



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MATHEUS ALEIXO MACIEL**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ALGAROBA PARA USO COMO  
ELEMENTO ESTRUTURAL**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2019**

**MATHEUS ALEIXO MACIEL**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ALGAROBA PARA USO COMO  
ELEMENTO ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Campina Grande –  
UFCG, para encerramento do componente  
curricular e conclusão da graduação em  
Engenharia Civil.

Orientador: Marcos Antônio de Souza Simplício

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2019**

É concedida à Universidade Federal de Campina Grande permissão para reproduzir cópias dessa monografia e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Maciel, Matheus Aleixo.

Estudo das Propriedades Mecânicas da Algaroba para uso como Elemento Estrutural/Matheus Aleixo Maciel.

Campina Grande, 2019.

39 p.:il. Color.

Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

1. *P. juliflora* – Características. I. Universidade Federal de Campina Grande. CTRN/DEC

**MATHEUS ALEIXO MACIEL**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ALGAROBA PARA USO COMO  
ELEMENTO ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Campina Grande –  
UFCG, para encerramento do componente  
curricular e conclusão da graduação em  
Engenharia Civil.

Aprovada em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_ NOTA \_\_\_\_\_

**Dr. Marcos Antônio de Souza Simplicio - Universidade Federal de Campina Grande  
(Presidente - Orientador)**

\_\_\_\_\_ NOTA \_\_\_\_\_

**Dra. Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo - Universidade Federal de Campina Grande  
(1º Examinador)**

\_\_\_\_\_ NOTA \_\_\_\_\_

**Msc. Macel Wallace Queiroz Fernandes – Faculdade Maurício de Nassau  
(2º Examinador)**

Dedico este trabalho ao meu avô João Aleixo de Melo, “In Memoriam”.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcos Antônio de Souza Simplício, pelo profissionalismo, pela experiência, auxílio e orientação em todas as etapas, para que esse trabalho pudesse ser concluído.

À minha mãe, Maria Edna, pelo generoso amor que me dedicou, pelas valiosas lições ao longo da vida e por todo seu esforço para que esse sonho se tornasse realidade. Mãe sem dúvidas a senhora foi o diferencial em minha vida.

À minha noiva Sandra, por ter sido peça fundamental nessa conquista e por todo seu apoio e amos nas horas em que mais precisei, você sem dúvidas é o amor de minha vida.

À minhas tias, Sebastiana Aleixo, Carla Gomes e Nadja Ferreira, por todos os conselhos e a atenção nas horas que mais precisei, amo vocês.

À minha tia, Rita Valdilene, ou somente Tia N. A senhora foi sempre uma segunda mãe que me incentivou e me aconselhou sempre, sem dúvidas grande parte dessa conquista também é sua. Agradeço por tudo e por se fazer presente sempre, mesmo estando a maior parte do ano distante.

Às minhas madrinhas, Josefa Aleixo e Maria Joseane. Ambas me assumiram como afilhado e sou profundamente grato por todo o momento que Deus me proporcionou com as duas, sem sobra de dúvidas eu não poderia ter pedido por madrinhas melhores.

Aos meus tios, João Josivaldo, José Josenildo, Genivaldo Nunes e Cristino Ferreira. Vocês foram as figuras paternas que sempre precisei em minha vida, agradeço de coração.

À minha Vó, Tertulina Aleixo, mulher extremamente forte e muito gentil a quem devo muito de minha educação e particularmente todas as minhas conquistas. Vó a senhora é minha razão de viver.

## RESUMO

A madeira é um dos materiais de construção mais utilizado pelo homem desde tempos pré-históricos. A algaroba, é uma árvore que pode atingir até 20 metros de altura, com tronco curto e sinuoso que pode atingir cerca de 8 metros e diâmetro de 0,8 metros. A sua madeira é compacta, elástica e pesada, e possui boa textura, grã direita, boa durabilidade natural e apresenta estabilidade dimensional, sendo madeira de boa qualidade para carpintaria e marcenaria, sendo empregada para confecção de móveis rústicos, dormentes, postes, mourões. Neste trabalho foram ensaiadas peças de algaroba com teor de umidade de aproximadamente 9,16 % e submetidas aos ensaios de compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento paralelo as fibras e flexão. Em função dos valores de resistência à compressão paralela às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, e módulo de elasticidade, a madeira de algaroba se aproxima muito daquelas classificadas como pertencentes à classe C60. Essa ampla utilidade faz da algaroba uma madeira com grande potencial de transformação econômica das regiões áridas do Brasil.

**Palavras Chave: Algaroba; madeiras de construção; transformação econômica.**

## ABSTRACT

Wood is one of the building materials most used by man since prehistoric times. The algaroba is a tree that can reach up to 20 meters in height, with a short and sinuous trunk that can reach about 8 meters and a diameter of 0.8 meters. Its wood is compact, elastic and heavy, and it has good texture, right grain, good natural durability and presents dimensional stability, being good quality wood for carpentry and joinery, being used for making of rustic furniture, sleepers, poles, mourões. In this work, pieces of algaroba with moisture content of approximately 9.16% were tested and subjected to the tests of parallel compression to the fibers, traction parallel to the fibers, shear parallel to the fibers and flexion. As a function of the values of compressive strength parallel to the fibers, shear strength parallel to the fibers, and modulus of elasticity, the algaroba wood is very close to those classified as belonging to class C60. This wide utility makes the algaroba a wood with great potential of economic transformation of the arid regions of Brazil.

**Keywords: Algaroba; building wood; economic transformation.**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Peça de madeira serrada mostrando as direções longitudinal (L), radial (R) e tangencial (T) (PFEIL e PFEIL, 2003). .....	14
Figura 2 – Seção transversal de um tronco, mostrando as camadas (FRANCO, 2008). .....	15
Figura 3 – Seção ampliada do tecido celular de árvores coníferas: seção transversal (a); seção tangencial (b) (PFEIL e PFEIL, 2003). .....	16
Figura 4 – Seções transversais típicas de madeiras: duras (a); maciças (b) (PFEIL e PFEIL, 2003). .....	17
Figura 5 – Angico ( <i>anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> ). .....	20
Figura 6 – Jurema-preta ( <i>mimosa tenuiflora</i> ). .....	21
Figura 7 – Algaroba ( <i>prosopis juliflora</i> ). .....	21
Figura 8 – Folha (a), fruto (b) e flor da P. Juliflora (c). .....	22
Figura 9 – Mapa da região nordeste brasileira. ....	23
Figura 10 – Prensa Cyber-Tronic, modelo YIMC109, utilizada nos ensaios. ....	24
Figura 11 – Mapa de Pernambuco destacando o município de Sertânia. ....	25
Figura 12 – Corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão paralela, cisalhamento e coluna perfeita de Euler. ....	26
Figura 13 – Corpo de prova utilizado no ensaio de tração paralela. ....	26
Figura 14 – Corpo de prova utilizado no ensaio de flexão. ....	27
Figura 15 – Ruptura dos corpos de prova no ensaio de resistência a compressão paralela às fibras: (a) Linhas de ruptura, (b) Realce das linhas de ruptura. ....	29
Figura 16 – Corpo de prova para o ensaio de tração pós rompimento. ....	31
Figura 17 – Corpo de prova para o ensaio de cisalhamento pós rompimento. ....	32
Figura 18 – Corpo de prova para o ensaio de flexão pós rompimento. ....	34
Figura 19 – Curva teórica experimental, gerada a partir dos ensaios, de uma coluna de algaroba. ....	35
Figura 20 - Corpo de prova para o ensaio de compressão pós rompimento. ....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Camadas da seção transversal de um caule ou tronco de madeira, com suas respectivas funções. ....	16
Tabela 2 – Composição das células da madeira .....	18
Tabela 3 – Aspectos a considerar quanto a vulnerabilidade das madeiras de construção .....	19
Tabela 4 – Valores referentes ao ensaio de teor de umidade.....	28
Tabela 5 – Valores referentes ao ensaio de compressão paralela às fibras. ....	28
Tabela 6 – Comparação entre resistência a compressão paralela às fibras do jatobá, da algaroba e da maçaranduba .....	30
Tabela 7 – Valores referentes ao ensaio de tração paralela às fibras. ....	30
Tabela 8 – Comparação entre resistência a tração paralela às fibras do jatobá, da algaroba e da maçaranduba. ....	31
Tabela 9 – Valores referentes ao ensaio de cisalhamento paralelo às fibras. ....	32
Tabela 10 – Comparação entre resistência ao cisalhamento paralelo às fibras do jatobá, da algaroba e da maçaranduba.....	33
Tabela 11 – Valores referentes ao ensaio de flexão. ....	33
Tabela 12 – Comparativo entre os módulos de elasticidade do jatobá, da algaroba e da maçaranduba. ....	34

