



**INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**

**DIVISÃO DA AGRICULTURA**

**LICENCIATURA EM ENGENHARIA FLORESTAL**

***Tema: Avaliação da secagem e qualidade da madeira de *Brachystegia spiciformis* (Messassa) submetida a secagem ao ar livre e em estufa solar***

**Discente:**

Fátima Vasco Selimane Ussene

**Tutor:**

Eng. Pedro Venâncio Wate

**Co-Tutor:**

Eng. Martins Eugénio Aboo

Lionde, Agosto de 2018



# **INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**

## **DIVISÃO DA AGRICULTURA**

### **LICENCIATURA EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Projecto de licenciatura sobre Avaliação da secagem e qualidade da madeira de *Brachystegia spiciformis* submetida a secagem ao ar livre e em estufa solar apresentado ao Curso de Engenharia Florestal na divisão da Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Florestal.

**Tutor:**

Eng. Pedro Venâncio Wate

**Co-Tutor:**

Eng. Martins Eugénio Aboo

Lionde, Agosto de 2018



# **INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**

## **DIVISÃO DA AGRICULTURA**

### **LICENCIATURA EM ENGENHARIA FLORESTAL**

#### **Declaração**

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações dos meus tutores, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, Agosto de 2018

---

(Fátima Vasco Selimane Ussene)

## ÍNDICE

Declaração .....	i
ÍNDICE DE TABELAS .....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iii
LISTA DE FÓRMULAS .....	iv
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1.INTRODUÇÃO .....	1
1.1.Problema e justificação do estudo.....	2
1.2.OBJECTIVOS.....	3
1.2.1.Geral: .....	3
1.2.2.Específicos:.....	3
1.3.Hipóteses do estudo.....	3
2.REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1.Classificação taxonómica da <i>Brachystegia spiciformis</i> .....	4
2.1.1.Características gerais .....	4
2.1.2.Descrição botânica .....	4
2.1.3.Ocorrência .....	5
2.1.4.Utilidade .....	5
2.2.Secagem de madeira .....	5
2.3.Métodos de secagem.....	6
2.3.1.Secagem ao ar livre .....	6
2.3.2.Secagem artificial a baixa temperatura .....	6
2.3.3.Secagem em estufa convencional .....	7
2.3.4.Secagem em estufa solar .....	7
2.4.Aspectos que influenciam na secagem da madeira .....	8
2.4.1.Factores inerentes a madeira.....	8

---

2.4.1.3. Teor de humidade .....	9
2.4.2. Factores inerentes ao ambiente .....	10
2.5. Classificação da madeira conforme o seu teor de humidade .....	11
2.6. Defeitos provocados pela secagem da madeira .....	11
2.7. Métodos de empilhamento da madeira .....	13
2.8. Densidade da madeira .....	14
3. METODOLOGIA .....	16
3.1. Caracterização da área de estudo .....	16
3.1.2. Superfície e população .....	16
3.1.3. Clima e hidrografia .....	17
3.1.4. Relevo e solos .....	17
3.1.5. Flora .....	17
3.1.6. Fauna .....	17
3.2. Materiais .....	18
3.3. Métodos .....	18
3.3.1. Preparação do material .....	18
3.3.2. Construção da estufa solar .....	18
3.3.3. Secagem ao ar livre e em estufa solar .....	19
3.3.4. Layout da disposição da madeira para secagem .....	20
3.4. Análise de dados .....	20
3.4.1. Teor de humidade e tempo de secagem .....	20
3.4.2. Taxa de secagem .....	20
3.4.3. Densidade .....	21
3.4.4. Avaliação dos defeitos de secagem .....	22
3.4.5. Sanidade da madeira .....	25
3.5. Análise estatística dos dados .....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26

---

4.1. Análise do Teor de humidade e tempo de secagem .....	26
4.2. Avaliação da Taxa de secagem .....	27
4.3. Avaliação da variação da densidade .....	29
4.4. Análise da qualidade da madeira .....	30
4.4.1. Rachaduras superficiais e de topo .....	30
4.4.3. Classificação da madeira quanto a presença de rachaduras .....	31
4.4.4. Avaliação dos empenamentos .....	32
4.4.4.1.1. Classificação da madeira quanto ao índice de arqueamento .....	33
4.4.4.2.1. Classificação da madeira quanto ao índice de encurvamento .....	34
4.4.5. Análise da sanidade da madeira .....	35
5. CONCLUSÃO .....	37
6. RECOMENDAÇÕES .....	38
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
8. APÊNDICES E ANEXOS .....	xliii

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da madeira quanto a presença de rachaduras .....	23
Tabela 2: Classificação da madeira quanto aos empenamentos.....	24
Tabela 3: Classificação da madeira quanto a sanidade .....	25
Tabela 4: Referente a taxa de secagem .....	27
Tabela 5: Concernente ao índice de rachaduras superficiais e do topo .....	30
Tabela 6: Referente ao arqueamento.....	32
Tabela 7: Relativa ao encurvamento.....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2: Ecanoamento .....	12
Figura 3: Encurvamento .....	12
Figura 1: Rachaduras .....	12
Figura 4: Arqueamento .....	13
Figura 5: Torcimento .....	13
Figura 6: Mapa de Moçambique, da Província de Sofala e do Distrito de Cheringoma .....	16
Figura 7: Layout da estufa solar .....	19
Figura 8: Empilhamento da madeira .....	20
Figura 9: Curvas de secagem da madeira de <i>Brachystegia spiciformis</i> ao ar livre e em estufa solar .....	26
Figura 10: Referente a variação da densidade .....	29
Figura 11: Classificação da madeira quanto a presença de rachaduras .....	31
Figura 12: Classificação da madeira quanto ao índice de arqueamento .....	33
Figura 13: Classificação da madeira quanto ao índice de encurvamento .....	34
Figura 14: Classificação da madeira quanto a sanidade.....	36

---

## LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1: Referente a taxa de secagem.....	21
Fórmula 2: Para o cálculo do volume da peça de madeira.....	21
Fórmula 3: Para a determinação da densidade verde da madeira .....	21
Fórmula 4: Relativa a densidade básica da madeira .....	22
Fórmula 5: Referente ao índice de rachaduras .....	22
Fórmula 6: Relativa a mensuração dos empenamentos .....	24

