



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CLAIRE VIEIRA NEVES DE MELLO

**PROPRIEDADES FÍSICAS E CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE FIBRAS
DA MADEIRA DE *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub.**

Prof^a Dr^a Rosilei A. Garcia
Orientadora

Prof. Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca
Coorientador

Seropédica, RJ
Julho - 2013



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CLAIRE VIEIRA NEVES DE MELLO

**PROPRIEDADES FÍSICAS E CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE FIBRAS
DA MADEIRA DE *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenharia Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof^a Dr^a Rosilei A. Garcia
Orientadora

Prof. Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca
Coorientador

Seropédica, RJ
Julho-2013

**PROPRIEDADES FÍSICAS E CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE FIBRAS
DA MADEIRA DE *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub.**

CLAIRE VIEIRA NEVES DE MELLO

Comissão Examinadora

Monografia aprovada em 15 de julho de 2013.

Prof^a Dr^a Rosilei A. Garcia
UFRRJ/IF/DPF
Orientadora

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento
UFRRJ/IF/DPF
Membro

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
UFRRJ/IF/DPF
Membro

Prof^a Isabel Cristina Nogueira Alves de Melo
UFRRJ/IF/DPF
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por ter me sustentado, cuidado e amado. Não conseguiria nada se Ele não estivesse sempre ao meu lado me abençoando. À Ele todo louvor e toda glória!!!

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por ter me proporcionado o título de Engenheira Florestal e por me possibilitar momentos de alegria e aprendizagem.

Ao Programa de Iniciação Científica PROIC (DPPG/UFRRJ) pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de iniciação científica.

À minha orientadora Professora Rosilei A. Garcia pela orientação, pelos ensinamentos, pela atenção e por ter acreditado em mim.. Ao meu coorientador João Vicente Latorraca pelo apoio e atenção.

Aos pesquisadores Dr. John Weber e Dra Carmen Sotelo Montes do World Agroforestry Center - ICRAF/ West and Central Africa Regional Office - WCA (Bamako, Mali) por disponibilizar as amostras de madeira e possibilitar a realização deste estudo.

Aos meus pais, Celso Silva de Mello e Ana Maria Neves de Mello pelo apoio incondicional.

Ao meu noivo Raphael Corrêa dos Santos pelo seu amor, companheirismo e por estar sempre ao meu lado me ajudando a seguir em frente.

Aos meus amigos Pablo Vieira dos Santos, Danilo Reis Gonçalves, Luís Octávio Vieira Pereira, Raquel Oliveira dos Santos e Marcelly Alves da Silva, pelos momentos de alegria, aprendizagem e amizade.

RESUMO

Este trabalho originou-se de uma parceria estabelecida entre o Instituto de Florestas (UFRRJ) e o World Agroforestry Centre/ International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF) visando o estudo da madeira de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub., espécie nativa do Sahel Africano. Esta espécie é considerada de grande importância para a população africana devido ao seu uso múltiplo. Devido à intensa exploração e ao próprio processo de desertificação desencadeado na região saheliana torna-se necessário estudos visando o reflorestamento e o reestabelecimento dessas espécies na sua região de origem. Sendo assim, o objetivo principal deste estudo foi contribuir para um maior conhecimento sobre a estrutura anatômica da madeira de *Prosopis africana* a fim de indicar a melhor forma de utilização do material assim como prever e compreender seu comportamento tecnológico. Os objetivos específicos foram determinar as propriedades físicas (densidade aparente e variações dimensionais – contrações e inchamentos); caracterizar a anatomia e determinar as dimensões das fibras da madeira; e verificar as correlações existentes entre as variáveis estudadas. A caracterização anatômica e as dimensões das fibras (comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede) foram realizadas de acordo com as normas da IAWA Committee. A madeira de *Prosopis africana* apresentou uma densidade aparente de $0,727 \text{ g.cm}^{-3}$. A densidade da madeira teve uma correlação positiva com o comprimento de fibra e uma correlação negativa com a largura e o diâmetro do lume das fibras. A contração e o inchamento tangencial apresentaram uma correlação positiva com o comprimento de fibra.

Palavras-chave: anatomia da madeira, densidade da madeira, dimensões de fibras, *Prosopis africana*, Sahel, variações dimensionais.

ABSTRACT

This work originated from a partnership between the Institute of Forestry (UFRRJ) and the World Agroforestry Centre/ International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF) to study the *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. wood, native specie of the African Sahel. This species is considered of great importance for the African population because of its multiple uses. Due to intense exploitation and desertification process triggered in the Sahelian region, studies about the reforestation and re-establishment of these species in the region of origin becomes necessary. Therefore, the main objective of this study was to contribute to a better understanding of the anatomical structure of *Prosopis africana* wood in order to indicate the best way to use the material as well as to predict and understand their technological behavior. The specific objectives were to determine the physical properties (density and dimensional variations – shrinkage and swelling); to characterize the anatomy and determine the fiber dimensions of the wood; and to verify the relationship between the variables studied. The anatomical characterization and fiber dimensions (length, width, lumen diameter and wall thickness) were realized according to the IAWA Committee standard. The *Prosopis africana* wood had a density of 0,727 g.cm⁻³. Wood density had a positive correlation with fiber length and a negative correlation to fiber width and lumen diameter. Tangential shrinkage and swelling presented a positive correlation with fiber length.

Keywords: wood anatomy, wood density, fiber dimensions, *Prosopis africana*, Sahel, dimensional variations.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo geral.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
3.1. Características da espécie estudada.....	2
3.2. Anatomia da madeira.....	4
3.2.1. Importância do estudo anatômico da madeira.....	4
3.2.2. Anatomia de madeira das folhosas.....	4
3.2.3. Relação entre a anatomia e as propriedades físicas da madeira.....	7
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
4.1. Material.....	9
4.2. Determinação das propriedades físicas da madeira.....	10
4.2.1. Densidade aparente.....	10
4.2.2. Variações dimensionais.....	10
4.3. Análises anatômicas.....	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
5.1. Propriedades físicas.....	12
5.2. Análises anatômicas.....	12
5.2.1. Descrição anatômica.....	12
5.2.2. Dimensões das fibras.....	15
5.3. Correlação entre as propriedades físicas e as dimensões das fibras.....	17
6. CONCLUSÃO.....	18
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Distribuição natural do gênero *Prosopis* nos continentes (Fonte: SILVA, 1988)...2
- Figura 2. (A) Árvore de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. em região de ocorrência natural em Mali, África do Oeste (Foto: Carmen Sotelo). (B) Vagens (Fonte: www.westafricanplants.senckenberg.de). (C) Sementes (Fonte: <http://plants.usda.gov>).....3
- Figura 3. Tipos de células encontradas na madeira de folhosas (Fonte: HOADLEY, 2000)..5
- Figura 4. Porosidade da madeira. (A) Madeira à poros difusos. (B) Madeira semi-porosa ou semi-difusa. (C) Madeira porosa (Fonte: HOADLEY, 2000).....6
- Figura 5. Raios unisseriados e multisseriados, respectivamente (Fonte: WALKER, 2006)...7
- Figura 6. (A) Área de plantio de *Prosopis africana* no International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics – ICRSAT Sahelian Center em Niamey, Niger. (B) Coleta dos discos de madeira à altura do DAP (1,30 m). (C) Discos de madeira de 24 árvores de *Prosopis africana* selecionados para o estudo das propriedades físicas e anatômicas.....9
- Figura 7. Valores médios obtidos para as variações dimensionais (contrações e inchamentos) da madeira de *Prosopis africana*.....12
- Figura 8. Características anatômicas da madeira de *Prosopis africana*. (A) Seção transversal: porosidade difusa, poros solitários e múltiplos radiais. (B) e (C) Seção transversal: parênquima axial paratraqueal confluyente e unilateral, respectivamente. (D) Seção tangencial: raios multisseriados. (E) Seção radial. (F) Seção radial: raio heterogêneo formado por células procumbentes e células quadradas restritas à fileira marginal. (G) Seção radial com detalhe para as pontuações intervasculares escalariformes à opostas.....14
- Figura 9. Características das fibras e elementos de vasos da madeira de *Prosopis africana*. (A) Medições de largura e diâmetro de lume das fibras, realizadas com o software CELL^F (Olympus[®]). (B) Elemento de vaso com pontuações intervasculares, placas de perfuração simples e apêndices em ambas as terminações.....16

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Resultados obtidos para as propriedades físicas (densidade aparente e variações dimensionais) da madeira de *Prosopis africana*.....13
- Tabela 2. Resultados obtidos para as dimensões de fibras (comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede) da madeira de *Prosopis africana*.....15
- Tabela 3. Análises de correlação entre a densidade, as dimensões de fibras e as variações dimensionais da madeira de *Prosopis africana*.....17

1. INTRODUÇÃO

Pertencente a família Leguminosae, subfamília Mimosoideae, o gênero *Prosopis* possui cerca de 40 espécies. Podem ser encontradas tanto na forma de arbustos de tamanho médio quanto na forma de árvores de grande porte, podendo atingir 20 metros de altura e um tronco com mais de um metro de diâmetro. Costumam crescer nas proximidades da água, porém diferentes espécies de *Prosopis* desenvolvem-se em lugares secos, onde outras plantas dificilmente sobreviveriam. Muitas espécies desse gênero podem tolerar e crescer com rapidez em solos salinos e ácidos de baixa fertilidade (SILVA, 2007).