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1. OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>13</b>
1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS MADEIRAS</b> .....	<b>14</b>
2.1.1. CONSTITUIÇÃO MACRO E MICROSCÓPICA DA MADEIRA .....	14
2.1.2. PROPRIEDADES E DEFEITOS QUE TEM INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA DA MADEIRA .....	18
2.1.2.1. UMIDADE .....	18
2.1.2.2. RETRAÇÃO DA MADEIRA .....	18
2.1.2.3. DETERIORAÇÃO DA MADEIRA .....	19
<b>2.2. PRINCIPAIS ESPÉCIES DE MADEIRA DA CAATINGA</b> .....	<b>19</b>
2.2.1. ANGICO (ANADENANTHERA COLUBRINA VAR. CEBIL) .....	19
2.2.2. JUREMA-PRETA (MIMOSA TENUIFLORA) .....	20
2.2.3. ALGAROBA (PROSOPIS JULIFLORA) .....	21
<b>2.3. REGIÃO NORDERSTE BRASILEIRA</b> .....	<b>22</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1. MATERIAIS</b> .....	<b>24</b>
3.1.1. ORIGEM DA MADEIRA PARA OS ENSAIOS .....	24
<b>3.2. MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.2.1. TEOR DE UMIDADE .....	25
3.2.2. COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS .....	25
3.2.3. TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS .....	26
3.2.4. CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS .....	26
3.2.5. FLEXÃO .....	27
3.2.6. COLUNA PERFEITA DE EULER .....	27
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1. TEOR DE UMIDADE</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2. COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS</b> .....	<b>28</b>
<b>4.3. TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS</b> .....	<b>30</b>
<b>4.4. CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS</b> .....	<b>31</b>
<b>4.5. FLEXÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>4.6. COLUNA PERFEITA DE EULER</b> .....	<b>34</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais de construção mais utilizado pelo homem desde tempos pré-históricos. Mesmo tendo suas teorias científicas estabelecidas somente em meados do século XX, junto com a pedra eram os dois materiais utilizados nas construções mais importantes e majestosas de obras de engenharia no século XIX. A primeira iniciativa de caracterização tecnológica de madeiras que se tem notícia no Brasil ocorreu em 1904 e é de autoria do Grêmio Politécnico do Estado de São Paulo (GOMES, 1999).

Como é notório hoje, a madeira é um material heterogêneo que possui diversos tipos de células, as quais têm função específica. Ou seja, as variações nas suas composições químicas, físicas e anatômicas são muito grandes entre as espécies. Sendo assim, Dentro de uma mesma espécie podem ocorrer variações conforme a idade, posição na árvore, fatores genéticos, ambientais, dentre outros (SHIMOYAMA, 1990).

A avaliação do uso potencial, de espécies florestais com disponibilidade comercial, como madeiras de construção se inicia pela determinação das propriedades físico-mecânicas das espécies em questão, pois são as propriedades mecânicas que exprimem a capacidade da madeira suportar as solicitações que lhe são impostas (LEONELLO *et al.*, 2012). As mesmas são geralmente avaliadas nas direções paralela e normal às fibras, e nacionalmente existe um enfoque na resistência à compressão paralela às fibras, fazendo com que ela seja tratada como a propriedade de maior importância, devido principalmente as boas correlações que a mesma possui em relação às outras resistências mecânicas da madeira. Ou seja, uma boa madeira de construção, geralmente, é aquela que possui uma elevada resistência à compressão paralela às fibras.

A algaroba, é uma árvore que pode atingir até 20 metros de altura, com tronco curto e sinuoso que pode atingir cerca de 8 metros e diâmetro de 0,8 metros (BRAGA, 2001). A sua madeira é compacta, elástica e pesada (BRAGA, 2001), e segundo Gomes (1999) possui boa textura, grã direita; que é o tipo de grã que é apreciada por proporcionar uma maior resistência mecânica, ser de fácil desdobro e processamento e minimizar deformações indesejáveis por ocasião da secagem da madeira; boa durabilidade natural e apresenta estabilidade dimensional, sendo madeira de boa qualidade para carpintaria e marcenaria, sendo empregada para confecção de móveis rústicos, dormentes, postes, mourões (BRAGA, 2001).

Segundo Gomes *et al.* (2007) a escolha da madeira de uma determinada espécie lenhosa para um determinado uso só poderá ser feita, atrelada a economia e segurança, quando se possuir características ou parâmetros que demonstrem seu comportamento, tanto do ponto

de vista físico, quanto mecânico. O mesmo afirma ainda que um dos motivos responsáveis pelo atraso na indústria madeireira é o desconhecimento das características próprias de sua matéria-prima. O relato é bem verdadeiro, pois existem inúmeras espécies das quais pouco se conhece, em termos de características tecnológicas, e um exemplo bem claro seria a algarobeira (GOMES, 1999).

Sendo assim, sabendo-se que o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é o fator diferencial para sua correta utilização, esse trabalho tem como objetivo determinar as propriedades mecânicas da madeira de algaroba (*prosopis juliflora* (Sw.) DC.), natural da região de Sertânia – PE, para o seu uso como elemento estrutural. Também foi elaborado um estudo referente aos elementos comprimidos, que geralmente são os pilares de madeira, quanto a coluna perfeita de Euler, pois existem parâmetros que podem influenciar diretamente o dimensionamento de tais peças.

### **1.1. OBJETIVO GERAL**

Realizar testes de resistência mecânica e analisar o desempenho da madeira algaroba (*prosopis juliflora* (Sw.) DC.), com o intuito de validar o uso da mesma como elemento estrutural.

#### **1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar os valores de resistência à compressão, tração, cisalhamento e flexão para a algaroba originária da cidade de Sertânia-PE;
- Comparar as propriedades mecânicas da algaroba com as propriedades das madeiras mais usuais como elemento estrutural na região, como o jatobá e a maçaranduba;
- Classificar a algaroba com relação as classes de resistência das madeiras;
- Elaborar um modelo teórico-experimental que seja mais próximo do comportamento real da curva resistência x índice de esbeltez.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS MADEIRAS

#### 2.1.1. CONSTITUIÇÃO MACRO E MICROSCÓPICA DA MADEIRA

A madeira é um material extremamente heterogêneo e devido à orientação de suas células também é um material anisotrópico, ou seja, é um elemento formado por células de diversos tipos morfológicos e apresenta diferentes propriedades físicas segundo três direções principais conforme é mostrado na Figura 1: longitudinal, radial e tangencial. É importante salientar que as diferenças entre as três propriedades citadas acima raramente têm importância prática, bastando simplesmente diferenciar as propriedades na direção das fibras principais, que seriam a direção longitudinal e a perpendicular às mesmas fibras (GOMES, 1999).

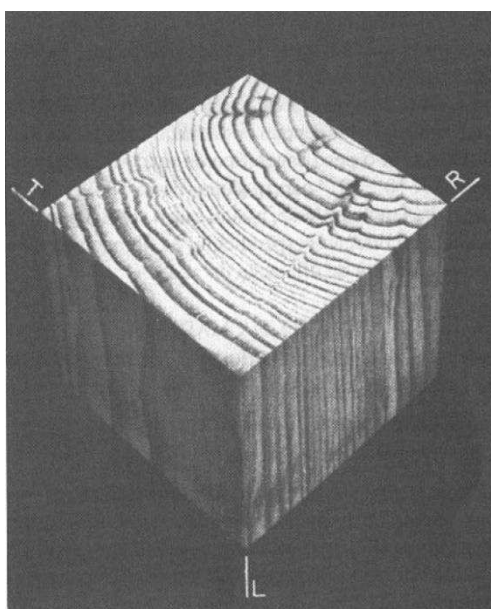


Figura 1 – Peça de madeira serrada mostrando as direções longitudinal (L), radial (R) e tangencial (T) (PFEIL e PFEIL, 2003).