---

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

m - Metro

mm - Milímetro

cm - Centímetro

% - Percentagem

Kg - Quilogramas

Th - Teor de humidade

$m^3$  - Metro cúbico

PSF - Ponto de saturação das fibras

PVC- Policloreto de vinila

MAE- Ministério da Administração Estatal

MICOA- Ministério para Coordenação de Acção Ambiental

IRS- Índice de rachaduras superficiais

IRT- Índice de rachaduras de topo

## RESUMO

A secagem de madeira tem participação destacável nos custos, na utilização e aumenta seu tempo de vida útil. No entanto, este trabalho tem como objectivo avaliar a secagem e qualidade da madeira de *Brachystegia spiciformis* submetida a secagem ao ar livre e em estufa solar. Comparou-se a secagem na estufa e ao ar livre quanto a eficiência de secagem, onde analisou-se a taxa de secagem, o tempo de secagem, controlou-se o teor de humidade, determinou-se a densidade inicial e final e verificou-se a qualidade da madeira de *Brachystegia spiciformis*. O estudo foi conduzido na empresa LevasFlor num período de 42 dias. Para o método de secagem ao ar livre, a madeira foi empilhada sobre uma elevação de 50 cm do solo constituída de blocos e tábuas de madeira. Para a secagem em estufa solar, foi construída uma estufa solar constituída por estrutura de madeira e cobertura com dupla camada de plástico PVC (policloreto de vinila). Em cada método de secagem foram usadas 36 tábuas com as dimensões nominais de  $2.5 \times 10 \times 74$  cm (espessura, largura e comprimento respectivamente), onde 30 tábuas foram submetidas a secagem e posterior controlo de qualidade e 6 tábuas para o controlo de humidade. Foi determinada a densidade verde e a 12% de humidade. A avaliação da qualidade de secagem foi feita pelo método de classificação por aparência, onde, os defeitos analisados foram as rachaduras superficiais e de topo de cada peça de madeira, sanidade e empenamentos. A colheita de dados foi feita semanalmente e para a sua análise e interpretação usou-se o pacote estatístico Statistics versão 9 onde foi feita a descrição estatística dos dados e teste Two - sample T (2T) para a comparação de médias a um nível de significância de 5%. Os resultados obtidos indicaram que a estufa solar foi mais eficiente quanto ao tempo e a taxa de secagem. A taxa de secagem em estufa solar foi 1.93 vezes maior que na secagem ao ar livre. A madeira seca, tanto na estufa solar quanto ao ar livre, apresentou boa qualidade, não sendo verificada a incidência do encanoamento. A incidência de rachaduras de topo resultantes da secagem em estufa solar foi de 14.58% inferior ao verificado ao ar livre que apresentou 18.92%, porém sem diferença significativa. Já a incidência de rachaduras superficiais resultantes da secagem em estufa solar foi de 30.5%, superior em comparação ao processo de secagem ao ar livre de 27.6%. Verificou-se a ocorrência de peças arqueadas onde na estufa apresentou flecha média de curvatura de 0.1675% e ao ar livre de 0.223% e encurvadas em que na estufa a flecha de curvatura média foi de 0.18% e ao ar livre de 0.135%, porém, a diferença entre as flechas de curvatura, foi mínima. A estufa solar mostrou-se como uma alternativa viável, visando a reduzir o tempo de secagem e obter teor de humidade mais baixo, sem reduzir a qualidade da madeira.

**Palavras-Chave:** Teor de humidade, Secagem, Qualidade da madeira.

## ABSTRACT

The wood drying has detachable share of cost in use and increases its service life. However, this study aims to assess the quality and drying wood *Brachystegia spiciformis* subjected to air drying and solar greenhouse. Compared to drying in the oven and air as the drying efficiency, which analyzed the rate of drying, drying time, was controlled moisture content, it determined the initial and final density and was found the quality of wood *Brachystegia spiciformis*. The study was conducted in LevasFlor company over a period of 42 days. For outdoor drying method, the wood was stacked on an elevation of 50 cm of soil comprised blocks and planks of wood. For drying in solar greenhouse, a solar greenhouse structure consists of wood and covered with double-layer plastic PVC (polyvinyl chloride) was constructed. In each drying method were used 36 boards with nominal dimensions of  $2.5 \times 10 \times 74$  cm (thickness, width and length respectively), where 30 tablets were subjected to drying and subsequent quality control and 6 tablets for humidity control. The density was determined of green wood and 12% humidity. The evaluation of drying quality was made by grouping in appearance, where the analyzed defects were superficial and top cracks on both sides of each wood piece, sanity and warping. The results showed that the solar greenhouse was more efficient as to time and the rate of drying. The drying rate in solar greenhouse was 1.93 times greater than in air drying. The dried wood, both in solar greenhouse and outdoors, showed good quality, not being verified the incidence of curling. The incidence of cracks resulting from the top solar drying oven was 14:58% lower than the outdoor showed that 18.92%, with no significant difference. The incidence of surface cracks resulting from drying in a solar greenhouse was 30.5% higher compared to the outdoor drying process 27.6%. It is the occurrence of bent parts where the oven had a mean arrow from 0.1675% curvature and 0.223% outdoors and bent when in the greenhouse the average curvature sag was 0.18% and 0.135% outdoors, but the difference between the curvature of arrows, was minimal. The solar greenhouse proved to be a viable alternative in order to reduce the drying time, and achieve lower moisture content, without reducing the quality of the wood.

**Key words:** Moisture content, drying, wood quality.

## 1. INTRODUÇÃO

O processamento industrial da madeira está entre as principais actividades económicas de Moçambique. A indústria madeireira actual em Moçambique é, quase que exclusivamente, baseada em madeira serrada (CCI, 2003).

A secagem é uma técnica que visa a redução do teor de humidade da madeira, com objectivo de levá-la até um determinado teor de humidade, com um mínimo de defeitos e no menor tempo possível pois, a madeira seca é mais resistente, mais leve e estável, recebe com maior facilidade acabamentos superficiais, pode ser colada sem problemas e é menos susceptível a agentes degradadores (Severo, 1999).

Simpson (1991) e Jankowsky (1995) citam que cerca de 60 a 70% dos gastos em energia no processo de produção de madeira serrada ocorrem na fase de secagem, além disso, essa é a fase que, de modo geral, despense maior tempo no beneficiamento. A taxa de secagem depende tanto dos factores inerentes ao processo de secagem, (temperatura, humidade relativa e velocidade do ar) como também dos factores intrínsecos à madeira (Andrade, 2001).