As espécies de *Prosopis* são demasiadamente resistentes à seca. De acordo com Pasiecznik et al. (2001), a maioria das espécies de *Prosopis* podem sobreviver em áreas de baixa pluviosidade e períodos de seca prolongada, o que facilita o seu estabelecimento e sua disseminação em regiões semi-áridas.

As espécies do gênero *Prosopis* são de extrema importância para as populações dos países africanos devido às suas diversas utilizações. Muitas pesquisas vêm sendo realizadas a respeito da utilização dessas espécies como fonte de madeira para carvão vegetal e lenha, de forragem e alimento, no enriquecimento do solo através da fixação de nitrogênio e matéria orgânica, na contribuição com a apicultura, na produção de álcool e tanino, em consórcio com outras culturas, entre outros benefícios (LIMA, 1994; LIMA, 1982; SILVA, 2007). Lima (1994) também menciona que empresas de reflorestamento e agricultores têm realizado plantios com espécies de *Prosopis* com o intuito principal de produzir vagens para alimentação bovina e fabricação de farinha.

Uma das espécies arbóreas mais valiosas da região do Sahel Africano é a *Prosopis africana*, a qual está seriamente ameaçada de extinção devido à intensa exploração e ao próprio processo de desertificação desencadeado na região. No século 20, a incidência de chuvas no Sahel caiu de 20 à 30% (HULME et al., 2001; DAI et al., 2004), sendo a mais negativa tendência de chuva registrada em todo mundo (TRENBERTH et al., 2007) e a temperatura média aumentou 1,3°C (HULME et al., 2001; TRENBERTH et al., 2007). Como resultado dessas mudanças climáticas, houve um aumento da aridez no Sahel, contribuindo para a degradação da cobertura vegetal em diversas áreas (POUPON, 1980; GONZALEZ, 2001; WEZEL & LYKKE, 2006; MARANZ, 2009). Devido ao risco de extinção da espécie de *Prosopis africana*, pesquisadores do World Agroforestry Centre (ICRAF) tem desenvolvido estudos visando o reflorestamento e o reestabelecimento dessas espécies na região saheliana por meio de testes de procedências/progênie (SOTELO MONTES & WEBER, 2009; WEBER et al., 2008).

Este projeto é resultado de uma parceria entre o Departamento de Produtos Florestais (DPF) do Instituto de Florestas (IF) e o World Agroforestry Centre/ International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), na qual os pesquisadores do ICRAF são responsáveis pela coleta e transporte do material e os pesquisadores/professores do DPF/IF responsáveis pelo suporte técnico-científico. O projeto visa avaliar a qualidade da madeira de *Prosopis africana* através da determinação de suas propriedades tecnológicas e características anatômicas. As características anatômicas da madeira são de extrema importância para se conhecer o material visando o seu emprego correto e para prever e compreender o seu comportamento tecnológico. Apesar da importância, pouco se sabe sobre as características anatômicas da madeira dessa espécie, o que ressalta a importância desse estudo. Grande parte das pesquisas realizadas sobre a espécie de *Prosopis africana* refere-se às suas características silviculturais, bem como à sua utilização como material para energia, entre outros fins (SOTELO MONTES et al., 2011).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste estudo foi contribuir para um maior conhecimento sobre a estrutura anatômica da madeira de *Prosopis africana* (Guill & Perr.) Taub. a fim de indicar a melhor forma de utilização do material assim como prever e compreender seu comportamento tecnológico.

2.2 Objetivos específicos

- (1) Determinar as propriedades físicas (densidade aparente e variações dimensionais – contrações e inchamentos) da madeira de *Prosopis africana*;
- (2) Caracterizar a anatomia da madeira e determinar as dimensões das fibras de *Prosopis africana*;
- (3) Verificar as correlações existentes entre as características das fibras e as variações dimensionais da madeira.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Características da espécie estudada

Burkart (1976) listou 44 espécies do gênero *Prosopis* (Família Leguminosae, subfamília Mimosoidae), sendo todas as espécies xerófitas e ocorrendo em regiões áridas. O gênero *Prosopis* foi dividido por Burkart (1976) em cinco seções: *Prosopis*, *Anonychium*, *Strombocarpa*, *Monilinarpa* e *Algarobia*. Estas seções estão distribuídas não somente na África e Ásia, mas também na América Central, América do Norte e América do Sul. A Figura 1 apresenta a distribuição do gênero *Prosopis* nos continentes.

A espécie *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. é a única espécie na seção *Anonychium*, nativa da África Tropical e vulgarmente conhecida como african mesquite. A distribuição natural dessa espécie se estende desde o Sahel, florestas e savanas do Senegal, na África Ocidental até a Etiópia, na África Oriental e desde a Etiópia até o Egito e o Sudão e no sul do Lago Victória, no Quênia (TCHOUNDJEU et al., 1997). Apresenta outros sinônimos, sendo eles: *Coulteria africana* Guill. & Perr., *Prosopis lanceolata* Benth. e *Prosopis oblonga* Benth. (MISSOURI BOTANICAL GARDEN, 2012).

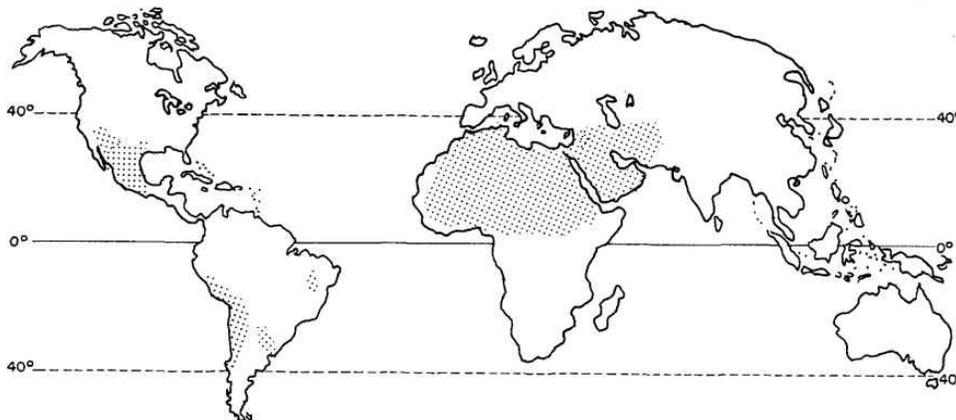


Figura 1. Distribuição natural do gênero *Prosopis* nos continentes (Fonte: SILVA, 1988).

A espécie *Prosopis africana* atinge uma altura de 20-40 m nas savanas. As vagens são grossas e duras variando do marrom avermelhado ao preto, podendo variar também na forma que vai desde a forma cilíndrica para relativamente plana. Especialmente durante a estação seca, as folhas, os ramos e as vagens suculentas de *Prosopis africana* fornecem uma valiosa forragem. Em muitas áreas, as sementes são fermentadas e utilizadas como condimentamento na alimentação humana (TCHOUNDJEU et al., 1997).

D'Antoni & Solbrig (1977) também afirmam que as espécies de *Prosopis* fornecem frutos que são utilizados na alimentação humana, as quais contém carboidratos (55-65%), proteínas (4,6-6,0%) e quantidades relativamente grandes de cálcio. Embora a composição e o valor alimentar de *Prosopis africana* não tenham ainda sido analisados em sua totalidade, suas vagens são amplamente utilizadas na alimentação humana e animal no Sahel. A Figura 2 apresenta algumas características da espécie.