As árvores, como um todo, estão inseridas em dois grandes grupos botânicos: as Angiospérmicas e as Gimnospérmicas.

No grupo das Gimnospérmicas destacam-se as coníferas, que também são conhecidas por madeiras brandas e são caracterizadas por folhas em forma de agulhas ou escamas, com frutos em forma de cone e muitas vezes com escamas lenhosas. Quanto a utilização na construção essas madeiras são conhecidas como maciças e são exemplos o pinheiro-do-paraná, pinheiros europeus, norte-americanos entre outros. Já o grupo das Angiospérmicas, é dividido em monocotiledôneas e dicotiledôneas. Porém as únicas de madeira com estrutura lenhosa são as dicotiledôneas, e são caracterizadas por folhas achatadas e largas, flores com pétalas e frutos

de grande diversidade de forma, textura e cor. Quanto a utilização na construção essas madeiras são conhecidas como duras ou também madeira de lei e tem como exemplo a peroba, o ipê, a aroeira dentre outras (PFEIL e PFEIL, 2003; FRANCO, 2008).

Uma árvore é composta por raiz, caule e copa. A raiz tem como função dar suporte a árvore no solo e a finalidade de retirar do solo os nutrientes necessários para o total desenvolvimento da mesma. O Caule tem por função, além de sustentar a copa, a condução por capilaridade da seiva bruta, da raiz até a folhas, e da seiva elaborada, das folhas ao lenho em crescimento. O Caule pode ser dividido em casca, albarno ou câmbio, cerne ou durâmen e medula, sendo a classificação feita no sentido externo-interno, como é representado na Figura 2 .

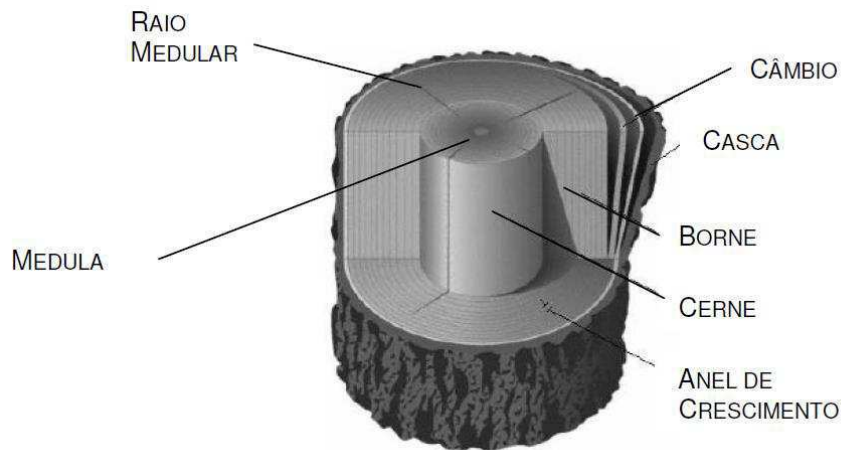


Figura 2 – Seção transversal de um tronco, mostrando as camadas (FRANCO, 2008).

Na Tabela 1 são mostradas as funções das camadas da seção transversal de um tronco de madeira.

Tabela 1 – Camadas da seção transversal de um caule ou tronco de madeira, com suas respectivas funções.

<b>Casca</b>	Tem como função a proteção externa da árvore e é formada por uma camada externa morta, de espessura variável com a idade e as espécies, e uma fina camada de interna devida a tecido vivo e macio, que conduz a seiva elaborada.
<b>Alburno ou câmbio</b>	É uma camada formada por células vivas que conduzem a seiva bruta. Apresenta na sua constituição células em transformação contínua e permanente. Sua espessura é variável e conforme espécies, porém geralmente varia entre 3 e 5 cm.
<b>Cerne ou durâmen</b>	As células do alburno, após o crescimento, tornam-se inativas e passam a constituir o cerne. Possui coloração mais escura e maior densidade, compactidade, resistência mecânica e durabilidade
<b>Medula</b>	É o conteúdo central do caule e formada por um tecido macio, em torno do qual se verifica o primeiro crescimento da madeira, nos novos ramos. Não apresenta resistência mecânica e durabilidade, e sua presença em peças serradas constitui um defeito

Fonte: Adaptado (PFEIL e PFEIL, 2003; FRANCO, 2008).

Cada um dos elementos celulares presentes na madeira, denominados também de fibras, são como tubos de parede finas alinhados na direção axial do caule e conectados entre si. As fibras na direção longitudinal possuem diâmetro variando de 10 a 80 microns, já o comprimento pode variar de 1 a 8 milímetros e a espessura das paredes da célula possui 2 e podendo chegar a 7 microns, conforme mostrado na Figura 3.

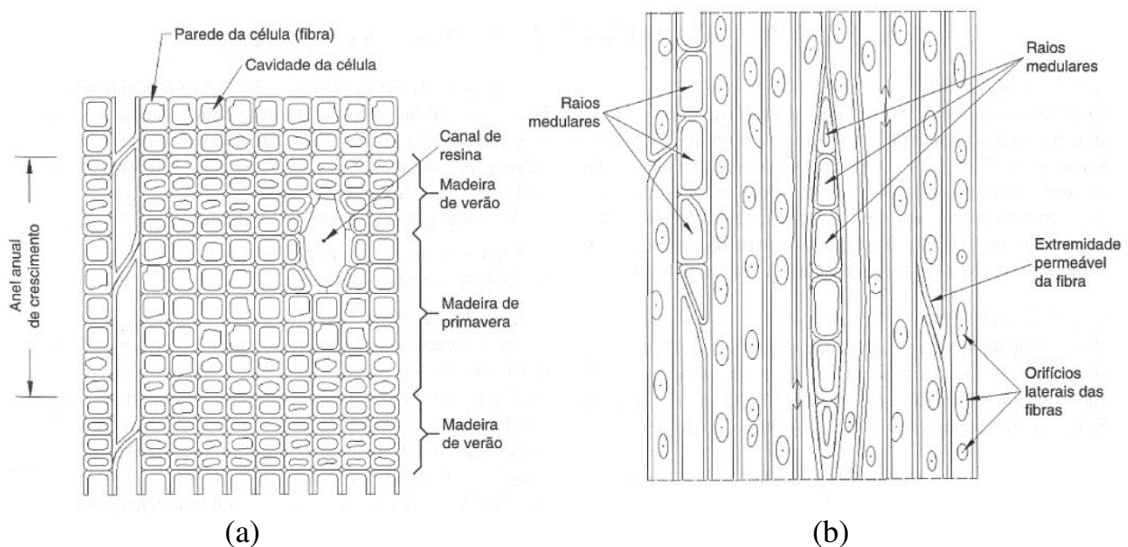


Figura 3 – Seção ampliada do tecido celular de árvores coníferas: seção transversal (a); seção tangencial (b) (PFEIL e PFEIL, 2003).



Nas madeiras macias de construção em torno de 90% do seu volume é composto de fibras longitudinais, estas fibras são o elemento portante das árvores e também tem como função conduzir a seiva por tensão superficial e capilaridade através dos canais formados pelas cadeias de células. Essas fibras possuem extremidades permeáveis e perfurações lateral que permitem a passagem de fluidos (Figura 3 (b)). Já nas madeiras maciças de construção as fibras longitudinais são fechadas nas extremidades, ou seja, a seiva circula em outras células de grande diâmetro com extremidade aberta denominadas de vasos ou canais. Portanto, em madeiras maciças as fibras possuem apenas a função de elemento portante (PFEIL e PFEIL, 2003).