De acordo com Filipe (2013), a secagem da madeira ao ar livre consiste no empilhamento da madeira e exposição da mesma as condições ambientais sem que haja controlo das condições de secagem. A secagem em estufa solar é um método intermediário entre a secagem ao ar livre e a secagem em estufa convencional. Este método de secagem permite que haja um controlo parcial das condições de secagem para além de ser um método de baixo custo operacional (Melo, 2014).

A escolha de um determinado método de secagem influencia no tempo de secagem, na qualidade do material seco e também na obtenção do teor de humidade desejado para determinada finalidade. É possível reduzir o tempo de secagem, os custos de secagem e a incidência de defeitos, quando o processo é conduzido de modo adequado (Bauer, 2003).

Devido à grande demanda de madeira nobre, surge a necessidade de estudar espécies secundarizadas alternativas que possuam características semelhantes ou melhores que as já utilizadas. Entretanto, o presente trabalho visa comparar o uso da estufa solar e a secagem ao ar livre na qualidade da madeira de *Brachystegia spiciformis* uma vez que há pouca informação sobre seu comportamento, independentemente do método de secagem utilizado.

### 1.1. Problema e justificação do estudo

Nos processos de beneficiamento da madeira segundo Rosso (2006), a secagem é uma etapa de grande importância, pois proporciona vantagens, como a melhoria das características de trabalhabilidade, a utilização da madeira para diversas finalidades e a redução da movimentação dimensional e da possibilidade de ataque de fungos.

Os métodos de secagem mais usados em Moçambique são a secagem ao ar livre e a secagem em estufa convencional. Segundo Susin (2011), a secagem ao ar livre é um método que apesar de não necessitar de alto investimento inicial, há o inconveniente de demandar mais tempo se comparada a outros métodos, além de apresentar um teor de humidade final que dificilmente atinge os níveis desejados e apresenta limitações para certos usos da madeira. Madeira com alto teor de humidade é difícil de ser trabalhada, é susceptível ao ataque de fungos e não aceita com facilidade acabamentos superficiais. A taxa de secagem neste método depende principalmente da temperatura, da humidade relativa do ar e da velocidade do vento.

As estufas convencionais reduzem consideravelmente o tempo de secagem, porém com custos elevados de investimento, manutenção e consumo energético o que em certos casos restringe o seu emprego para a produção em pequena e média escala tendo em conta que a maioria das serrações Moçambicanas apresentam essa característica (Stangerlin, 2009).

Na tentativa de minimizar estes inconvenientes, mostra-se relevante o uso da estufa solar que é um método de secagem intermediário entre a secagem ao ar livre e a secagem convencional apresentando como principais características o baixo custo operacional e um controle parcial das condições de secagem. Em relação a secagem convencional, a secagem solar apresenta baixo custo inicial, baixo custo de operação e supervisão, baixo consumo energético e não necessita de mão-de-obra especializada ou em tempo integral. Em relação a secagem ao ar livre, permite um controlo parcial das condições de secagem.

De acordo com Bunster (1999) a *Brachystegia spiciformis* (Messassa) apresenta uma secagem lenta e é muito susceptível ao ataque de insectos e fungos manchadores. Portanto, com este estudo pretende-se ter conhecimento detalhado sobre o comportamento da madeira de *Brachystegia spiciformis* submetida às condições de secagem ao ar livre e em estufa solar no que tange ao tempo de secagem, taxa de secagem, teor de humidade final, densidade e qualidade da madeira, para com base nessa informação influenciar na tomada de decisão quanto ao melhor método a usar e consequentemente agregar maior valor ao produto final.

## 1.2.OBJECTIVOS

### 1.2.1.Geral:

- ❖ Avaliar o uso da secagem ao ar livre e em estufa solar na qualidade da madeira de *Brachystegia spiciformis*.

### 1.2.2.Específicos:

- ❖ Determinar a taxa de secagem nos dois métodos;
- ❖ Determinar a densidade verde e a 12% de teor de humidade da madeira;
- ❖ Analisar a qualidade da madeira quanto a sanidade (podridões, presença de fungos, manchas e presença de bolor) e defeitos (rachaduras e empenamentos) antes e após a secagem.

## 1.3.Hipóteses do estudo

**Ho:** A madeira de Messassa (*Brachystegia spiciformis*) seca ao ar livre e em estufa solar apresenta a mesma taxa de secagem, mesmo teor de humidade final e mesma qualidade nos dois métodos.

**Ha:** A madeira de Messassa (*Brachystegia spiciformis*) seca ao ar livre e em estufa solar apresenta taxa de secagem, teor de humidade final e qualidade diferente nos dois métodos.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Classificação taxonômica da *Brachystegia spiciformis*

Reino: *Plantae*

Filo: *Magnoliophyta*

Classe: *Magnoliopsida*

Ordem: *Fabales*

Família: *Fabaceae*

Gênero: *Brachystegia*

Espécie: *Brachystegia spiciformis*

#### 2.1.1. Características gerais

*Brachystegia spiciformis* vulgarmente conhecida como Messassa é uma árvore de grande porte, chegando até 35 m de altura e 120 cm de diâmetro, com copa arredondada em forma de guarda chuva nos indivíduos mais velhos. Em áreas secas atinge uma altura e um diâmetro muito menores. A casca é castanha escura ou cinza clara e suave quando jovem, tornando-se posteriormente cinza áspera escura, profundamente fissurada verticalmente e horizontalmente (Storrs 1995).

O cerne desta madeira é castanho de tom variável podendo ser castanho claro amarelado até suavemente avermelhado ou escuro. Apresenta manchas irregulares em faixas largas ou finas orientadas longitudinalmente, grã reversa ou entrecruzada, textura média a grosseira e é medianamente brilhante (Bunster, 1999).

#### 2.1.2. Descrição botânica

As folhas são alternas, compostas paripinadas, constituídas por 2-8 (mais frequente 4) pares de folíolos de forma ovada ou lanceolada. O fruto em legume deiscente, normalmente escondido entre as folhas, de cor castanha ou acinzentada, até 16 cm de comprimento e com ápice acuminado. Cada legume contém até 6 sementes redondas ou oblongas, de cor castanha. Os ramos são pesados, empurrando para cima e para fora, muitas vezes sinuosos e curvos, dando uma forma bela e equilíbrio a árvore. A seiva é profundamente vermelha (Oyen e Louppe, 2012).