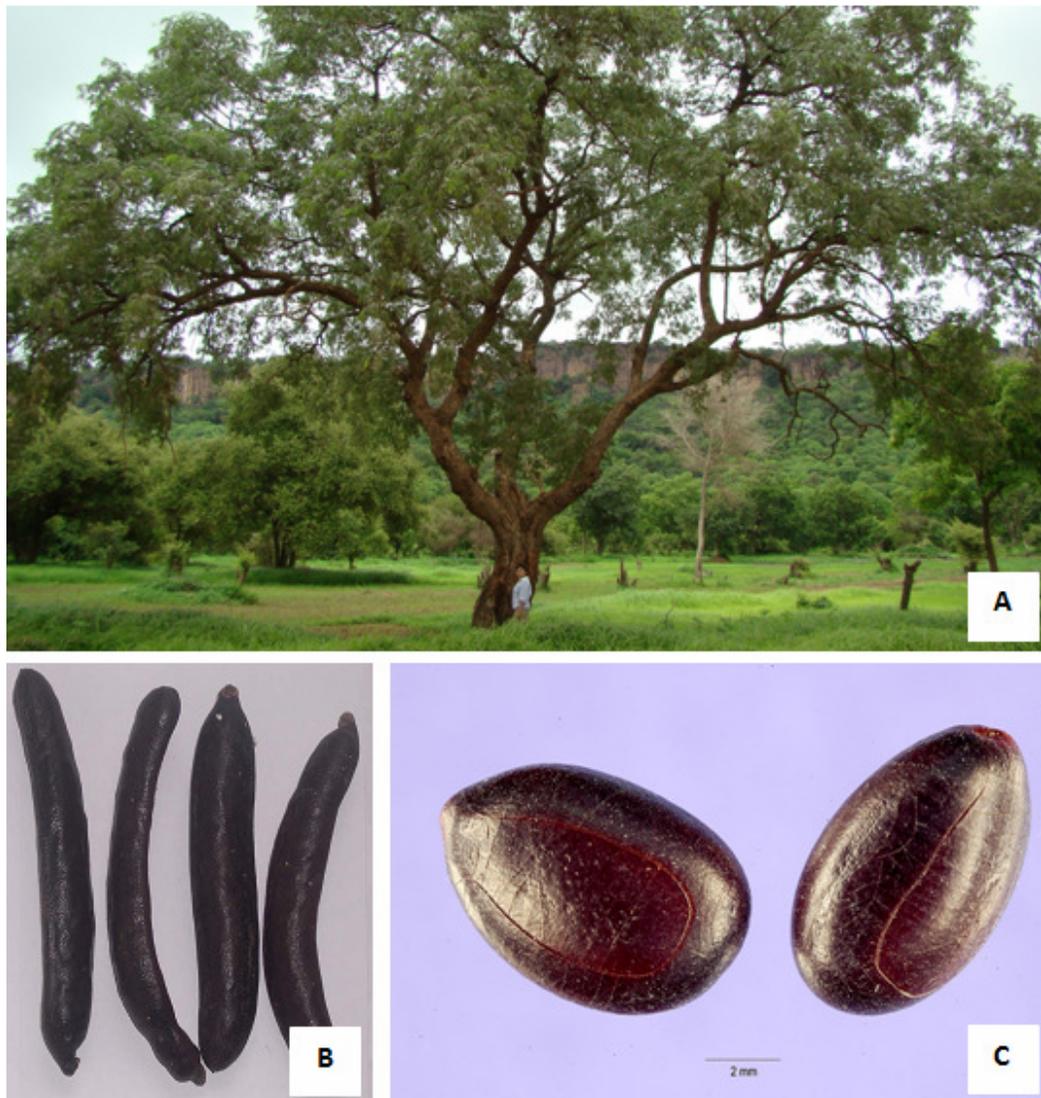


Figura 2. (A) Árvore de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. em região de ocorrência natural em Mali, África do Oeste (Foto: Carmen Sotelo). (B) Vagens (Fonte: www.westafricanplants.senckenberg.de). (C) Sementes (Fonte: <http://plants.usda.gov>).

Segundo Halliday (1984), a espécie *Prosopis africana* também apresenta um grande potencial para melhorar a fertilidade do solo, pois tem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico. Além disso, Akaaimo & Raji (2006) mencionam que diferentes partes da árvore de *Prosopis africana* apresentam propriedades medicinais, sendo muito utilizadas para esse fim. As folhas, cascas, galhos e raízes podem ser utilizadas no tratamento e alívio de bronquites, dermatoses, dor de dente, disenteria, malária e dores de estômago, enquanto que suas cinzas podem ser utilizadas na fabricação de sabão.

Na literatura, informações sobre a madeira de *Prosopis* são raras. Entretanto, Kaul & Jain (1967) afirmam que, de modo geral, a madeira de *Prosopis* é dura, durável e muito resistente ao ataque de cupins além de apresentar um alto poder calorífico (1720 J/kg) e produzir carvão vegetal e lenha de excelente qualidade. O carvão vegetal de *Prosopis africana* também é muito valorizado por ferreiros.

No Brasil, há uma espécie de grande importância econômica do gênero *Prosopis*, a *Prosopis juliflora*, vulgarmente conhecida por algaroba, a qual pode ser encontrada na região Nordeste. Esta espécie foi introduzida no semi-árido nordestino no início da década de 40 como uma promissora alternativa econômica, já que apresenta uma boa adaptação em diversas regiões semi-áridas do mundo e um grande potencial para uso múltiplo, produção de lenha, madeira e forragem entre outros produtos (AZEVEDO, 1982). Entretanto, segundo Pegado et al. (2006) e Andrade et al. (2008), apesar de representar uma boa alternativa econômica para diversas regiões, algumas pesquisas começam a apontar a *Prosopis juliflora* como uma possível causadora de sérios problemas em locais diferentes do seu habitat natural. De acordo com Pegado et al. (2006) e Andrade et al. (2008), a capacidade de reprodução e regeneração da *Prosopis juliflora* a torna extremamente agressiva, principalmente quando associadas às ações antrópicas. Em um estudo sobre as características biológicas que promovem a invasão da *Prosopis juliflora* no Nordeste da Etiópia, realizado por Shiferaw et al. (2004), os autores concluíram que essa espécie apresenta características biológicas que a tornam uma invasora potencial, capaz de ocupar muito rapidamente novas áreas, até mesmo sob condições áridas. Segundo os autores, a espécie de *Prosopis juliflora* apresenta as seguintes estratégias importantes: alta produção de sementes, produção de frutos atrativos para os animais, capacidade de sobrevivência dos propágulos à digestão dos animais; formação de banco de sementes no solo; acúmulo de reservas que viabilizam a dormência e a longevidade das sementes que servirão como estoque para a regeneração; início precoce da fase reprodutiva; rápido crescimento no tempo e no espaço, dentre outras. Essas características tornam a *Prosopis juliflora* uma espécie invasora, caráter este que pode ser potencializado por fatores antrópicos, físicos, ecológicos e ambientais, a exemplo do que está ocorrendo no semi-árido nordestino.

No caso da *Prosopis africana*, devido aos seus diversos fins de utilização, as populações naturais são demasiadamente exploradas sem um manejo adequado, o que está resultando em uma rápida diminuição nas populações naturais dessa espécie.

3.2 Anatomia da madeira

3.2.1 Importância do estudo anatômico da madeira

A determinação das propriedades tecnológicas da madeira tem grande importância para a estimativa da sua resistência em relação às forças externas que tendem a deformá-la, bem como definir os usos mais indicados (MELCHIORETTO & ELEOTÉRIO, 2003).

A madeira é um material heterogêneo, e sua diversidade anatômica e química é refletida em várias propriedades físicas, tais como: densidade, permeabilidade, comportamento quanto à capilaridade, condutividade térmica e difusão da água de impregnação entre outras (SIAU, 1984).

A anatomia da madeira permite obter um melhor conhecimento sobre o material assim como seu comportamento e propriedades tecnológicas.

3.2.2 Anatomia da madeira de folhosas

As folhosas apresentam uma estrutura muito mais complexa que as coníferas. O sistema axial é composto por elementos fibrosos de vários tipos, elementos de vasos de vários tamanhos e arranjos e parênquima axial de vários padrões e abundâncias. Assim como nas coníferas, os raios compreendem o sistema radial e são compostos de células do parênquima do raio, contudo as folhosas possuem uma maior variedade no tamanho e no formato dessas células (WIEDENHOEFT, 2010). Na Figura 3 são apresentados os diversos tipos de células encontradas na madeira de folhosas.

Os diâmetros dos vasos podem ser pequenos ($<30 \mu\text{m}$) ou muito grandes ($>300 \mu\text{m}$), mas geralmente variam entre 50 a 200 μm . Eles são muito mais curtos do que os traqueídeos que variam de 100 a 1200 μm ou 0,1 a 1,2 mm. Os vasos podem ser dispostos em padrões diferentes. Se todos os vasos tem o mesmo tamanho e se apresentam mais ou menos dispersos por todo o anel de crescimento, a madeira é considerada à poros difusos (Figura 4A). Se os vasos no lenho inicial são muito maiores do que os vasos do lenho tardio, a madeira é considerada porosa (Figura 4C). Ainda existem as madeiras que se encontram em uma posição intermediária à porosa e à poros difusos que são as madeiras semi-porosas ou semi-difusas (Figura 4B).

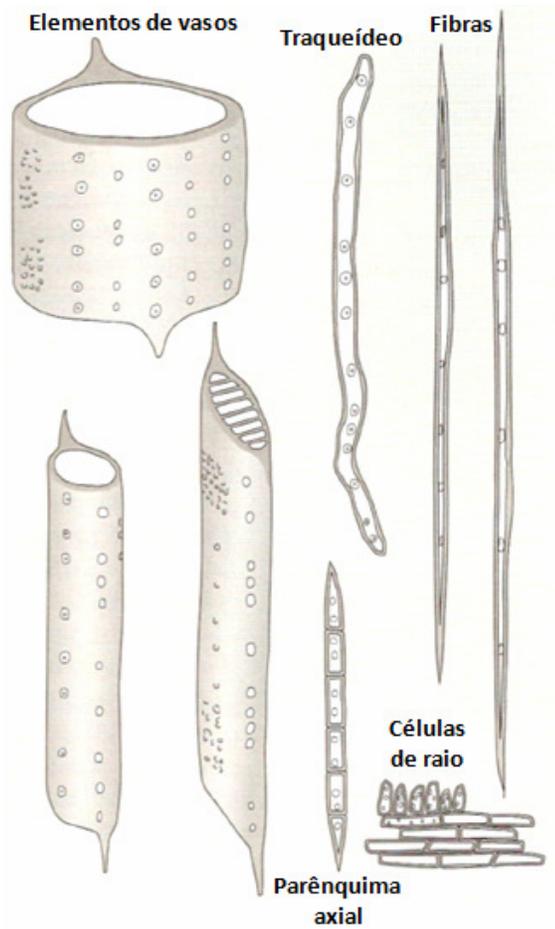


Figura 3. Tipos de células encontradas na madeira de folhosas (Fonte: HOADLEY, 2000).

