0,12). Da mesma forma aconteceu para a relação

E_{M0}/E_{c0} , que apresentou um valor de 1,68, 86% superior ao que a norma propõe (0,90).

No presente estudo não foi realizado o ensaio de compressão normal às fibras (f_{c90}). E dessa forma através da relação f_{c90}/f_{c0} , o valor estimado para f_{c90} foi de 11,30 MPa, superior aos encontrados na literatura, que apresentam valor médio de 3,6 MPa (IPT, 2019), o que não é indicado, pois estimativas superiores podem acarretar em risco por utilização inadequada, principalmente para uso estrutural.

As relações analisadas da normativa brasileira não apresentaram-se representativa para a espécie de cedrorana. Comportamento similar aos encontrados por Sales e Balboni (2018), que verificaram a relação entre propriedades mecânicas de 49 espécies amazônicas. Segundos os autores estes resultados eram esperados, por conta da grande variedade de madeiras e de sua heterogeneidade, de forma que as relações sugeridas pela norma, devem ser utilizadas para espécies que se tem o conhecimento de que segue aproximadamente a relação sugerida pela norma.

Valor Característico

O valores característicos de $f_{c0,k}$, $f_{v0,k}$ e $E_{c0,m}$, $\rho_{bas.m}$ e $\rho_{12\%}$ foram de 24,75 MPa e 2 MPa, 4338,18 MPa, 0,55g/cm³ e 0,74g/cm³ respectivamente, onde acordo com a normativa brasileira, classifica a espécie *C. catenaeformis* como de classe de resistência C 20, valor esse próximo e na mesma classe determinada por Dias e Larh (2004).

O conhecimento da classe de resistência permite maior flexibilidade no emprego de madeiras, uma vez que as mesmas são agrupadas por similaridade de propriedades, o que favorece na melhor escolha de material para destinação final. Além de possibilitar a utilização de um maior número de espécies.

Espécies como *Simarouba amara*, *Erisma uncinatum*, *Cedrela sp*, *Cedrela odorata* e *Schizolobium amazonicum* Herb apresentam classe de

resistência C 20 (Jesus, Logsdon e Finger, 2015; Sales, 2004; Almeida et al., 2013), sendo estas possíveis a serem substituídas por *C. catenaeformis*.

Nota-se que *C. catenaeformis*, tem comportamento físico-mecânico similar a outras espécies de forma apresenta grande potencial em substituí-las. E ainda de acordo com a literatura, apresenta boas características para usos silviculturais. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros explorem outras características mecânicas como: dureza e compressão normal as fibras, além de testes para potencial na fabricação de madeira laminada colada (MLC), uma vez que segundo Azambuja et al (2004) madeiras para serem empregadas em peças estruturais de MLC devem apresentar densidade aparente a 12% de umidade entre 0,40 e 0,75 g/cm³, de forma que *C. catenaeformis* se mostra favorável para este fim, através de testes de cisalhamento na linha de cola, envelhecimento acelerado na colagem, ensaios em vigas de dimensões reduzidas e em dimensões estruturais, para que a espécie possa ser amplamente utilizada no mercado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A madeira de *Cedrelinga catenaeformis* foi considerada como de densidade média. Possui retratibilidade considerada média, classificada como madeira normal por meio do coeficiente de anisotropia.

Os valores das propriedades mecânicas indicam que a madeira de cedrorana apresenta boa resistência. A densidade aparente não apresentou relação significativa com as propriedades de f_M , E_{M0} .e E_{c0} .

As relações propostas pela normativa não foram representativa para cedrorana.

Cedrelinga catenaeformis foi classificada como C20, apresentando potencial em substituição espécies, como *Simarouba amara*, *Erisma uncinatum*, *Cedrela sp*, *Cedrela odorata* e *Schizolobium amazonicum* Herb.

6. REFERÊNCIAS

ALMEILDA, D. H de. et al. Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum* HERB) em peças de dimensões estruturais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1175-1181, 2013.

ARAÚJO, H. J. de. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. 184 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba- SP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira, 107p. Rio de Janeiro, 1997.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**: D 143 – 09. West Conshohocken, PA, 2009.

AZAMBUJA, M. A. Proposta de normalização para Madeira Laminada Colada (MLC). **Madeira: arquitetura e engenharia**, v 1. N. 13, 2004. Quadrimestral. ISSN 1806-6097.