### **2.1.3.Ocorrência**

Esta é a espécie mas generalizada de *Brachystegia* no Zimbabwe e Moçambique onde é dominante e ecologicamente importante em grandes áreas de sua escala, ocorrendo em floresta aberta decíduas. Elas são dominantes ou co-dominantes com *Julbernardia globiflora* em Bosques, mais frequentes em altitudes médias a altas (Hong *et al.*, 1996).

### **2.1.4.Utilidade**

*Brachystegia spiciformis* é uma boa espécie melífera. A parte inferior da casca é muito utilizada para fabricar cordas. A madeira é medianamente pesada (645-794 kg/m<sup>3</sup>) e dura, mas não é muito durável e é fácil de serrar porém difícil de aplainar. É uma das espécies mais utilizadas para a produção de carvão no planalto central angolano. A casca é utilizada para construir colmeias tradicionais. As folhas são um bom pasto para o gado (Oyen e Louppe, 2012).

Na medicina uma infusão da raiz oferece tratamento para a disenteria e uma decocção é aplicada como um colírio para conjuntivite (Mbuya, *et al.*, 1994). Ainda o mesmo Autor afirma que a mesma coroa desta espécie fornece uma boa sombra, também são cultivadas como ornamentais devido as suas árvores serem atraentes por causa da coloração cobre e bronzeada de sua folhagem nova sendo por isso uma espécie adequada para zonas de recreio.

A madeira é usada para travessas (com prévio tratamento preservativo) uma vez que é muito susceptível ao ataque de insectos e fungos manchadores, esteiro de minas construção civil e marcenaria ( Bunster, 1999).

## **2.2.Secagem de madeira**

A secagem da madeira segundo ABIMCI (2004), é a perda de água ou dissecação da madeira até atingir o teor de humidade desejado visando melhorar sua estabilidade dimensional, aumentar a resistência mecânica e melhorar suas propriedades físicas, térmicas e acústicas.

Borges (2010) afirma que durante a secagem de madeira, a primeira água a ser retirada é a água livre (presente no lúmen das células) até alcançar um teor de humidade chamado Ponto de Saturação das Fibras - PSF (aproximadamente 30%). Segundo o mesmo autor a retirada desta água causa somente redução de peso. A partir do PSF começa a ser retirada a água de impregnação (encontrada dentro da parede das células), ocasionando além da perda de peso a contracção da madeira, perdendo, então, volume.

## **2.3.Métodos de secagem**

### **2.3.1.Secagem ao ar livre**

De acordo com Bonduelle (2010), a secagem ao ar livre consiste em gradear a madeira serrada em pátios, deixando-a exposta aos factores climáticos de um determinado local até que ela atinja a humidade de equilíbrio do ambiente. Santini (1981), afirma que a taxa de secagem, ou seja, a velocidade com que a secagem ocorre, depende principalmente da temperatura, humidade relativa do ar e velocidade dos ventos. Por exemplo, em locais onde a temperatura é alta, a humidade relativa é baixa e os ventos são frequentes consegue-se secar rapidamente a madeira. Entretanto, em locais onde isso não ocorre, o tempo de secagem pode ser longo. Mesmo que o ambiente não possa ser controlado, existem alguns factores como dimensão e disposição das pilhas, espessura dos tabiques e arranjo físico do pátio, que podem ser controlados favorecendo a taxa de secagem (Santini 1981).

A secagem ao ar livre não é recomendada por alguns autores (Stangerlin 2009; Morais 2014; Trevisan 2013) quando há necessidade de grandes estoques de madeira uma vez que este tipo de secagem se processa de forma lenta afectando o capital de giro da empresa ao longo do tempo de secagem, para além de que caso seja necessário a obtenção de madeira com humidade inferior a humidade de equilíbrio local, o processo se mostra inviável.

### **2.3.2.Secagem artificial a baixa temperatura**

Segundo Rosso (2006) a secagem a baixa temperatura é considerada, normalmente, para reduzir o conteúdo de humidade da madeira desde seu estado verde até o PSF, ou seja  $\pm 30\%$  de humidade. O processo de secagem a baixa temperatura é utilizado geralmente para madeiras difíceis de secar, ou seja, com baixa permeabilidade e propensas ao colapso (Martins 2013). Segundo o mesmo autor, os secadores de baixa temperatura, também chamados de pré-secadores, normalmente operam com grandes capacidades (500 – 1.000m<sup>3</sup>), facilitando a pré-secagem de tábuas, podendo submeter à secagem em uma mesma câmara, espécies e espessuras diferentes. As temperaturas consideradas no pré-secador são de no máximo 50°C (controlada) e a humidade relativa fica em torno de 65% (pouco controlada).

### **2.3.3. Secagem em estufa convencional**

É o processo de secagem mais utilizado no mundo. Considera temperaturas de 50 a 100°C, sendo conduzido em câmaras ou estufas, em que pode-se controlar a temperatura, humidade relativa e a velocidade do ar. A capacidade das estufas varia geralmente entre 10 e 250m<sup>3</sup> e o tempo de secagem é contado em dias ou horas de acordo com a espécie e espessura utilizadas (Simpson 1991).

Devido a sua faixa de temperatura, é o processo de maior aplicação na indústria madeireira. O aquecimento das estufas pode ser por diversas fontes térmicas (vapor de água, água quente, óleo quente), destacando-se o vapor de água. As principais restrições da secagem convencional estão ligadas ao investimento inicial, pois além daqueles directamente relacionados às estufas, são necessárias instalações hidráulicas e eléctricas, rede de vapor, aquisição de caldeira, e outras obras, que em conjunto acabam gerando investimentos elevados (Simpson 1991).

### **2.3.4. Secagem em estufa solar**

De acordo com Stangerlin (2009), a secagem em estufa solar é um método que foi desenvolvido entre o final da década de 1950 e o início da década de 1960, consiste basicamente de uma estrutura de madeira e uma cobertura transparente, a qual permite a passagem da energia solar incidente para o seu interior e minimiza as perdas de calor por irradiação. O mesmo autor afirma ainda que as principais características desse método são o baixo custo operacional, um controle parcial das condições de secagem dentro da estufa e não exposição da madeira a condições de humidade elevada em dias de precipitação.