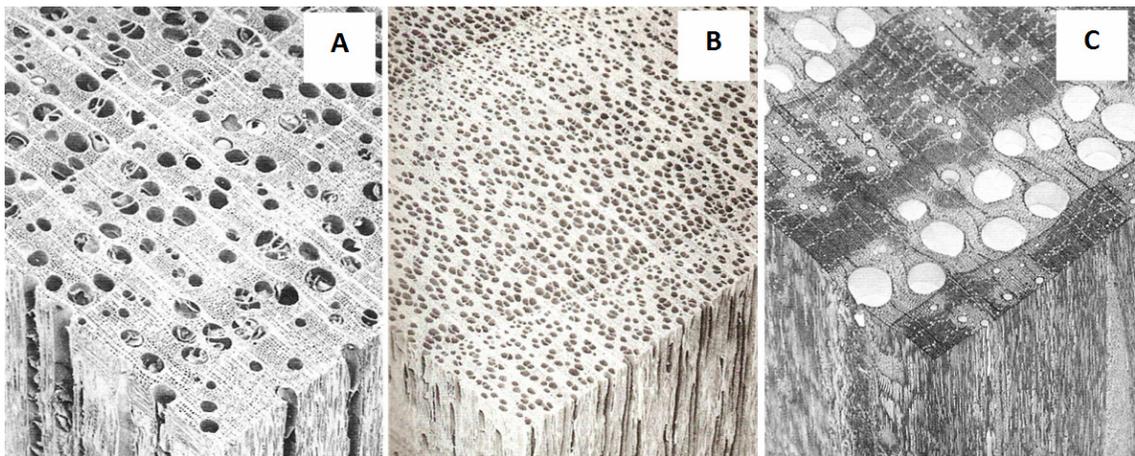


Figura 4. Porosidade da madeira. (A) Madeira à poros difusos. (B) Madeira semi-porosa ou semi-difusa. (C) Madeira porosa (Fonte: HOADLEY, 2000).

Os elementos de vasos são especializados na condução de líquidos no lenho das folhosas. Em relação a disposição dos vasos, estes podem apresentar um arranjo tangencial ou oblíquo radial, em aglomerados ou em várias combinações destes tipos (IAWA Committee, 1989). Além disso, de acordo com o agrupamento dos vasos, estes podem ocorrer isoladamente, em pares ou múltiplos radiais de até cinco ou mais vasos em uma fileira. Na extremidade, os elementos de vasos apresentam um orifício ou placa de perfuração. Se não há obstruções em toda a placa de perfuração, esta é chamada de placa de perfuração simples. Se barras estão presentes, a placa de perfuração é chamada de placa de perfuração escalariforme, podendo ainda ocorrer placas de perfuração do tipo reticulada e foraminada. Dessa forma, as folhosas apresentam elementos traqueais perfurados (elementos de vasos) para condução de líquidos enquanto as coníferas apresentam elementos traqueais não perfurados (traqueídeos). Na seção transversal, os vasos aparecem como largas aberturas denominadas poros (WIEDENHOEFT, 2010).

No local onde os elementos de vasos entram em contato uns com os outros de forma tangencial, pontuações intervasculares são formadas. Estas pontuações variam em tamanho desde 2 até > 16 μm de altura e estão dispostas sobre as paredes do vasos de três maneiras básicas. O arranjo mais comum é o alternado. Na disposição oposta, as pontuações estão dispostas em fileiras com as suas aberturas alinhadas verticalmente e horizontalmente. No arranjo escalariforme, as pontuações são muito mais largas do que altas (WIEDENHOEFT, 2010).

Nas folhosas, as fibras apresentam função quase que exclusivamente de suporte mecânico para as células. Elas são mais curtas do que os traqueídeos das coníferas (0,2 a 1,2 mm), em média cerca da metade da largura desses traqueídeos, mas geralmente são de duas a dez vezes maior que os elementos de vasos. A espessura da parede celular da fibra é o principal fator que rege a densidade e a força mecânica das vigas de madeira (WIEDENHOEFT, 2010).

A madeira das folhosas mostra uma grande diversidade na variedade e abundância de parênquima axial. Três grandes categorias são definidas: parênquima axial paratraqueal que estão sempre associados com os vasos, parênquima axial apotraqueal que não têm nenhuma relação com os vasos, mas ocorrem aleatoriamente entre todas as células da madeira, parênquima axial em faixas que se apresentam dispostos em linhas ou faixas perpendiculares aos raios, podendo estar ou não em contato com os vasos (WALKER, 2006).

Dentro destas três amplas categorias, anatomistas da madeira podem identificar uma gama de tipos de distribuição. Esses padrões são importantes para auxiliar na identificação microscópica das madeiras. Muitas espécies têm mais de um tipo de distribuição de parênquima. Madeiras com grandes quantidades de parênquima são leves e de baixa dureza, embora isso possa ser compensado por faixas de fibras de paredes espessas (WALKER, 2006).

Os raios das folhosas são geralmente maiores e com maior variedade do que aqueles encontrados em coníferas. Os raios são classificados como unisseriados ou multisseriados (Figura 5), dependendo se eles apresentam uma ou mais fileiras de células. Podemos observar se os raios são unisseriados ou multisseriados quando observamos a seção tangencial. Os raios podem ser homogêneos quando apresentam somente um tipo de célula ou heterogêneos quando apresentam mais de um tipo de célula em sua composição (WALKER, 2006). As células dos raios podem ser procumbentes, quadradas ou eretas. Células procumbentes são aquelas que apresentam a célula de parênquima de raio com as dimensões radiais mais longas que as axiais. As células quadradas apresentam a forma aproximada de um quadrado e as

eretas apresentam suas dimensões axiais mais longas que as radiais. Esses formatos de células podem ser observados quando vistos em uma seção radial da madeira.

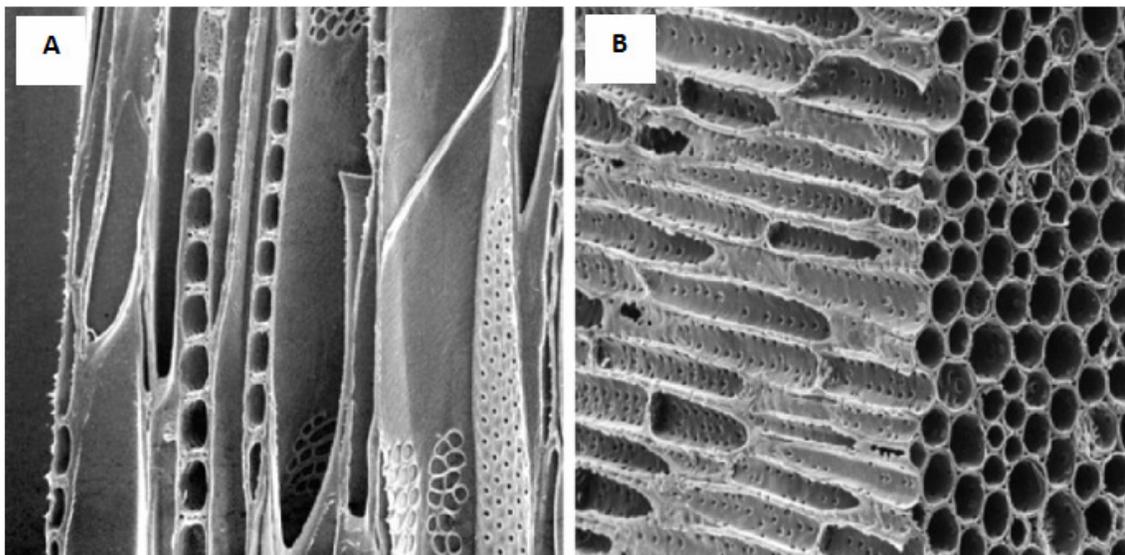


Figura 5. Raios unisseriados e multisseriados, respectivamente (Fonte: WALKER, 2006).

3.3 Relação entre a anatomia e as propriedades físicas da madeira

A madeira é, também, um material anisotrópico, com propriedades distintas nos seus três eixos ortotrópicos. Tais diferenças, assim como outras propriedades físicas da madeira, são resultado direto da estrutura da parede celular, da orientação celular, do tipo de células presentes, sua distribuição, disposição e as relativas proporções nas quais estas estão presentes. Em decorrência da anisotropia, a resistência da madeira quanto à tensão ao longo da grã, é várias vezes superior à do sentido transversal (THOMAS, 1991).

Além disso, alterações dimensionais decorrentes da adição ou remoção da água na madeira correspondem a faixa de 10 a 15% no sentido radial, podendo essas alterações serem 2 vezes maior no sentido tangencial enquanto que no sentido longitudinal é de apenas 0,1% (THOMAS, 1991).

Segundo a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), a estabilidade dimensional da madeira é caracterizada pelas propriedades de contração e de inchamento, sendo a madeira considerada como um material ortótropo, o que quer dizer que seu comportamento depende da direção anatômica. A madeira apresenta direções preferenciais, sendo elas: axial, radial e tangencial pelas quais são determinadas as retrações lineares (axial, radial e tangencial) e os inchamentos lineares (axial, radial e tangencial).