As árvores têm em sua composição, além das fibras longitudinais, o parênquima que é um tecido de baixa resistência e é formado por grupos celulares espalhados, cuja função consiste em armazenar e distribuir alimentos. Nas madeiras maciças o parênquima é orientado transversalmente do centro do caule em direção a periferia formando os raios medulares, já nas madeiras duras o parênquima se distribuir transversal e longitudinalmente. A representação das seções transversais típicas de madeiras está apresentada na Figura 4.

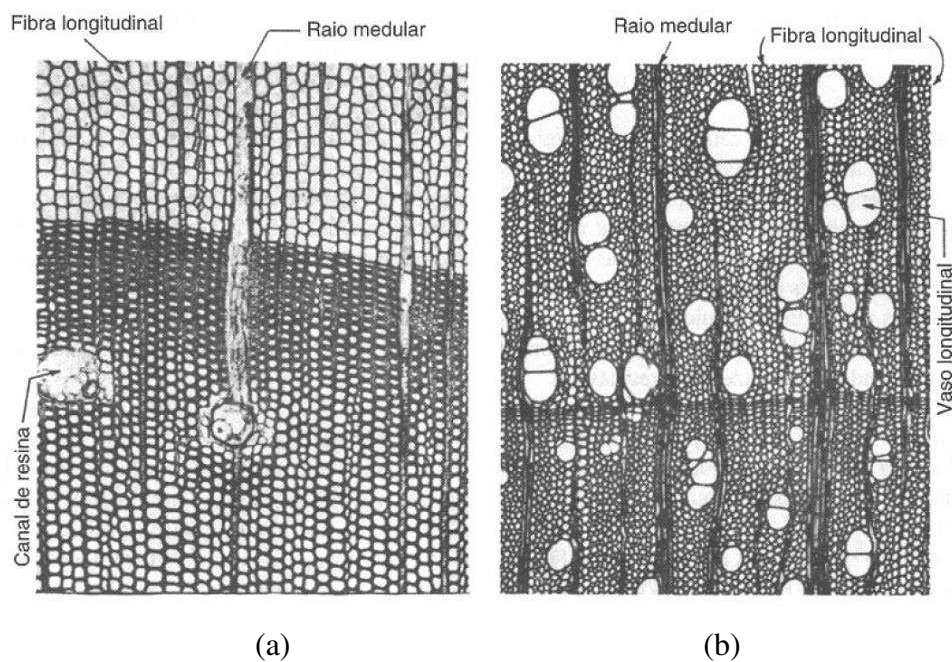


Figura 4 – Seções transversais típicas de madeiras: duras (a); maciças (b) (PFEIL e PFEIL, 2003).

No nível molecular as células da madeira podem distinguir-se quimicamente quatro ou 5 substâncias, cada uma delas com suas respectivas funções, as mesmas são apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 – Composição das células da madeira

<b>Celulose (40-50%)</b>	Polímero com elevada resistência mecânica, e responsável pela higroscopicidade da madeira;
<b>Hemicelulose (20-30%)</b>	Garante a função de união entre as fibras de celulose, sem influenciar a sua dureza e/ou características mecânicas;
<b>Lignina (20-30%)</b>	Contribui também para a integridade estrutural das fibras de celulose, e para a rigidez e resistência da madeira à compressão e ao corte;
<b>Outras substâncias (5-7%)</b>	Tal como as resinas, os taninos, os trementinos, as ceras e outras substâncias tais como proteínas e pectinas.

Fonte: Adaptado (YOUNG *et al.*, 1998; OBE, 2002; FRANCO, 2008)

## 2.1.2. PROPRIEDADES E DEFEITOS QUE TEM INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA DA MADEIRA

### 2.1.2.1. UMIDADE

A umidade da madeira é de grande influência para as suas propriedades. Segundo Franco (2008) a madeira é constituída por fibras de paredes celulósicas hidrófilas, pelo que o grau de humidade determina profundas alterações nas propriedades dos materiais. A resistência será máxima quando estiver completamente seca, e apresentará o valor mais reduzido quando completamente saturada. O grau de umidade pode ser definido como sendo a o peso de água contido na madeira e é expresso na forma de percentagem do peso da madeira seca. O grau de umidade pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$U(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde  $P_u$  e  $P_s$  são os pesos das amostras úmidas e secas, respectivamente.

### 2.1.2.2. RETRAÇÃO DA MADEIRA

A retração ou inchamento é um fenómeno que ocorre nas madeiras quando a sua umidade varia entre 0% e o ponto de saturação das fibras segundo Moreschi (2010) o ponto de saturação das fibras pode ser definido como sendo o teor de umidade da madeira no momento em que está já perdeu toda a sua água livre, porém ainda mantém as paredes celulares saturadas de umidade, variando de 28 a 30%), sendo que a variação dimensional é aproximadamente linear. Esse fenómeno é mais importante para a direção tangencial (Figura 1), pois havendo a variação na umidade a retração tangencial varia de 5 a 10% da direção verde. Já as direções longitudinal e radial esse fenómeno é menos relevante, pois a retração das mesmas varia de 0,1

a 0,3% da direção verde e metade da retração tangencial, respectivamente (PFEIL e PFEIL, 2003).

### 2.1.2.3. DETERIORAÇÃO DA MADEIRA

Existem diversas espécies de madeira sujeitas à deterioração por diversas origens e dentre essas as que mais se destacam são o ataque biológico e a ação do fogo. Segundo Calil Júnior e Dias (1997) os fungos apodrecedores; Basídio, Micetos, Podridão e Mole; os fungos machadores; Azulão; os insetos; Besouros e Cupins; e os furadores marinhos são exemplos de agentes biológicos que se instalam na madeira para se alimentar de seu produtos.

A vulnerabilidade das madeiras de construção ao ataque biológico depende principalmente dos aspectos enumerados na Tabela 3:

Tabela 3 – Aspectos a considerar quanto a vulnerabilidade das madeiras de construção

<b>Localização da peça no lenho</b>	Há alterações notáveis do tecido lenhoso e da massa volúmica, conforme as diferentes zonas do lenho de onde as peças foram retiradas (cerne, borne, próximo das raízes ou próximo da copa);
<b>Espécie botânica</b>	A estrutura anatômica e a constituição do tecido lenhoso, primeiros responsáveis pelo comportamento físico-mecânico do material, variam de espécie para espécie lenhosa;
<b>Condições ambientais</b>	As condições ambientais são caracterizadas pelos ciclos de reumidificação, pelo contato com o solo, com água doce ou salgada.

Fonte: Adaptado (GOMES, 1999; PFEIL e PFEIL, 2003; FRANCO, 2008).

## 2.2. PRINCIPAIS ESPÉCIES DE MADEIRA DA CAATINGA

### 2.2.1. ANGICO (*ANADENANTHERA COLUBRINA* VAR. *CEBIL*)

O angico é uma árvore de caule mais ou menos tortuoso e mediano, de casca grossa, muito rugosa, fendida e avermelhada. Folhas bipinadas, com 10-25 jugas e cada uma 20-80 pares de folíolos falcado-lineares, rígidos. Flores alvas em capítulos globosos, auxiliares. Vagem achatada grande, de até 32 cm de comprimento. É de ocorrência comum em todo o Nordeste, mas também pode ser encontrada no Sudeste e no Centro do Brasil.



Figura 5 – Angico (*anadenanthera colubrina* var. *cebil*).