A secagem em estufa solar é recomendada por diversos autores, Santini (1981); Haque (2002); Bauer (2003) como alternativa a métodos que apresentam elevados custos de investimento, manutenção e consumo energético.

Segundo Barros (2001), o tempo necessário para secar uma carga de madeira numa estufa solar além dos factores de secagem é afectado também pela localização geográfica e condições climáticas. Entretanto, a maior parte dos estudos conduzidos Rehman e Chawla (1980); Johnson (2002); Peck (2005) evidenciaram que o tempo de secagem é sempre menor do que na secagem ao ar livre. Deve-se considerar ainda que nos primeiros estágios de secagem a estufa solar não apresenta superioridade substancial em relação a secagem ao ar livre. Porém, abaixo de 30% de humidade a diferença na velocidade de secagem é bem

evidente (Schneider *et al*, 1993). Estudos evidenciaram ainda que a secagem solar não é tão rápida quanto a secagem em estufa convencional (Sharma *et al*, 1998) porém oferece consideráveis economias em relação ao tempo de secagem ao ar livre. A grande maioria das pesquisas destaca boa qualidade de madeira em estufa solar (Gough, 1880). Geralmente é superior a secagem ao ar livre e em muitos casos igual ou melhor que a secagem em estufa convencional (Plumptre, 1990).

## **2.4.Aspectos que influenciam na secagem da madeira**

### **2.4.1.Factores inerentes a madeira**

#### **2.4.1.1.Massa específica**

A massa específica é uma das mais importantes propriedades da madeira, pois está relacionada à sua resistência. Quanto maior a massa específica, maior a resistência mecânica da madeira. No entanto, é importante observar que quase sempre madeiras de alta massa específica são mais difíceis de secar e, conseqüentemente, demandam maior tempo de secagem (Rocha, 2000).

A massa específica apresenta-se variável tanto entre diferentes espécies como dentro de uma mesma espécie no sentido longitudinal e radial do tronco, entre cerne e borne, entre madeira juvenil e adulta, e dentro do mesmo anel de crescimento entre lenho inicial e lenho tardio (Pádua, 2009). Devido a esta variação, a resistência mecânica de uma árvore jovem é bem inferior a de uma árvore adulta. Por outro lado, a madeira juvenil é mais fácil de secar, pois ao apresentar uma menor massa específica demonstra-se mais permeável (Lima, 1995).

#### **2.4.1.2.Contração e inchamento**

A madeira, por ser um material higroscópico, tem a capacidade de adquirir ou perder água, de acordo com a humidade relativa do ar. Sob condições de alta humidade relativa, a madeira incha, e quando exposta à baixa humidade relativa, a madeira contrai (Gomes, 2014).

Segundo Gatto (2003), a contração é o resultado da retirada de água de impregnação, a qual aumenta com a redução da humidade abaixo do PSF (26-30% de Th). A contração apresenta comportamento diferenciado em seus eixos anatómicos: tangencial, radial e longitudinal.

De acordo com Melo e Tao (2014), a maior contração é a tangencial, seguida da radial e longitudinal, que é quase desprezível. Madeiras que apresentam altos índices de contração são mais difíceis de secarem e mais propensas ao aparecimento de rachaduras e empenamentos (Hsiao, 1997).

A *Brachystegia spiciformis* é uma madeira medianamente retráctil apresentando retracção volumétrica total de 13.6% (Bunster, 1999).

#### **2.4.1.3. Teor de humidade**

Segundo Goulart (2003), não é recomendável a utilização de peças de madeira com acentuada variação no teor de humidade em um mesmo pacote. Acentuadas variações no teor de humidade da madeira podem, em alguns casos, ocasionar sobre secagem da carga, provocando defeitos, como por exemplo, rachaduras. A pré-selecção da madeira, em função do teor de humidade, antes de submetê-la ao processo de secagem, caracteriza-se claramente por uma das melhores formas de otimizar a eficiência da secagem. Isto deve-se ao facto de que peças de madeira com teor de humidade reduzido (pré-secas) irão secar mais rapidamente que a madeira verde (Lima 2003). Dentre os principais benefícios da pré-selecção do material submetido à secagem em função do teor de humidade segundo Gomes (2014) têm-se:

- Redução do tempo de secagem;
- Redução do consumo de energia;
- Melhor uniformidade do teor de humidade final;
- Redução de perdas de material.

#### **2.4.1.4. Dimensão do Material**

Segundo Lima (2003), a mistura de tábuas de vários comprimentos em um mesmo pacote resulta em espaços livres dentro da estufa, dificultando a circulação do ar e aumentando consideravelmente o tempo de secagem, além de provocar o surgimento de defeitos nas peças. É importante considerar tábuas com larguras e espessuras uniformes, pois, peças que apresentam variação na largura ou espessura em uma mesma carga possuem comportamento diferenciado, ocasionando diferenças no teor de humidade final da madeira, além de demandar um maior tempo de secagem e apresentar maior susceptibilidade ao surgimento de defeitos (Galvão 1985).

#### **2.4.1.5. Uso final do Produto**

O uso final também é um factor importante a ser considerado na secagem de madeira pois, as exigências de qualidade são diferentes para os mais variados usos. Alguns usos permitem que a madeira seja seca em temperaturas mais altas, devido ao facto da presença de defeitos não ser relevante. Já no caso das madeiras destinadas a usos de maior valor agregado, por exemplo móveis, exige uma secagem mais cuidadosa, evitando a ocorrência de defeitos (Galvão 1985).

#### **2.4.1.6. Carregamento dos equipamentos**

Segundo Gatto (2003), independentemente do tipo de carregamento, vagonete ou empilhadora, as pilhas de madeira devem ter dimensões compatíveis com as dimensões da estufa. O carregamento acima ou abaixo da capacidade da estufa afecta a qualidade da secagem. A capacidade de carga considera não somente que a madeira esteja apropriadamente empilhada na estufa, como também que a carga ou os pacotes de madeira tenham comprimentos e dimensões adequadas. Um perfeito carregamento deve garantir a estabilidade das pilhas de madeira, ter uma distância de 5 a 10 cm entre as pilhas e ser realizada em um menor tempo de carregamento e descarregamento.