A retrabilidade da madeira é considerada um fenômeno relacionado à variação dimensional da madeira, em função da troca de umidade do material com o meio que a envolve, até que seja atingida uma condição de equilíbrio, chamada de umidade de equilíbrio higroscópico. As variações nas dimensões nas peças de madeira começam a ocorrer quando se perde ou se ganha umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, que, de modo geral, situa-se ao redor de 28 a 30% de umidade (REMADE, 2001).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

As amostras de madeira de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. utilizadas neste estudo foram doadas pelo World Agroforestry Center (ICRAF), as quais foram obtidas de árvores provenientes de um plantio com espaçamento de 3 x 3 m localizado no International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRSAT) Sahelian Center, situado à 40 Km do sudeste de Niamey, capital do Níger (África Ocidental), cujas coordenadas geográficas são de 13°14'N, 2°17'L e 230 m de altitude. A Figura 6A mostra o local de coleta das amostras.

As amostras de madeira foram coletadas em 2007, 13 anos depois do estabelecimento de testes de procedências/progênie estabelecidos no Níger. Discos de madeira foram obtidos o mais próximo possível do diâmetro à altura do peito (DAP), ou seja, à 1,3 m acima do nível do solo para um total de 160 árvores de *Prosopis africana* (Figura 6B). As amostras de madeira (discos) foram então transportadas ao Brasil e encaminhadas ao Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira (LAQM) do Departamento de Produtos Florestais (DPF), Instituto de Florestas (IF) para os ensaios físicos e análises anatômicas. Para a avaliação dessas propriedades, foram selecionadas ao acaso três árvores de oito parcelas, resultando em um total de 24 árvores (= 24 discos de madeira) tal como representado na Figura 6C.



Figura 6. (A) Área de plantio de *Prosopis africana* no International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics – ICRSAT Sahelian Center em Niamey, Niger. (B) Coleta dos discos de madeira à altura do DAP (1,30 m). (C) Discos de madeira de 24 árvores de *Prosopis africana* selecionadas para o estudo das propriedades físicas e anatômicas.

4.2 Determinação das propriedades físicas da madeira

As propriedades físicas determinadas no presente estudo foram: densidade aparente, contrações (volumétricas e lineares) e inchamentos (volumétricos e lineares) da madeira, as quais foram realizadas de acordo com a norma ASTM D 2395 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM, 1999). Os corpos-de-prova apresentavam a dimensão de 10 X 10 X 10 mm e foram mensurados com o auxílio de um paquímetro digital. As amostras de madeira utilizadas para a determinação da densidade aparente foram as mesmas utilizadas para a determinação das variações dimensionais.

4.2.1 Densidade aparente

A densidade aparente da madeira foi determinada à 12% de umidade, sendo calculada pela seguinte equação:

$$DENS = M/V$$

onde, DENS: densidade aparente da amostra de madeira ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); M: peso da amostra (g); e V: volume da amostra (cm^3).

4.2.2 Variações dimensionais

Para a determinação das variações dimensionais (contrações e inchamentos), as dimensões das amostras foram mensuradas após o acondicionamento em câmara climática à 20°C e 65% de umidade relativa (UR). Em seguida, as amostras foram imersas em água até sua saturação completa e as dimensões novamente mensuradas nas três direções estruturais. As amostras foram então secas em estufa à 103±2°C durante 24 horas e as dimensões novamente mensuradas. Posteriormente, foram determinadas as seguintes variações dimensionais: contração volumétrica, contrações lineares (tangencial, radial e longitudinal), inchamento volumétrico e inchamentos lineares (tangencial, radial e longitudinal), as quais foram então calculadas através das seguintes equações:

$$\beta_v = (V_u - V_0)/V_u \times 100$$

onde, β_v : contração volumétrica da madeira (%); V_u : volume saturado da amostra após imersão em água (cm^3); V_0 : volume da amostra seca em estufa à 103 ± 2°C (cm^3).

$$\beta_{T,R,L} = (L_u - L_0)/L_u \times 100$$

onde, $\beta_{T,R,L}$: contração linear nas direções tangencial, radial e longitudinal, respectivamente (%); L_u : dimensão da amostra na direção tangencial, radial ou longitudinal no estado saturado (mm); L_0 : dimensão da amostra na direção tangencial, radial ou longitudinal após secagem em estufa à 103 ± 2°C (mm).

$$\alpha_v = (V_u - V_0)/V_0 \times 100$$

onde, α_v : inchamento volumétrico da madeira (%); V_u : volume saturado da amostra após imersão em água (cm³); V_o : volume da amostra seca em estufa à 103 ± 2°C (cm³).

$$\alpha_{T,R,L} = (L_u - L_0) / L_0 \times 100$$

onde, $\alpha_{T,R,L}$: inchamentos lineares nas direções tangencial, radial e longitudinal, respectivamente (%); L_u : dimensão da amostra na direção tangencial, radial ou longitudinal no estado saturado (mm); L_0 : dimensão da amostra na direção tangencial, radial ou longitudinal após secagem em estufa à 103 ± 2°C (mm).

4.3 Análises anatômicas

Para as análises anatômicas, amostras de 10 x 10 x 10 mm foram obtidas dos discos de madeira. Parte dessas amostras foi utilizada para a confecção de lâminas para a descrição anatômica da madeira enquanto a outra parte do material foi fragmentado e macerado de acordo com o método modificado de Franklin. Neste método, as amostras foram reduzidas a lascas de aproximadamente 2 x 2 x 8 mm (largura x espessura x comprimento) e imersas em uma solução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e ácido acético (CH₃COOH) na proporção 1:1. Em seguida, o material foi aquecido em estufa à 60°C por um período de aproximadamente 30 horas até o branqueamento e a dissociação completa da madeira. O material foi então lavado, desfibrado e colorido com safranina. Em seguida, foram confeccionadas lâminas de material macerado visando determinar as seguintes dimensões das fibras: comprimento (C_{fibra}), largura (L_{fibra}), diâmetro do lume (DL_{fibra}) e espessura de parede (Ep_{fibra}) segundo as normas da IAWA Committee (1989).

Para a descrição anatômica, foram obtidos cortes histológicos com o auxílio do micrótomo de deslize MICRON HM 450 disponível no LAQM (DPF, IF, UFRRJ).

A aquisição das imagens digitais foram realizadas com o auxílio de uma câmera digital monocromática XC30 3.0 MP adaptada a um microscópio binocular OLYMPUS® BX 51. A análise das imagens digitais foi realizada com o auxílio do software CELL^F (OLYMPUS®) disponível no Laboratório de Química da Madeira (DPF, IF, UFRRJ). Foram realizadas 25 medições de fibras para cada árvore (= 24 árvores), o que resultou em um total de 600 observações para cada variável anatômica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Propriedades físicas

Os resultados obtidos para as propriedades físicas (densidade aparente e variações dimensionais) da madeira de *Prosopis africana* são apresentados na Tabela 1.

A densidade aparente média foi de $0,727 \text{ g.cm}^{-3}$. A partir deste resultado podemos dizer que a madeira de *Prosopis africana* é moderadamente pesada.

As variações dimensionais médias apresentadas pela madeira de *Prosopis africana* foram de 11,16%, 5,91%, 4,25% e 1,38% para as contrações volumétrica, tangencial, radial e longitudinal, respectivamente; e de 12,58%, 6,30%, 4,44% e 1,40% para os inchamentos volumétrico, tangencial, radial e longitudinal, respectivamente (Figura 7). Esses resultados são superiores aqueles encontrados por Carrillo-Parra (2007) para a madeira de *Prosopis laevigata* de $0,84 \text{ g.cm}^{-3}$ de densidade (12% de umidade), a qual apresentou 2,6 e 1,8% para as contrações tangencial e radial e 2,8 e 1,8% para os inchamentos tangencial e radial, respectivamente.

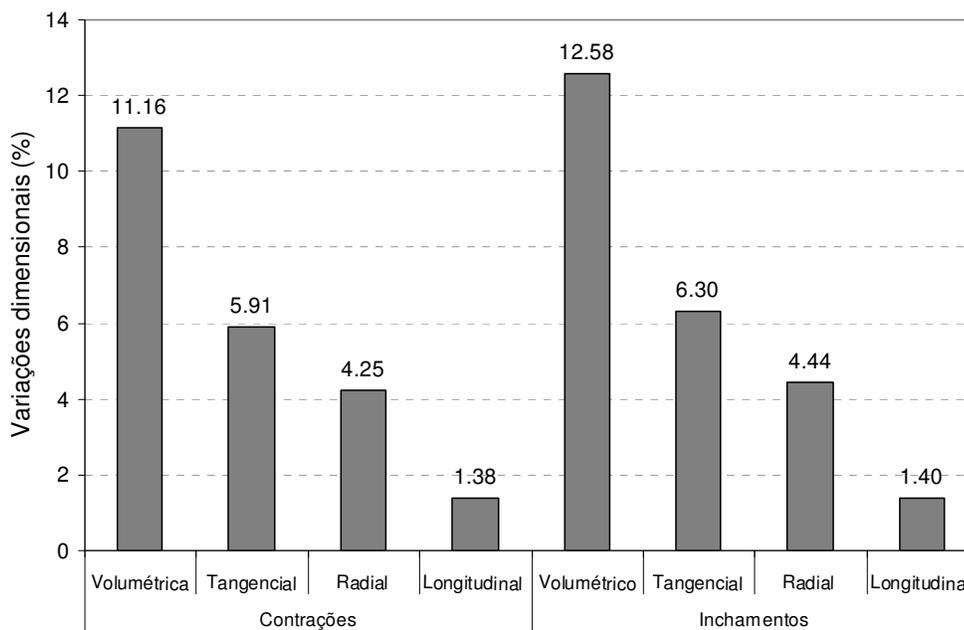


Figura 7. Valores médios obtidos para as variações dimensionais (contrações e inchamentos) da madeira de *Prosopis africana*.