### 2.2.2. JUREMA-PRETA (*MIMOSA TENUIFLORA*)

Árvore com cerca de 5-7 m de altura, com acúleos esparsos. Caule ereto ou levemente inclinado, casca de cor castanha muito escura, às vezes acinzentada, grosseira, rugosa, fendida longitudinalmente, entrecasca vermelho-escura. Ramificação abundante e, em indivíduos normais, de crescimento sem perturbação, acima da meia-altura. Ramos castanho-avermelhados, esparsamente aculeados. Folhas compostas, alternas, bipinadas, com 4-7 pares de pinas de 2-4 cm de comprimento. Cada pina contém 15-33 pares de folíolos brilhantes, de 5-6 mm de comprimento. Flores alvas muito pequenas, dispostas em espigas isoladas, de 4-8 cm de comprimento. O fruto é uma vagem pequena, tardiamente deiscente, de 2,5 a 5 cm de comprimento, de casca muito fina e quebradiça quando maduro. Contém 4-6 sementes pequenas (3-4 mm), ovais, achatadas, de cor castanho-claro. A madeira tem albúrneo castanho-avermelhado-escuro e cerne amarelado, é muito pesada (densidade 1,12 g/cm<sup>3</sup>), de textura média, grã direita, de alta resistência mecânica e grande durabilidade natural. A planta tem raiz pivotante e raízes superficiais, embora menos do que outras plantas da caatinga. Ocorre nos estados Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, na caatinga e no carrasco. Ocorre também no México.





Figura 6 – Jurema-preta (*mimosa tenuiflora*).

### 2.2.3. ALGAROBA (*PROSOPIS JULIFLORA*)

A Algaroba ou *P. juliflora* é uma árvore pertencente à família das leguminosas e que faz parte do gênero *Prosopis*, do qual é notório o conhecimento de mais de 40 espécies distribuídas pelos continentes americano, africano e australiano. Dentre os continentes citados é encontrada com maior facilidade no americano, ocorrendo em regiões relativamente mais secas desde os Estados Unidos até a Argentina. Na América do Sul podem ser encontradas cerca de 70 % das espécies pertencentes ao gênero, das quais 93% são nativas da Argentina (PIRES e KAGEYAMA, 1985; RIBASKI *et al.*, 2009).

A *P. juliflora* é de ocorrência natural em toda a América central como também no norte da América do Sul, nas regiões da Colômbia, Equador, Peru e Venezuela. No Brasil a sua presença é mais marcante na região Nordeste, dando-se início ao seu cultivo no ano de 1942 na cidade de Serra Talhada, localizada do sertão do estado de Pernambuco, sendo as sementes de origem da cidade peruana Piura (RIBASKI *et al.*, 2009).



Figura 7 – Algaroba (*prosopis juliflora*).

Geralmente a *P. juliflora* pode atingir cerca de 18 metros de altura, a mesma possui tronco curto ou tortuoso que pode chegar a atingir 8 m de comprimento e diâmetro variando de 0,4 a 0,8 metros (Gomes et al., 2007). Suas folhas (Figura 8 (a)) são bipinadas, sendo incomuns os pares de pinas opostas, com folíolos pequenos e oblongos. Seus frutos (Figura 8 (b)) são achatados, indeiscente, de endocarpo dividido em compartimentos contendo uma semente em cada, mesocarpo carnudo e adocicado, multisseminado e encurvado. Suas flores (Figura 8 (c)) são pequenas, actinomorfas, hermafroditas, de coloração branco esverdeada, tornando-se amarela com a idade (BRAGA, 2001; RIBASKI *et al.*, 2009).

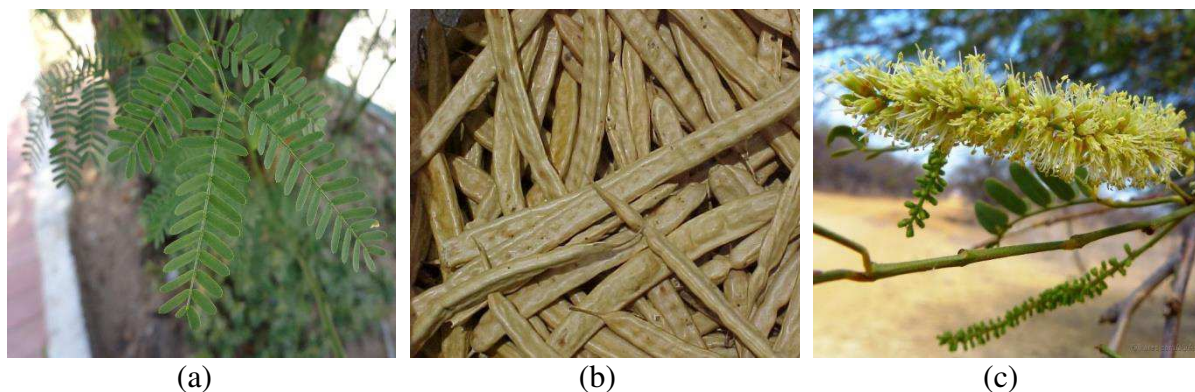


Figura 8 – Folha (a), fruto (b) e flor da *P. Juliflora* (c).

### 2.3. REGIÃO NORDESTE BRASILEIRA

A região nordeste do Brasil é constituída por certos contrastes naturais, onde o seu litoral, que é banhado pelo oceano Atlântico, tem um enorme potencial econômico, pois devido as suas belezas incomensuráveis o mesmo atrai diversos turistas de todo o mundo, e a parte interiorana dos estados que compõe a região, que retratam o sofrimento da população do sertão, agreste e Seridó.

Como é de conhecimento comum, o nordeste brasileiro é composto por nove estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Sergipe e Rio Grande do Norte. Sua área é de aproximadamente 1.600.000 km<sup>2</sup> (Figura 9).



Figura 9 – Mapa da região nordeste brasileira.

Em torno de 800.000 a 1.000.000 km<sup>2</sup> são ocupados por uma vegetação denominada caatinga. Esta área dispõe de expressivas espécies nativas, que vem utilizadas de modo aleatório, sem preocupação com o seu potencial e com o uso das terras. A caatinga é composta de vegetação xerófila (área seca), localizada geralmente no interior do Nordeste, e ocupando 56 % da região. A mesma ainda pode ser caracterizada como sendo uma vegetação de baixa produtividade de madeira e pequena diversidade de espécies quando comparada a floresta tropical úmida (PIRES e KAGEYAMA, 1985). Dentre essas espécies se destacam: o angico (*Anadenanthera colubrina var. cebil*), a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) e a algaroba (*Prosopis juliflora*) (GOMES *et al.*, 2007).

Como já foi destacado por Ab'sáber (1999), o conhecimento adequado do complexo geográfico e social do sertão seco e do semiárido, fixar os atributos, as limitações e as capacidades dos seus espaços é um exercício de brasilidade em busca de soluções para uma das regiões socialmente dramáticas das Américas. Na realidade, a fisiologia e a ecologia da região não são causas efetivas das condições sociais de seus moradores. A seca já é um empecilho menor para o desenvolvimento da região Nordeste. A realidade atual é que, por si só, a região do Nordeste seco possui 700 mil km<sup>2</sup>, com aproximadamente 24 milhões de brasileiros, onde cerca de 4 milhões são camponeses sem terra, sem condições de crescer.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAIS

Os corpos de prova de *P. juliflora* confeccionados para a presente pesquisa foram preparados de acordo com as recomendações para preparação de amostras da NBR 7190 (ABNT, 1997) . Estes corpos de prova foram submetidos os ensaios umidade, compressão paralela e normal as fibras, tração paralela as fibras, cisalhamento paralelo as fibras e flexão. Também foi avaliado o efeito da coluna de Euler para as amostras.

Destaca-se que as peças de madeira previamente selecionadas em função de sua não presença de anomalias, tais como: presença de nós; regiões de alburno; defeitos de formação; presença de regiões de medula ou de má formação com bolsões de resina; dentre outras irregularidades.

Os corpos de prova foram ensaiados em uma prensa da marca Cyber-Tronic, modelo YIMC109, com capacidade de 150 toneladas, pertencente ao departamento de Engenharia Civil, localizada do bloco BK, no campus sede, na cidade de Campina Grande.



Figura 10 – Prensa Cyber-Tronic, modelo YIMC109, utilizada nos ensaios.

##### 3.1.1. ORIGEM DA MADEIRA PARA OS ENSAIOS

O estudo foi feito a partir de um povoamento de *P. Juliflora* localizado na zona rural do município de Sertânia, no interior estado de Pernambuco, com Latitude: 08° 04' 25" S e Longitude: 37° 15' 52" W e de altitude local 558 metros acima do nível do mar, pertencente a mesorregião do sertão pernambucano. O clima da cidade é o Semiárido, do tipo BSh, que é caracterizado por escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição. Com chuvas de outono-inverno. O verão é chuvoso e quente, com máximas entre 32 °C e 37 °C, e mínimas



entre 18 °C e 22 °C. O inverno é seco e ameno, com máximas entre 25 °C e 29 °C, e mínimas entre 10 °C e 16 °C (ALMEIDA, 2018).