#### **2.4.2. Factores inerentes ao ambiente**

##### **2.4.2.1. Temperatura**

De uma maneira geral, quanto maior a temperatura maior a velocidade de secagem, pois o calor é a fonte da qual as moléculas de água da madeira adquirem a energia cinética necessária para provocar a evaporação, a qual depende tanto da quantidade de energia fornecida por unidade de tempo, como da capacidade do ar de absorver humidade. No entanto, deve-se observar certos limites de temperatura para que não ocorra a degradação térmica da madeira (Bond, 2006).

##### **2.4.2.2. Humidade relativa**

A humidade relativa do ar é a relação existente entre o total de vapor de água presente no ar e a quantidade máxima de vapor que o ar poderia absorver a uma mesma temperatura e pressão (Ducatti, 2001). Portanto, a velocidade na qual se efectua a evaporação da água na superfície de uma peça de madeira é em grande parte função da humidade relativa do ar que está em contacto com a madeira. Se o ar tem quase tanta humidade quanto a que possa reter, este poderá absorver mais humidade, porém de forma relativamente lenta e a secagem se realizará lentamente, porém se ao contrário o ar tiver uma pequena percentagem de humidade este absorverá humidade adicional mais rapidamente e a secagem em tal ambiente será realizada em menor tempo. Para manter a humidade relativa do ar constante durante o processo de secagem, é necessário que haja troca de ar húmido por ar fresco (Voigtlaender 2003).

##### **2.4.2.3. Velocidade do ar**

O fluxo do ar no processo de secagem exerce duas funções básicas: transferência de calor para a superfície da madeira e transferência de massa de vapor de água da superfície para o ar secante (Henriquez 1983). O mesmo autor considera que a influência da velocidade do ar sobre a taxa de secagem é mais significativa a alta temperatura do que em processos

convencionais, pois na secagem convencional o efeito da velocidade do ar decresce rapidamente próximo ao PSF, enquanto que na secagem a alta temperatura este efeito ainda é pronunciado para teor de humidade bem abaixo do PSF.

## **2.5. Classificação da madeira conforme o seu teor de humidade de acordo com Coutinho (1999)**

- Madeira verde: acima do ponto de saturação das fibras (PSF), mais de 30% em geral;
- Madeira comercialmente seca: quando o teor de humidade é menor ou igual a 20%.
- Secagem ao ar livre: o teor de humidade pode reduzir de 18 a 14% dependendo das condições climáticas.
- Madeira anidra: o teor de humidade se iguala a 0%
- Madeira dissecada: teor de humidade menor que 14% (só por secagem em estufa).

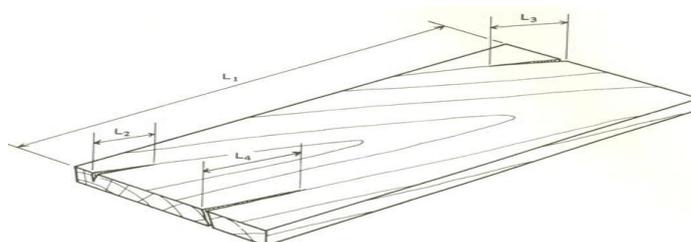
## **2.6. Defeitos provocados pela secagem da madeira**

Para Jankowsky (1995) e Martins (1988), os defeitos de secagem mais comuns na madeira são associados às tensões internas de crescimento trazendo como resultado perdas significativas de madeira durante o processamento industrial.

Estudos indicam que é possível minimizar os efeitos das tensões internas, mas não eliminá-los Hills e Brown, (1988) ; Jara *et al.*, (1997); Luz *et al.*, (1992); Oliveira, (1999). Dentre os defeitos mais frequentes causados pelas tensões internas na madeira serrada segundo Vermaas (2000) encontram-se:

### **➤ Rachaduras**

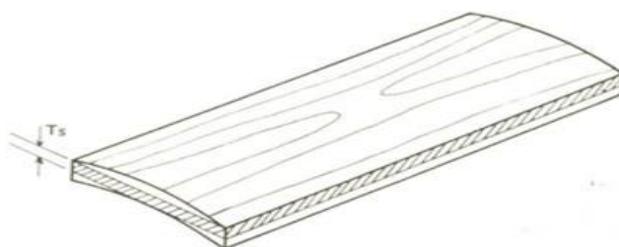
Aberturas de grande extensão no topo ou na superfície da peça. As rachaduras de superfície são resultantes da presença de gradientes de humidade, nesse caso entre a superfície que seca mais rapidamente e a parte central da tábua que apresenta secagem mais lenta. Ocorrem quando as tensões excedem a resistência da madeira a tracção perpendicular as fibras (Denig *et al.*, 2000). No caso das rachaduras de topo, a madeira seca mais rapidamente nas extremidades em comparação com o meio da peça, esse gradiente de humidade dentro da tábua provoca o surgimento de esforços de tracção, que ocasionam as rachaduras (Simpson, 1991).



**Figura 1:** Rachaduras

➤ **Encanoamento**

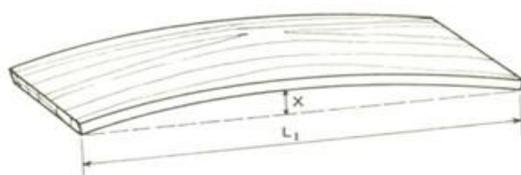
Curvatura através da largura de uma peça de madeira. O encanoamento é resultante da diferença entre as contracções transversais e pela exposição de apenas uma face da tábua a secagem



**Figura 2:** Encanoamento

➤ **Encurvamento**

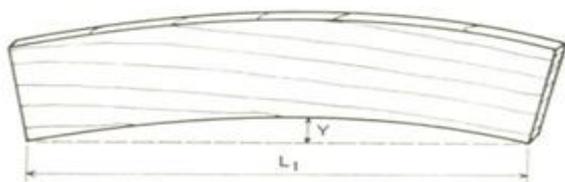
Curvatura ao longo do comprimento da peça de madeira num plano perpendicular a face. De acordo com Brandão (1989), a presença de lenhos anormais e peças orientadas tangencialmente favorecem o encurvamento da madeira.



**Figura 3:** Encurvamento

### ➤ Arqueamento

Curvatura ao longo do comprimento da peça de madeira num plano paralelo a face. O arqueamento é causado pela diferença de contracção longitudinal entre as laterais de uma peça de madeira e presença de lenhos diferentes na mesma, (Martins, 1988).