Através dos valores de inchamento e contração no sentido tangencial e radial foi possível a determinação do fator de anisotropia da madeira de *Prosopis africana*. O coeficiente ou fator anisotrópico é considerado um dos índices mais importantes para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira sendo definido pela relação entre as contrações tangencial e radial. A madeira de *Prosopis africana* apresentou um fator anisotrópico igual a 1,4 e a partir deste resultado pode-se dizer que esta madeira apresenta uma boa estabilidade dimensional.

5.2 Análises anatômicas

5.2.1 Descrição anatômica

Elementos de vasos: madeira de porosidade difusa, com poros solitários e múltiplos radiais de 2 à 5; elementos de vasos em arranjo oblíquo e radial, de seção circular; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares grandes, do tipo escalariforme e oposta, de formato achatado (Figuras 8A, 8G e 9B).

Parênquima axial: parênquima axial paratraqueal aliforme losangular, unilateral e confluyente (Figuras 8A, 8B e 8C).

Tabela 1. Resultados obtidos para as propriedades físicas (densidade aparente e variações dimensionais) da madeira de *Prosopis africana*.

Árvores	DENS (g.cm ⁻³)	Variações dimensionais (%)							
		β_v	β_T	β_R	β_L	α_v	α_T	α_R	α_L
3.1	0,786	12,61	6,64	4,71	1,77	14,43	7,11	4,94	1,80
3.2	0,739	13,49	6,29	5,57	2,25	15,60	6,71	5,89	2,30
3.3	0,737	12,14	7,25	4,42	0,89	13,82	7,82	4,62	0,89
4.1	0,774	13,30	7,46	4,98	1,40	15,34	8,06	5,24	1,42
4.2	0,682	12,05	7,20	3,72	1,56	13,70	7,76	3,87	1,59
4.3	0,747	9,51	6,10	2,30	1,36	10,51	6,49	2,36	1,38
5.1	0,597	11,44	6,25	4,32	1,27	12,91	6,67	4,52	1,28
5.2	0,726	11,21	5,52	4,64	1,44	12,62	5,84	4,87	1,46
5.3	0,741	9,56	5,10	3,36	1,38	10,57	5,38	3,48	1,40
6.1	0,757	10,68	5,89	4,07	1,06	11,96	6,26	4,24	1,07
6.2	0,684	11,01	4,91	4,80	1,70	12,38	5,17	5,04	1,73
6.3	0,704	10,42	6,24	3,55	0,93	11,63	6,66	3,68	0,94
9.1	0,667	8,20	3,69	3,19	1,54	8,93	3,83	3,29	1,57
9.2	0,635	11,74	6,04	4,55	1,58	13,30	6,43	4,77	1,61
9.3	0,780	9,36	4,44	3,75	1,45	10,33	4,65	3,90	1,48
10.1	0,806	10,47	5,20	4,73	0,88	11,70	5,48	4,96	0,88
10.2	0,714	11,20	6,28	4,12	1,18	12,61	6,70	4,30	1,19
10.3	0,696	11,91	6,48	4,21	1,66	13,52	6,93	4,40	1,68
11.1	0,716	10,44	4,98	4,44	1,37	11,66	5,24	4,65	1,39
11.2	0,707	10,45	5,83	3,86	1,08	11,67	6,19	4,02	1,09
11.3	0,706	12,15	6,30	5,32	0,97	13,82	6,72	5,62	0,98
12.1	0,857	10,23	5,18	4,08	1,31	11,40	5,46	4,25	1,33
12.2	0,809	12,69	6,43	5,13	1,65	14,53	6,87	5,41	1,67
12.3	0,671	11,48	6,23	4,15	1,51	12,97	6,65	4,33	1,53
Mínimo	0,597	8,20	2,30	0,88	3,69	8,93	2,36	0,88	3,83
Máximo	0,857	13,49	5,57	2,25	7,46	15,60	5,89	2,30	8,06
Média	0,727	11,16	5,91	4,25	1,38	12,58	6,30	4,44	1,40
DP	0,057	1,30	0,90	0,73	0,32	1,64	1,01	0,79	0,33

DENS: densidade aparente. β_v , β_T , β_R e β_L : contrações volumétrica, tangencial, radial e longitudinal, respectivamente. α_v , α_T , α_R e α_L : inchamentos volumétrico, tangencial, radial e longitudinal, respectivamente. DP: desvio padrão.

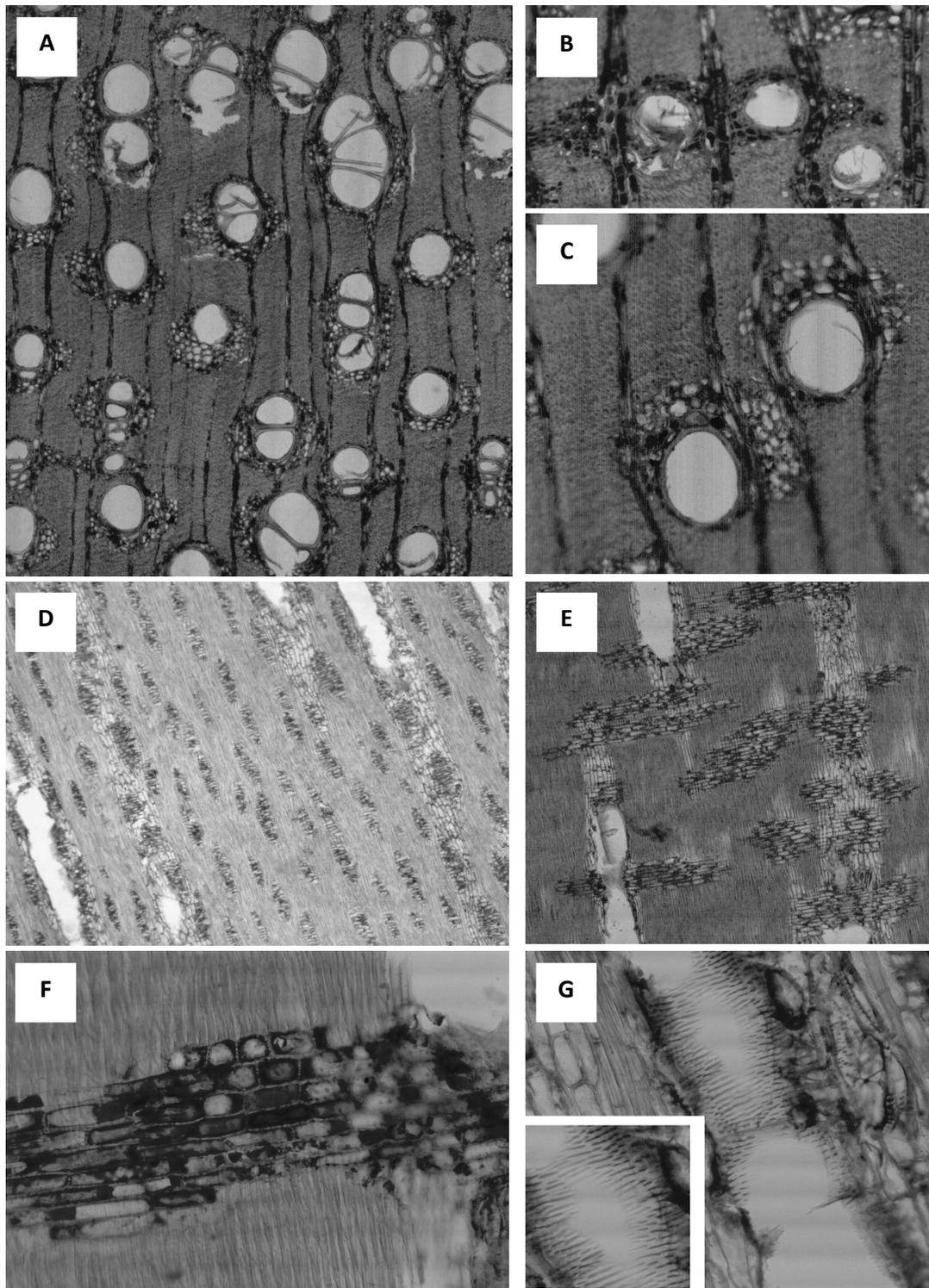


Figura 8. Características anatômicas da madeira de *Prosopis africana*. (A) Seção transversal: porosidade difusa, poros solitários e múltiplos radiais. (B) e (C) Seção transversal: parênquima axial paratraqueal confluyente e unilateral, respectivamente. (D) Seção tangencial: raios multisseriados. (E) Seção radial. (F) Seção radial: raio heterogêneo formado por células procumbentes e células quadradas restritas à fileira marginal. (G) Seção radial com detalhe para as pontoações intervasculares escalariformes à opostas.