Ainda de acordo com Almeida (2018) o solo da área está classificado como luvisolos.



Figura 11 – Mapa de Pernambuco destacando o município de Sertânia.

## 3.2. MÉTODOS

### 3.2.1. TEOR DE UMIDADE

Devido à grande influência da umidade nas propriedades da madeira, foi elaborado um ensaio de umidade, onde utilizou-se 4 corpos de prova. As massas dos corpos de prova foram determinadas a partir de uma balança com precisão de 0,01g, obtendo-se assim a massa úmida, logo após os mesmos foram colocados em uma estufa com circulação de ar, a temperatura regulada de  $103 \pm 2^\circ \text{C}$  durante 1 dia (24 horas). Por fim, posteriormente à secagem os corpos de prova foram pesados novamente, atribuindo-se a esse valor a massa seca da amostra. A percentagem de água presente nas amostras foi calculada utilizando a Equação 1.

### 3.2.2. COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Foram utilizados 5 corpos de prova com dimensões 5 cm x 5 cm x 15 cm, conforme apresentado na Figura 12, e com o auxílio de extensômetros mecânicos foram realizadas medições da variação dos comprimentos das amostras sobre uma base, anteriormente definida. A tensão de ruptura ou resistência à compressão simples foi calculada utilizando a seguinte equação, clássica da resistência dos materiais:

$$F_c = \frac{N_u}{A} \quad (2)$$

Onde  $N_u$  é a carga de ruptura e  $A$  é a seção transversal do corpo de prova.



Figura 12 – Corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão paralela, cisalhamento e coluna perfeita de Euler.

### 3.2.3. *TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS*

Foram utilizados 5 corpos de prova com dimensões nominais de 5 cm x 5 cm x 35 cm, porém os mesmos foram torneados com dimensões menores na região central para garantir que a ruptura se dê no entorno. Sendo assim, no centro os corpos de prova foram preparados com um diâmetro de 20 cm, como mostrado na Figura 13 abaixo.



Figura 13 – Corpo de prova utilizado no ensaio de tração paralela.

### 3.2.4. *CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS*

Foram utilizados 5 corpos de prova com dimensões 5 cm x 5 cm x 6,4 cm e um recorte de 2 cm x 1,4 cm x 5 cm, conforme mostrado na Figura 12. A carga é aplicada de modo a cisalhar uma seção de 5 cm x 5 cm. A resistência ao cisalhamento é calculada por meio da Equação 2.

### 3.2.5. FLEXÃO

Foram utilizados 5 corpos de prova com dimensões de 5 cm x 5 cm x 115 cm, conforme apresentado Figura 14, e para a realização do ensaio foi aplicada uma carga concentrada no meio do vão, que possui 105 cm de comprimento. Foram utilizados transdutores de deslocamentos para medir as flechas no meio do vão. A resistência a flexão foi calculada por outra fórmula clássica da resistência dos materiais, apresentada na seguinte equação:

$$F_M = \frac{M_u}{W} \quad (3)$$

Onde  $M_u$  é o momento de ruptura e  $W$  é o módulo resistente da seção.



Figura 14 – Corpo de prova utilizado no ensaio de flexão.

### 3.2.6. COLUNA PERFEITA DE EULER

O ensaio em si é uma variação do ensaio de compressão paralela às fibras, onde foram utilizados corpos de prova de seção quadrada com 5 cm x 5 cm e comprimento variável. Foi aplicada uma carga perpendicular aos corpos de prova e por meio de transdutores de deslocamentos as flechas centrais foram medidas. A tensão nominal última foi obtida a partir da Equação 2.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. TEOR DE UMIDADE

Na Tabela 4 estão apresentados os valores para as massas referentes as leituras das amostras da algaroba utilizados para o cálculo do teor de umidade em base seca.

Tabela 4 – Valores referentes ao ensaio de teor de umidade

Amostra	Massa Úmida (kg)	Massa Seca (kg)	Umidade (%)
1	1,615	1,475	9,49%
2	1,665	1,530	8,82%
3	1,875	1,720	9,01%
4	1,525	1,395	9,32%
<b>Média</b>		<b><math>\sigma_s</math></b>	
9,16%		0,30%	

O valor do teor de umidade médio reflete muito o ambiente no qual as amostras estão inseridas, principalmente levando em conta que a região é uma das mais secas do país. A baixa umidade média (9,16%) pode refletir no valor característico da madeira, pois amostras mais úmidas tendem a ter um acréscimo de resistência à tração e um decréscimo à compressão, relação inversa ao que se encontra com amostras mais secas.

### 4.2. COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Na Tabela 5 estão apresentados os valores para os resultados de carga, tensão e tensão corrigida, para o teor de umidade de 12%, para o ensaio de compressão paralela às fibras da algaroba.

Tabela 5 – Valores referentes ao ensaio de compressão paralela às fibras.

Amostra	Carga (kg)	Tensão (Mpa)	Tensão Corrigida (Mpa)
1	25600	100,392	91,843
2	25000	98,039	89,690
3	25100	100,440	91,887
4	24400	99,592	91,111
5	23800	97,143	88,870
<b><math>f_{cm}</math> (MPa)</b>	<b><math>\sigma_{sm}</math></b>	<b><math>f_{cm12\%}</math> (MPa)</b>	<b><math>\sigma_{sm12\%}</math></b>
99,121	1,471	90,680	1,346

Segundo Dinwoodie (1981) as deformações de compressão assumem a forma de dobras diminutas na estrutura microfibrilar da madeira conduzindo eventualmente a uma flambagem lateral das paredes das células. Quando as tensões impostas ao material aumentam, e por consequência aumentam as deformações, as dobras se tornam proeminentes e aumentam numericamente, à ruptura. Estas dobras são visíveis e estão apresentadas na Figura 15.

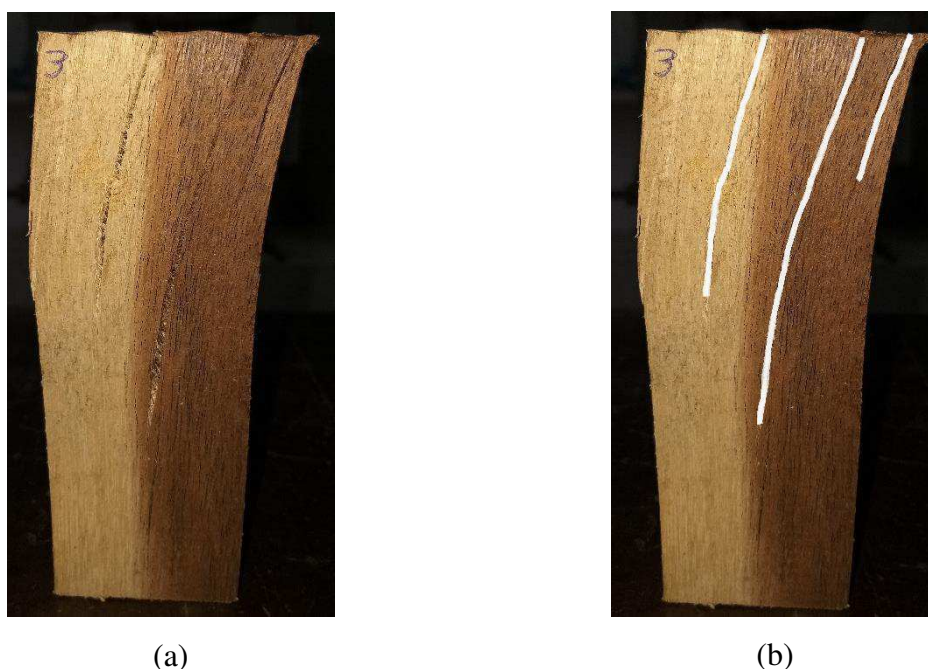


Figura 15 – Ruptura dos corpos de prova no ensaio de resistência a compressão paralela às fibras: (a) Linhas de ruptura, (b) Realce das linhas de ruptura.