**Figura 4:** Arqueamento

### ➤ Torcimento

Empenamento helicoidal ou espiral no sentido do eixo da peça de madeira.



**Figura 5:** Torcimento

Ponce (1995) afirma que os empenamentos (encanoamento, encurvamento, arqueamento e torcimento) podem ocorrer durante o desdobro e secagem em virtude das tensões de crescimento. Originam-se das diferenças inerentes as contracções radial, tangencial e longitudinal, irregularidades na grã, presença de lenho de reacção e lenho juvenil.

De acordo com Stangerlin (2009), a manifestação de peças arqueadas ao final da secagem é um dos defeitos mais problemáticos com relação ao seu controle, uma vez que, durante a secagem, as tábuas ficam dispostas sem qualquer restrição lateral que as impeça de trabalharem. Outro defeito de grande relevância quanto ao seu controle, são as rachaduras de topo, que por vezes limitam a utilização da madeira serrada.

## 2.7. Métodos de empilhamento da madeira

Um dos factores importantes na velocidade de secagem e qualidade da madeira é o tipo de empilhamento usado. Segundo Goulart (2003) existem dois métodos de empilhamento de madeira para secagem que são o empilhamento horizontal e o empilhamento vertical em V invertido. O mesmo autor complementa ainda que o empilhamento horizontal segue vários formatos (rectangulares, triangulares, etc.) sendo mais usado o método de tabique no qual são colocadas tábuas sobre uma base afastada do solo em camadas sucessivas afastadas por

separadores que permitem maior circulação de ar entre as tábuas. Geralmente recebe uma cobertura para que as tábuas não fiquem expostas a precipitações atmosféricas. De acordo com Santini (1992) citado por Filipe (2013), este método de empilhamento permite maior uniformidade de secagem da madeira e menor incidência de defeitos.

De acordo com Espinolli (2005), o empilhamento vertical em V invertido consiste na colocação de uma das extremidades das tábuas no solo deixando as tábuas oblíquas de dois lados em forma de V invertido. O mesmo autor acrescenta ainda que este método de empilhamento permite uma secagem mais rápida porém para usos em que a qualidade das tábuas não é muito relevante.

## 2.8.Densidade da madeira

O conceito físico de densidade é geralmente definido como a quantidade de massa contida na unidade de volume. Shimoyama e Barrichelo (1991) asseguram que a densidade é um dos mais importantes parâmetros para a avaliação da qualidade da madeira, não só pela facilidade da determinação, mas porque está relacionada com as demais propriedades do material, apresentando-se essencial para o conhecimento e utilização da madeira.

Existem vários tipos de densidade segundo Hellmeister (1982), nomeadamente:

**Densidade aparente** - é a mais importante para o dimensionamento estrutural, pois possui alta correlação com a resistência e a rigidez mecânica da madeira e é utilizada na determinação do peso próprio do madeiramento da estrutura. É determinada a um determinado teor de humidade (12 %). Segundo Sallenave (1955) citado por Bunster (1999) a densidade a 12% de teor de humidade pode ser classificada da seguinte maneira:

- $<500 \text{ Kg/m}^3$  - muito leve;
- 500 a  $644 \text{ Kg/m}^3$  - leve;
- 645 a  $794 \text{ Kg/m}^3$  - medianamente pesada;
- 795 a  $950 \text{ Kg/m}^3$  - pesada;
- $950 \text{ Kg/m}^3$  - muito pesada.

- **Densidade anidra** - é determinada quando a madeira esta completamente seca, isto é, a 0% de teor de humidade. Apresenta como desvantagem a dificuldade de determinar com exactidão o volume da madeira a 0% de teor de humidade.

- **Densidade básica** - é importante para a programação de secagem e é determinada pela relação entre a massa seca e o volume verde da madeira, isto é, com teor de humidade acima do ponto de saturação das fibras. Este tipo de densidade, não apresenta nenhuma utilidade prática.
- **Densidade verde** - a densidade verde é determinada com a massa e o volume ainda verdes, acima do ponto de saturação das fibras. Normalmente é utilizada na estimativa do peso para transporte.
- **Densidade real** - é a quantidade de material lenhoso, excluindo os espaços vazios, variando pouco entre as espécies, de 1.50 a 1.56 g por  $cm^3$ .