BRAZ, R. L. et al. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 43, n. 4, p. 663-670, 2013.

CADEMARTORI, P. H. G. et al. Descrição macroscópica das madeiras de *Cedrela fissilis* Vell., *cedrela odorata* L. e *Cedrelinga catenaeformis* Ducke. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras. XII EMBRAMEM. Minas Gerais. **Anais [...]**. Minas Gerais, 2010.

CAVE, I.D; WALKER, J.C.F. Rigidez de madeira em madeiras de corte de plantio de rápido crescimento: influência do ângulo da microfibrila. **Revista de produtos florestais**, v. 44, n. 5, p. 43, 1994.

DIAS, F. M; LAHR, F. A. R. Correlações entre a densidade aparente e as propriedades de resistência da madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 14., 2000, São Pedro-SP. **Anais [...]**. São Paulo, 2000. p. 22401-22412.

FERNANDES, N. C. L.; VALLE, M. L. A.; CALDERON, C. M. A. Características Físicas e Anatômicas de *Cedrela odorata* L. e *Cedrelinga cateniformis* Ducke. **Floresta e Ambiente**. v. 25, n. 1, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.100814>

GONÇALEZ, J. C. et al. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, 2006. v. 16, n. 3, p. 329-341

GONÇALEZ, J.C.; GONÇALVES, M. D. Valorização de duas espécies de madeira *Cedrelinga catenaeformis* e *Enterolobium shomburgkii* para a indústria madeireira. **Revista Brasil Florestal**, n. 70, p. 69-74, 2001.

GONÇALVES, G. F. et al. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 3, 2009.

Grobério, M.P.; LAHR, F. A. R. Indicações para o emprego da madeira de espécies tropicais do Brasil. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v 3. N. 8, 2002. Quadrimestral. ISSN 1516-2850.

GUMA, R. L. **Propriedades tecnológicas da madeira *Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher**. 2013. 62f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria-RS, Santa Maria-RS, 2013.

HARA, M. M. et al. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira mediante esforço induzido por punção. **Revista Engenharia e Construção Civil**. Curitiba-PR, v. 1, n. 2, p.40-54, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil**. São Paulo. 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Catálogo de madeiras brasileiras para construção civil**. São Paulo. 2013

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS (IPT), 2019. DISPONIVEL EM http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/44-mogno.htm acesse em 29 de junho de 2019.

JESUS, J. M. H. de.; LOGSDON, N. B.; FINGER, Z. Classes de resistência de algumas madeiras de Mato Grosso. **E&S Engineering and Science**, v. 3, n. 1, p. 35-42, 2015.

LIMA, N. N. Painéis laminados e particulados a base de madeiras tropicais amazônicas. 2011. 208 f. Tese (Pós graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira) -Universidade Federal de Lavras, Lavras-Minas Gerais, 2011.

MAGALHÃES, L. M.S; BLUM, W. E. H. Nodulação e crescimento de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke em plantios experimentais na região de

Manaus–AM. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 13, p. 159-164, 1984.

MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira**. Ed 4. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2012. 208 p.

PEREIRA, S. S. C. **Avaliação experimental das principais propriedades mecânicas de peças estruturais em madeira antiga**. 2009. 180f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2009.

Revista da Madeira. 2004. Disponível em http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=488&subject=Pain%E9is&title=Origem%20e%20evolu%E7%E3o%20dos%20pain%E9is%20estruturais Acesso em: 12 de junho 2019

Revista da Madeira. 2019. Disponível em <http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/362/madeiras-brasileiras-e-exoticas/cedrorana>. Acesso em: 12 de junho 2019

SALES, A. Sistema de classes de resistência para dicotiledôneas: revisão da NBR 190/97. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 5, n. 13, 2004. ISSN 1806-6097.

SALES, D. F de.; BALBONI, B. M. Relação entre propriedades mecânicas de 49 madeiras Amazônicas. In: Simpósio Florestal Sul-Mato-Grossense, 5, 2018, Mato Grosso do Sul. **Anais** [...]. Mato Grosso do Sul, 2018.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v. 65, n. 1, p. 120-129, 2004.

SILVA, L. N. da. **Correlações entre propriedades tecnológicas da madeira de cedro (*Cedrela odorata* L.) determinadas por metodologias destrutivas e não destrutivas**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2017.

VALE, A. T. et al. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), Duke. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 416-420, out./dez. 2007.