A ruptura em compressão é um processo lento de plastificação em que ocorrem mudanças estruturais progressivas na madeira, pois sob compressão axial as células que compõe as fibras atuam como tubos de paredes finas paralelos e colados entre si. Segundo Dinwoodie (1981) embora as mudanças estruturais já se manifestem em tensões tão baixas quanto 25% da tensão de ruptura, as mudanças mais marcantes ocorrem a partir de aproximadamente de 60% da tensão de ruptura, que marca o fim do trecho linear-elástico da curva tensão deformação. Segundo Wangaard (1979), o colapso do material está diretamente relacionado com o material ligante e a flambagem das células.

Nos estudos realizados por Pereira *et al.* (1976), Gomes *et al.* (2007) e Cunha (2012) para a determinação da resistência a compressão paralela às fibras da algaroba, o valor médio obtido ajustado para a umidade de 12% foi de 93,77, 86,60 e 74,5 MPa, respectivamente. De maneira comparativa o valor médio encontrado nesse estudo (90,68 MPa) varia de 3,3%, 4,7% e 21,7% respectivamente.

Em comparação com os tipos madeiras mais utilizados na região, o jatobá e a maçaranduba, a algaroba apresentou valores inferiores apenas em relação ao jatobá e com uma diferença de 2,8%. Quando a maçaranduba, a algaroba apresentou valores superiores, com uma diferença de cerca de 9,4 %.

Tabela 6 – Comparação entre resistência a compressão paralela às fibras do jatobá, da algaroba e da maçaranduba

Nome comum	Nome científico	$f_{cm12\%}$ (MPa)
Jatobá	Hymenaea ssp.	93,30
Algaroba*	Prosopis juliflora	90,68
Maçaranduba	Manikara ssp.	82,90

Fonte: (PFEIL e PFEIL, 2003)

\* Presente estudo

#### 4.3. TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Na Tabela 7 estão apresentados os valores para os resultados de carga, tensão e tensão corrigida, para o teor de umidade de 12%, para o ensaio de tração paralela às fibras da algaroba.

Tabela 7 – Valores referentes ao ensaio de tração paralela às fibras.

Amostra	Carga (kg)	Tensão (Mpa)	Tensão Corrigida (Mpa)
1	4300	124,148	113,576
2	2500	72,179	66,033
3	3500	111,408	101,921
4	2800	80,841	73,956
$f_{tm}$ (MPa)	$\sigma_{sm}$	$f_{tm12\%}$ (MPa)	$\sigma_{sm12\%}$
97,144	24,642	88,872	22,544

A resistência à tração paralela às fibras da algaroba foi cerca de 98% da observada no ensaio de compressão, resultado bem abaixo do esperado. Nos ensaios realizados com jatobá e maçaranduba (CALIL JÚNIOR *et al.*, 2000), obtiveram-se relações de 1,69 e 1,67, respectivamente, ou seja, valores aproximadamente 70% maiores que os encontrados para resistência a compressão, e este comportamento pode ser explicado em termos da microestrutura da madeira, considerando-se que as tensões de tração atuantes tendem a se alongar.





Figura 16 – Corpo de prova para o ensaio de tração pós rompimento.

O principal fator relacionável à baixa resistência encontrada nas amostras seria a umidade, pois as fibras encontravam-se mais ressecadas e por consequência mais frágeis. Outro fator relevante seria o processo de preparo do corpo de prova, que como mostrado na Figura 13, passou por um processo de usinagem para tomar tal forma e esse processo pode no fim ter prejudicado a amostra.

Pode-se ter uma ideia do baixo valor encontrado para a resistência a tração da algaroba quando se compara com os valores do jatobá e da maçaranduba. Estes valores estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação entre resistência a tração paralela às fibras do jatobá, da algaroba e da maçaranduba.

Nome comum	Nome científico	$f_{cm12\%}$ (MPa)
Jatobá	Hymenaea ssp.	157,50
Maçaranduba	Manikara ssp.	138,50
Algaroba*	Prosopis juliflora	88,87

Fonte: (PFEIL e PFEIL, 2003)

\* Presente estudo

#### **4.4. CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS**

Na Tabela 9 estão apresentados os valores para os resultados de carga, tensão e tensão corrigida, para o teor de umidade de 12%, para o ensaio de cisalhamento paralelo às fibras da algaroba.

Tabela 9 – Valores referentes ao ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.

Amostra	Carga (kg)	Tensão (Mpa)	Tensão Corrigida (Mpa)
1	9200	36,800	33,666
2	10000	40,000	36,594
3	8400	33,613	30,751
4	4700	18,431	16,862
5	10200	40,800	37,326
$f_{vm}$ (MPa)	$\sigma_{vm}$	$f_{vm12\%}$ (MPa)	$\sigma_{vm12\%}$
33,929	9,118	31,040	8,342

O valor médio da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de algaroba no presente estudo foi de 31,04 MPa, com um desvio de 8,34 MPa. Pereira *et al.* (1976), Gomes *et al.* (2007) e Cunha (2012) encontraram os valores médios de 24,99, 25,75 e 21,90 MPa, respectivamente. De maneira comparativa o valor médio encontrado nesse estudo (31,04 MPa) varia de 24,2, 20,5 e 41,7% respectivamente.



Figura 17 – Corpo de prova para o ensaio de cisalhamento pós rompimento.

A algaroba ainda apresentou valor superior ao das madeiras tradicionais utilizadas em construções na região, como o jatobá e a maçaranduba. Os valores da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras estão apresentados na Tabela 10.



Tabela 10 – Comparação entre resistência ao cisalhamento paralelo às fibras do jatobá, da algaroba e da maçaranduba.

Nome comum	Nome científico	$f_{cm12\%}$ (MPa)
Algaroba*	Prosopis juliflora	31,04
Jatobá	Hymenaea ssp.	15,70
Maçaranduba	Manikara ssp.	14,90

Fonte: (PFEIL e PFEIL, 2003)

\* Presente estudo

#### 4.5. FLEXÃO

Na Tabela 11 estão apresentados os valores para os resultados de carga, tensão e tensão corrigida, para o teor de umidade de 12%, para o ensaio de flexão da algaroba.

Tabela 11 – Valores referentes ao ensaio de flexão.

Amostra	Carga (kg)	Tensão (Mpa)	Tensão Corrigida (Mpa)
1	1000	124,752	114,129
2	540	67,366	62,246
3	580	72,356	66,857
4	860	107,287	97,189
5	800	99,802	91,303
$f_m$ (MPa)	$\sigma_m$	$f_{m12\%}$ (MPa)	$\sigma_{m12\%}$
94,313	24,152	86,345	21,649

O valor da resistência média à flexão da algaroba foi relativamente baixo. Pfeil e Pfeil (2003) apresentam em seus estudos, realizados com diversos tipos de madeiras, uma relação entre a resistência à flexão e a tração paralela às fibras, que para valores normais ficam próximo de 1. Como se observou no ensaio de tração, a resistência média encontrada teve valor de 88,87 MPa, para 12% de umidade, valor que varia 2,8% do encontrado para a resistência a flexão, ou seja, a relação entre as resistências seria 1,03, valor muito próximo ao estabelecido pelo autor.



Figura 18 – Corpo de prova para o ensaio de flexão pós rompimento.

Em contrapartida o módulo de elasticidade à flexão encontrado foi muito além do esperado, chegando a um valor de 34,01 GPa em média. Para se ter uma ideia do valor exorbitante encontrado (59,37% maior que o Jatobá e 66,23% maior que a Maçaranduba) estão apresentados na Tabela 12, os valores para o módulo de elasticidade do jatobá e da maçaranduba.

Tabela 12 – Comparativo entre os módulos de elasticidade do jatobá, da algaroba e da maçaranduba.