Raios: raios multisseriados, homocelulares compostos unicamente por células procumbentes e raios heterocelulares compostos por células procumbentes na porção central e uma fileira de células quadradas nas margens (Figura 8F).

Fibras: septadas, paredes delgadas a espessas.

5.2.2 Dimensões das fibras

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos para as dimensões das fibras (comprimento, largura, diâmetro tangencial e espessura de parede) da madeira de *Prosopis africana*. O comprimento médio das fibras foram de 896,82 μm enquanto os valores médios obtidos para largura, diâmetro do lume e espessura de parede foram de 15,54 μm , 8,31 μm e 3,61 μm , respectivamente. A Figura 9A apresenta um exemplo de medição da largura e diâmetro de lume das fibras.

Tabela 2. Resultados obtidos para as dimensões de fibras (comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede) da madeira de *Prosopis africana*.

Árvores	C _{fibra} (μm)	L _{fibra} (μm)	DL _{fibra} (μm)	EP _{fibra} (μm)
3.1	944,88	15,52	9,35	3,08
3.2	893,61	14,69	6,44	4,12
3.3	866,08	13,98	6,55	3,72
4.1	971,57	15,09	6,54	4,27
4.2	965,12	16,07	8,12	3,97
4.3	938,72	15,25	7,41	3,92
5.1	863,98	17,60	10,59	3,51
5.2	815,84	16,38	8,11	4,13
5.3	921,09	14,78	8,73	3,03
6.1	914,08	15,03	7,87	3,58
6.2	796,41	16,22	9,82	3,20
6.3	1056,33	15,41	8,16	3,63
9.1	806,52	16,15	8,41	3,87
9.2	825,18	16,40	9,61	3,39
9.3	908,92	14,73	7,41	3,66
10.1	918,36	15,51	8,33	3,59
10.2	919,65	14,11	6,66	3,72
10.3	862,93	15,58	7,58	4,00
11.1	731,06	16,34	10,22	3,06
11.2	907,62	15,62	8,53	3,54
11.3	867,82	14,79	9,28	2,76
12.1	998,22	16,51	8,16	4,18
12.2	932,78	14,58	6,93	3,83
12.3	896,92	16,53	10,68	2,92
Média	896,82	15,54	8,31	3,61
Mínimo	731,06	13,98	6,44	2,76
Máximo	1056,33	17,60	10,68	4,27
DP	70,68	0,88	1,28	0,43

DP: desvio padrão. Número de medições por árvore = 25. C_{fibras}, L_{fibras}, DL_{fibras}, EP_{fibras}: comprimento, largura, diâmetro de lume e espessura de parede das fibras.

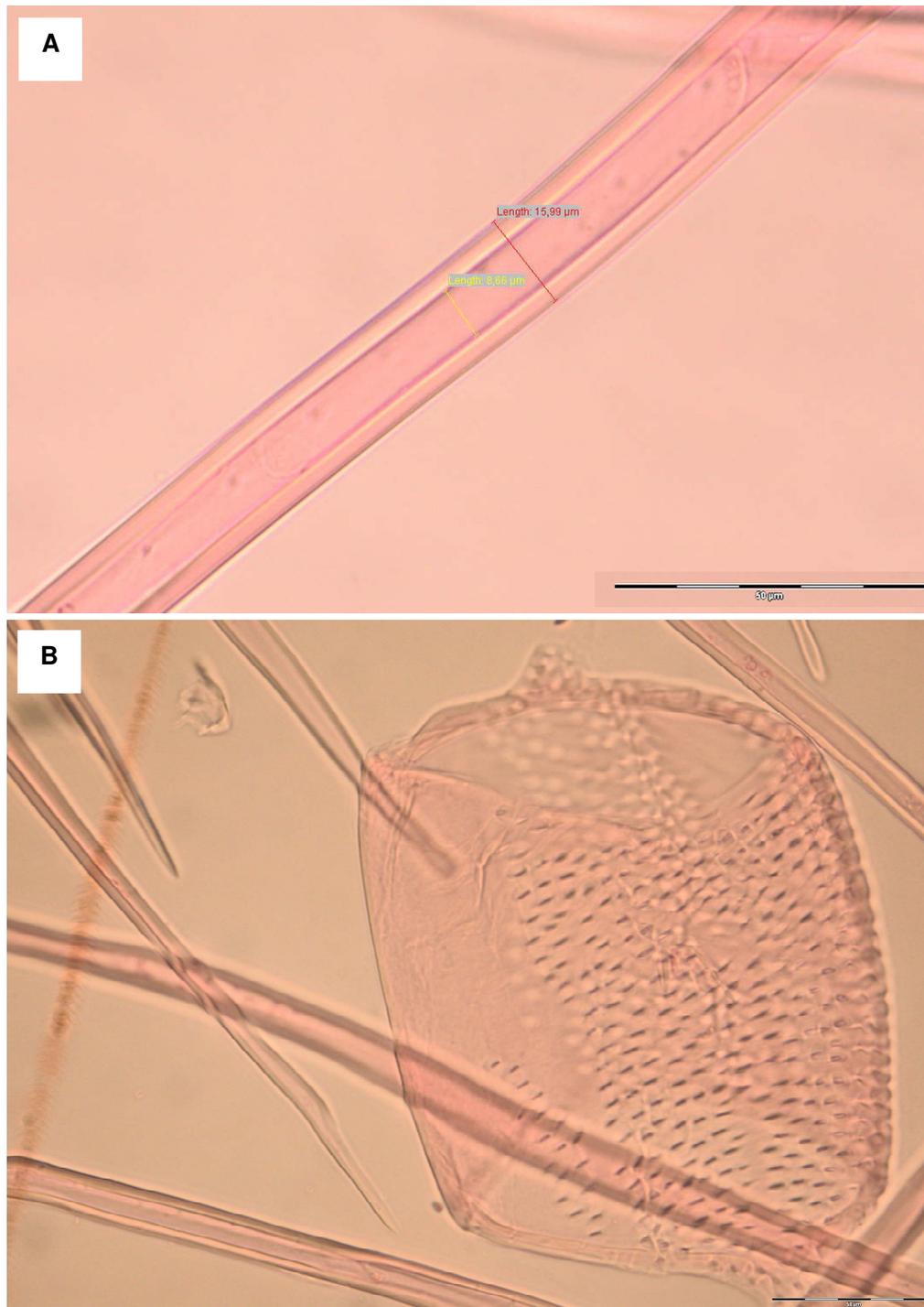


Figura 9. Características das fibras e elementos de vasos da madeira de *Prosopis africana*. (A) Medições de largura e diâmetro de lume das fibras, realizadas com o software CELL^F (Olympus[®]). (B) Elemento de vaso com pontuações intervasculares, placas de perfuração simples e apêndices em ambas as terminações.

5.3 Correlações entre as propriedades físicas e dimensões de fibras

A Tabela 3 apresenta as correlações entre as propriedades físicas e as dimensões de fibras da madeira de *Prosopis africana*.

A maioria dos estudos relacionados com a distribuição dos elementos celulares da madeira das folhosas é dirigida para a avaliação das fibras. Os parâmetros usualmente considerados nos estudos tecnológicos das fibras são definidos por quatro dimensões fundamentais: comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede. A partir desses valores, bem como dos valores de densidade da madeira e de suas variações dimensionais podem ser calculados os coeficientes de correlação entre esses parâmetros, com determinações bastante importantes para propriedades tecnológicas da madeira.

Tabela 3. Análises de correlação entre a densidade, as dimensões de fibras e as variações dimensionais da madeira de *Prosopis africana*.

	DENS	β_v	β_T	β_R	β_L	α_v	α_T	α_R	α_L
DENS	1,000	0,025	-0,034	0,120	-0,062	0,028	-0,035	0,122	-0,061
C_{fibra}	0,454*	0,108	0,405*	-0,213	-0,204	0,108	0,405*	-0,213	-0,203
L_{fibra}	-0,460*	-0,181	-0,257	-0,089	0,148	-0,185	-0,258	-0,093	0,146
DL_{fibra}	-0,510*	-0,192	-0,285	-0,005	-0,019	-0,199	-0,288	-0,008	-0,021
Epc_{fibra}	0,289	0,100	0,161	-0,086	0,183	0,107	0,165	-0,084	0,183

DENS: densidade aparente. C_{fibra} , L_{fibra} , DL_{fibra} , EP_{fibra} : comprimento, largura, diâmetro de lume e espessura de parede das fibras, respectivamente. β_v , β_T , β_R e β_L : contrações volumétrica, tangencial, radial e longitudinal, respectivamente. α_v , α_T , α_R e α_L : inchamentos volumétrico, tangencial, radial e longitudinal, respectivamente.

* Significativo à 95% de probabilidade.

Segundo os coeficientes de correlação apresentados na Tabela 3, apresentaram uma correlação significativa com a densidade o comprimento, a largura e o diâmetro de fibra. A contração tangencial e o inchamento tangencial apresentaram correlação positiva com o comprimento de fibra.