Nome comum	Nome científico	$E_{m12\%}$ (MPa)
Algaroba*	Prosopis juliflora	34,01
Jatobá	Hymenaea ssp.	21,34
Maçaranduba	Manikara ssp.	20,46

Fonte: (PFEIL e PFEIL, 2003)

\* Presente estudo

#### **4.6. COLUNA PERFEITA DE EULER**

Na Figura 19 é apresentado uma curva teórica/experimental, baseada no modelo polinomial de 3° ordem inversa, que representa o comportamento das peças de algaroba submetidas a compressão quando é variado seu índice de esbeltez.

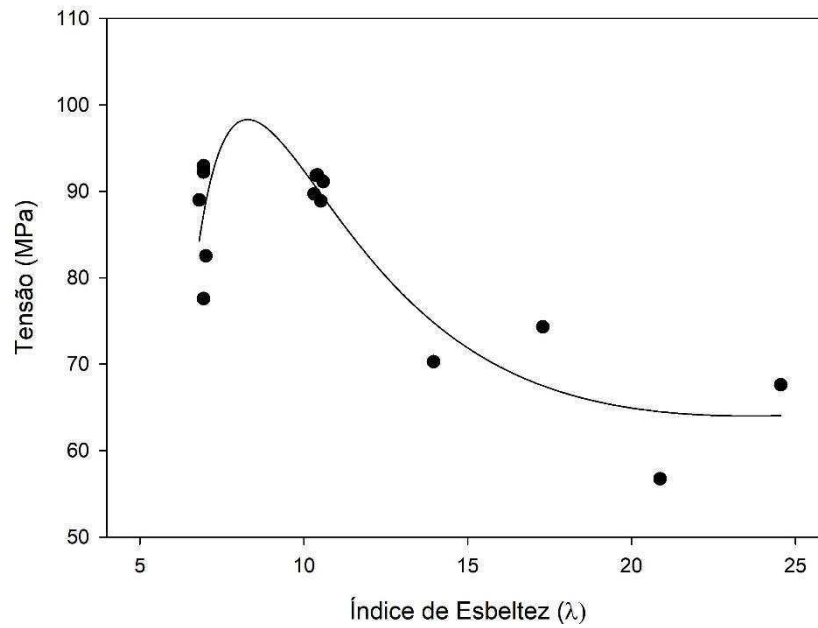


Figura 19 – Curva teórica experimental, gerada a partir dos ensaios, de uma coluna de algaroba.

O modelo escolhido foi o que se adequou aos dados experimentais, possuindo coeficiente de variação da ordem de 7,6% para  $y_0$ , 3,6% para “a”, 2,2% para “b” e 1,6% para “c”; o coeficiente  $R^2$  é da ordem de 0,79. A equação resultante é mostrada logo abaixo:

$$y = 104,79 - \frac{2184,13}{x} + \frac{34857,66}{x^2} - \frac{142562,23}{x^3} \quad (4)$$



Figura 20 - Corpo de prova para o ensaio de compressão pós rompimento.

O modelo gerado se adequa a colunas curtas, ou seja, peças que possuem índice de esbeltez menor que 40. Ainda é possível notar o comportamento já esperado da curva gerada, onde aumentando-se o índice de esbeltez se obtém um decréscimo de resistência.

Acredita-se que para colunas curtas o índice de esbeltez não seja muito determinante na resistência final da peça, devido ser usual adotar para tais peças o valor resistente à compressão do material, fato esse ao ser analisado pelo modelo gerado como sendo inconsistente. O modelo indica que existe um decréscimo de resistência final à compressão para todo tipo de coluna, inclusive as curtas.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram ensaiadas peças de algaroba com teor de umidade de aproximadamente 9,16 % e submetidas aos ensaios de compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento paralelo as fibras e flexão, sendo os valores encontrados, corrigidos para a umidade de 12%, de 90,68, 88,87, 31,04 e 86,35 MPa respectivamente. Portanto, no que se diz respeito às suas características tecnológicas, é de muito boa qualidade, equiparando-se às tradicionais e mais conceituadas madeiras de uso comum na construção civil, principalmente às mais usadas na região, como a maçaranduba e o jatobá.

O modelo teórico/experimental gerado para a relação resistência x índice de flambagem é importante para entender o comportamento de peças submetidas à compressão em seus diversos comprimentos. Por meio do mesmo já é possível analisar com uma maior precisão peças curtas de algaroba, onde possivelmente se gerará uma economia no dimensionamento de peças, como também uma maior segurança para o usuário final das peças projetadas. É necessário ressaltar a limitação do modelo, sendo o mesmo indicado somente para peças curtas.

Em função dos valores de resistência a compressão paralela às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, e módulo de elasticidade, a madeira de algaroba se aproxima muito daquelas classificadas como pertencentes à classe C60.

Essa ampla utilidade faz da algaroba uma madeira com grande potencial de transformação econômica das regiões áridas do Brasil. Para isso, é importante que existam mais projetos de financiamento agrícola e educacionais para incentivo a plantação e cultivo da algaroba, visto que ela possui um verdadeiro potencial estrutural que até hoje foi muito mal aproveitado.

Como contribuição para trabalhos futuros sugere-se um maior aprofundamento nos estudos relacionados à coluna perfeita de Euler para que se possa elaborar um modelo mais completo que possa ser aplicado em todo o intervalo de esbeltez das peças. Seria interessante também fazer um estudo com o custo para a produção das peças de algaroba trazendo uma comparação do custo das madeiras mais utilizadas na região.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Referências bibliográficas do Nordeste seco. **Estudos avançados**, v. 13, n. 36, p. 115-143, 1999.
- ALMEIDA, L. B. D. **Desenvolvimento do sorgo forrageiro em diferentes espaçamentos e adubações no sertão do moxotó**. 2018. 40 TCC (Trabalho de Conclusão de Curso). Departamento de Fitotecnia e Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- BRAGA, R. **Plantas do Nordeste: especialmente do Ceará**. 2ª Fundação Guimarães Duque, 2001. 975
- CALIL JÚNIOR, C.; DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p. 71-77, 1997.
- CUNHA, A. B. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E ENERGÉTICAS DA PARTE AÉREA E TRONCO DE ALGAROBA (*Prosopis juliflora*)**. 2012. 40. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília.
- DINWOODIE, J. M. Timber its nature and behaviour. Princes Risborough Laboratory. **Building Research Establishment. New York: Van Nostrand Reinhold Company Ltd.**, 1981. 190p.
- FRANCO, S. I. S. **Proposta de atribuição de propriedades mecânicas a elementos estruturais de madeira por inspeção visual in situ**. 2008. 159 Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- GOMES, J. J. **Características tecnológicas da algarobeira (*Prosopis juliflora* (SW.) DC): contribuição para seu uso racional**. 1999. 118 Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- GOMES, J. J.; TOLEDO FILHO, R.; NASCIMENTO, J.; SILVA, V.; NÓBREGA, M. Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e alternativas para o uso racional. **Revista Brasileira da Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 11, p. 537-542, 2007.
- LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W.; OHTO, J. M.; PALMA, H. A. L.; ESCOBAR, J. F. Classificação estrutural e qualidade da madeira do clone GT 1 de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 229-235, 2012.
- MORESCHI, J. C. Propriedades da madeira. **Curitiba: Universidade Federal do Paraná**, 2010.
- OBE, J. D. **Timber: its nature and behaviour**. CRC Press, 2002.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6a. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 241
- PIRES, I. E.; KAGEYAMA, P. Y. Caracterização da base genética de uma população de algaroba–*Prosopis Juliflora* (Sw) DC–existente na região de Soledade–PB. **Piracicaba: IPEF**, p. 29-36, 1985.

RIBASKI, J.; DRUMOND, M. A.; DE OLIVEIRA, V. R.; NASCIMENTO, C. D. S. Algaroba (*Prosopis juliflora*): árvore de uso múltiplo para a região semiárida brasileira. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2009.

SHIMOYAMA, V. R. D. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93 Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro.

YOUNG, J. F.; BENTUR, A.; MINDESS, S. **The science and technology of civil engineering materials.** 1998.