A densidade da madeira apresentou uma correlação positiva com o comprimento de fibra e negativa com a largura e o diâmetro de fibra. Isso indica que as madeiras mais densas de *Prosopis africana* apresentam fibras mais longas e menor porosidade (volume de vazios). A correlação negativa entre diâmetro de lume de fibra e a densidade da madeira indica que quanto maior o diâmetro de lume, mais espaços vazios serão encontrados na madeira e portanto menor será a sua densidade.

Segundo Downes et al. (1997), o comprimento, a espessura das paredes e o lume das fibras influenciam diretamente a densidade. Shimoyama (1990) afirma que a espessura da parede e lume das fibras são os fatores que mais influenciam a densidade da madeira. A espessura da parede, muito citada em trabalhos como sendo de grande influência na densidade da madeira, no presente estudo não apresentou correlação significativa com a densidade.

A contração tangencial e o inchamento tangencial apresentaram uma correlação positiva com o comprimento de fibra, sendo necessárias pesquisas complementares para explicar tais correlações.

6. CONCLUSÕES

A madeira de *Prosopis africana* apresenta uma boa estabilidade dimensional, podendo ser utilizada para usos que não permitem empenamentos e torções como em janelas, móveis e instrumentos musicais.

Sua densidade pode ser considerada moderadamente pesada, podendo influenciar positivamente nas propriedades mecânicas e dessa forma aumentar suas possibilidades de utilização como, por exemplo, na construção civil, na fabricação de produtos derivados de madeira, na indústria de mobiliário e para fins estruturais.

Os resultados obtidos neste estudo contribuirão para um melhor conhecimento sobre o comportamento tecnológico da madeira de *Prosopis africana*.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. São Paulo, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2395. Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based composites**. ASTM Standards, 1999. p. 350-357. Annual book.

ANDRADE, L. A.; FABRICANTE, J. R.; ALVES, A. S. Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.): Impactos sobre a fitodiversidade e estratégias de colonização em área invadida na Paraíba, Brasil. **Natureza e Conservação**, v. 6, p. 61-67, 2008.

AKAAIMO, D. I.; RAJI, A. O. Some physical and engineering properties of *Prosopis Africana* seed. **Biosyst. Eng.**, v. 95, n. 2, p. 197-205, 2006.

AZEVEDO, G. F. Como e porque a algarobeira foi introduzida no Nordeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBA 1, NATAL. Algaroba. Natal: EMPARN, p. 300-306. (EMPARN. Documentos, 7), 1982.

BURKART, A. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). **Journal of Arnold Arboretum**, v. 57, p. 219-249, 1976.

CARRILLO-PARRA, A. **Technological investigation of *Prosopis laevigata* wood from Northeast Mexico**. 2007. 137 p. Tese (Doctor of Philosophy in Forest Sciences and Forest Ecology) – University of Göttingen, Göttingen, 2007.

DAI, A.; LAMB, P. J.; TRENBERTH, K. E.; HULME, M.; JONES, P. D.; XIE, P. The recent Sahel drought is real. **International Journal of Climatology**, v. 24, p. 1323-1331, 2004.

DOWNES, G. M.; HUDSON, I. L.; RAYMOND, C. A.; DEAN, G. H.; MICHELL, A. J.; SCHIMLECK, L. S.; EVANS, R.; MUNERI, A. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Australia: CSIRO Publishing, 1997. 132 p.

D'ANTONI, H. L.; SOLBRIG O. T. **Algarobos in South American cultures: past and present**. In: SIMPSON B. B. (ed). Mesquite, Its Biology in Two Desert Ecosystems. US/IBP.Synthesis Series 4, Dowden, Hutchinson & Ross. p. 189-200, 1977.

GONZALEZ, P. Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. **Climate Research**, v. 17, p. 217-228, 2001.

HALLIDAY, J. Register of nodulation reports for leguminous trees and other arboreal genera with nitrogen fixing members. **Nitrogen fixing tree Research Reports (EUA)**, v. 2, p. 38-56, 1984.

HOADLEY, R. B. **Understanding wood – A craftsman's guide to wood technology**. Newtown: The Taunton Press, 2000. 280 p.

HULME, M.; DOHERTY, R.; NGARA, T.; NEW, M.; LISTER, D. African Climate Change. **Climate Research**, v. 17, p. 145-168, 2001.

IAWA Bulletin. **IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification**. Eds: WHEELER, E. A.; BAAS, P.; GASSON, P. E. v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

KAUL, R. N.; JAIN, M. B. Growth attributes: their relation to fuel yield in *Prosopis cineraria* Linn. McBride (*P. spicigera* Linn.). **Commonwealth For. Rev.**, v. 46, p. 155-158, 1967.

LIMA, P. C. F. **Comportamento de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit comparado com *Prosopis juliflora* (Sw) DC e *Eucalyptus alba* Reinew. ex Blume in Petrolina (Pe), Região Semi-Arida do Brasil**. 1982. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1982.

LIMA, P. C. F. **Comportamento silvicultural de espécies de *Prosopis*, em Petrolina, Região Semi-árida Brasileira**. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1994.

MARANZ, S. Tree mortality in the African Sahel indicates an anthropogenic ecosystem displaced by climate change. **Journal of Biogeography**, v. 36, p. 1181-1193, 2009.

MELCHIORETO, D.; ELEOTÉRIO, J. R. Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *P. elliotti* e *P. taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas. In: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 18, 2003, Blumenau: FURB, 2003.

MISSOURI BOTANICAL GARDEN. <http://www.tropicos.org/Name/13046205> Acessado em 14 de fevereiro de 2012.

PASIECZNIK, N. M.; FELKER, P.; HARRIS, P. J. C.; HARSH, L. N.; CRUZ, G.; TEWARI, J. C.; CADORET, K.; MALDONADO, L. J. **The *Prosopis juliflora* and *Prosopis pallida* complex: a monograph**. Convetry: HDRA, 2001.

PEGADO, C. M. A.; ANDRADE, L. A.; FÉLIX, L. P.; PEREIRA, I. M. Efeitos da invasão biológica de alagaroba – *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo – arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 4, p. 887-898, 2006.

POUPON, H. Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahelienne au nord du Sénégal. **Office de la recherche scientifique et technique outre mer**. Paris, 1980.

REMADE. http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=26&subject=Retratibilidade&title=A%20Retratibilidade%20da%20Made Acessado em 02 de julho de 2013.

SHIFERAW, H.; TEKETAY, D.; NEMOMISSA, S.; ASSEFA, F. Some biological characteristics that foster the invasion of *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. at Middle Awash Rift Valley Area, north-eastern Ethiopia. **Journal of Arid Environments** 58: 135–154, 2004

- SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1990.
- SIAU, J. F. **Transport processes in wood.** Berlin: Springer-Verlag, 245p, 1984.
- SILVA, C. G. M.; MELO FILHO, A. B.; PIRES, E. F.; STAMFORD, T. L. M. Caracterização físico-química e microbiológica de farinha de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D. C.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 733-736, 2007.
- SILVA, M. A. Taxonomy and distribution of the genus *Prosopis* L. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2: 1986: Recife). The current state of knowledge on *Prosopis juliflora*. Rome: FAO, 1988. p. 177-185.
- SOTELO MONTES, C.; WEBER, J. C. Genetic variation in wood density and correlations with tree growth in *Prosopis africana* from Burkina Faso and Niger. **Annals of Forest Science**, v. 66, n. 7, p. 713, 2009.
- SOTELO MONTES, C.; SILVA, D. A.; GARCIA, R. A.; MUNIZ, G. I. B.; WEBER, J. C. Calorific value of *Prosopis africana* and *Balanites aegyptiaca* wood: Relationships with tree growth, wood density and rainfall gradients in the West African Sahel. **Biomass & Bioenergy**, v. 35, p. 346-353, 2011.
- TCHOUNDJEU, Z.; WEBER, J.; GUARINO, L. Germplasm collections of endangered agroforestry tree species: the case of *Prosopis africana* in the semi-arid lowlands of West Africa. **Agroforestry Syst.**, v. 39, p. 91-100, 1997.
- THOMAS, R. J. **Wood: formation and morphology.** In: LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I. S. Wood structure and composition. Nova York: Marcel Dekker Inc. 1991. p.7-47.
- TRENBERTH, K. E.; JONES, P. D.; AMBENJE, P.; BOJARIU, R.; EASTERLING, D.; KLEIN TANK, A.; PARKER, D.; RAHIMZADEH, F.; RENWICK, J. A.; RUSTICUCCI, M.; SODEN, B.; ZHAI, P. **Observations: surface and atmospheric climate change.** In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Eds). Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment report of the Intergovernmental panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. p. 235-336, 2007.
- WALKER, J. C. F. 2006. **Primary Wood Processing. Principles and Practice.** 2nd Edition, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. 596 p.
- WEBER, J. C.; LARWANOU, M.; ABASSE, T. A.; KALINGANIRE, A. Growth and survival of *Prosopis africana* provenances tested in Niger and related to rainfall gradients in the West African Sahel. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 585-592, 2008.
- WEZEL, A.; LYKKE, A. M. Wood vegetation change in Sahelian West Africa: evidence from local knowledge. **Environment, Development and Sustainability**, v. 8, p. 553-567, 2006.

WIEDENHOEFT, A. **Structure and function of wood.** In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook - Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010, 508 p.