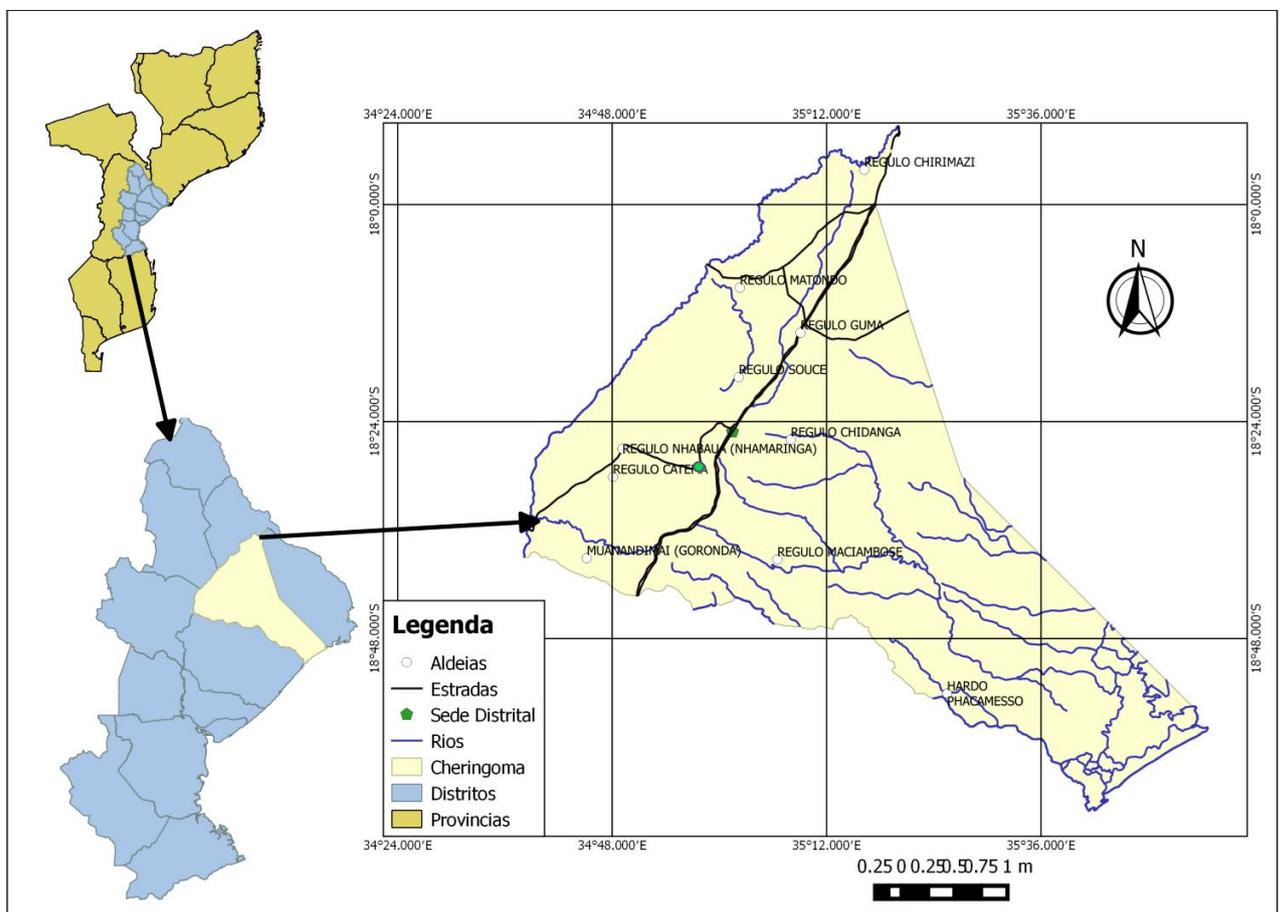
### 3.METODOLOGIA

#### 3.1.Caracterização da área de estudo

##### 3.1.1.Localização

O presente estudo foi realizado na serração Levasflor que encontra-se na Província de Sofala, distrito de Cheringoma que está situado a Nordeste da Província de Sofala, sendo limitado a Norte pelos Distritos de Marromeu e Caia, a Sul pelo Distrito de Muanza, a Oeste pelos Distritos de Gorongosa e Maringué e a Este pelo Oceano Índico (MAE, 2012).

As coordenadas do local do estudo são: Longitude 35°02'005'' a este e latitude sul 18°24'005''.



**Figura 6:** Mapa de Moçambique, da Província de Sofala e do Distrito de Cheringoma

**Fonte:** A autora

##### 3.1.2.Superfície e população

A superfície do distrito é de 7.126 km<sup>2</sup> e a sua população está estimada em 50 mil habitantes à data de 1/7/2012. Com uma densidade populacional aproximada de 6,9 hab/km<sup>2</sup>, prevê-se que o distrito em 2020 venha a atingir os 89 mil habitantes. O distrito apresenta uma taxa de

urbanização de 29%, concentrada na Vila de Inhaminga e zonas periféricas de matriz semi-urbana (MICOA, 2013).

### 3.1.3. Clima e hidrografia

O clima do distrito de Cheringoma é do tipo tropical chuvoso de savana. A região central de Inhaminga, cobrindo toda a faixa ocidental ao longo do vale do “Rift”, regista valores médios anuais na ordem dos 1000 e 1100 mm de chuva, e na região a norte de Inhamitanga e de transição para o vale do Zambeze, a média anual varia entre os 1100 a 1200 mm. Em geral, a distribuição das chuvas é desigual ao longo do ano, cerca de 57 a 73% da precipitação anual ocorre no período de Dezembro de um ano a Março do ano seguinte. A temperatura média anual do ar é de 24,2 °C, com uma amplitude média anual de 6,8 °C, com excepção da zona norte, na transição para o vale do Zambeze, onde a temperatura média anual é de 26°C.

A humidade relativa média anual do ar é de 66% na vila de Inhaminga, com os valores mensais mais elevados nos meses de Fevereiro a Março que se aproximam a 71 e 72% e, valores mais baixos (62%) no período de Agosto a Outubro (MICOA, 2013)

### 3.1.4. Relevo e solos

Os solos de Cheringoma, mostram uma estreita relação com a geologia e o clima da região e são localmente modificados pela topografia e o regime hídrico. Em geral, são agrupados em cinco unidades principais nomeadamente: associação de solos quartzíticos, associação de solos arenosos, associação de solos calcários, associação de solos coluvionares, associação de solos arenosos e argilo-arenosos, associação de solos aluvionares e associação de solos aluvionares da planície deltáica (MAE, 2012).

### 3.1.5. Flora

A vegetação predominante no distrito é do tipo florestal Miombo, tendo como espécies dominantes: *Julbernardia globiflora*, *Brachystegia boehmii*, *Brachystegia spiciformis*, *Albizzia versicolor*, *Burkea africana*, *Terminalia sericea*, *Pterocarpus angolensis*, *Pteleopsis anisoptera*, *Pericopsis angolensis*, *Pseudalchnostylis maprouneifolia*, *Tamarindus indica*, *Isoberlinia sp*, *Amblygonocarpus andogensis*, sendo a mais explorada a *Brachystegia spiciformis* (MAE, 2005).

### 3.1.6. Fauna

A fauna bravia do distrito é importante na alimentação das famílias e tem, também, potencial turístico. A caça com fins alimentares incide principalmente sobre os cabritos do mato, porcos do mato e galinhas do mato. As espécies de fauna bravia existentes no distrito são: *Loxodonta*

*africana*, *Panthera leo*, *Panthera pardus*, *Tragelaphus strepsiceros* e outros antílopes. (MAE, 2014).

### **3.2. Materiais**

Com recurso a madeira, foi feita a estrutura da estufa solar e o plástico PVC serviu para a cobertura da mesma. Usou-se a fita métrica para medir o comprimento e a largura das peças de madeira, o paquímetro para medir a espessura das tábuas de madeira, a balança para fazer a pesagem das tábuas de madeira, foi usada a régua de precisão milimétrica e a fita métrica para medir a flecha de curvatura das peças de madeira, o psicrómetro para fazer a leitura do teor de humidade das peças de madeira e por último a madeira foi submetida a secagem na estufa solar. A câmara fotográfica foi usada para a captura de imagens em todas as fases do estudo.

### **3.3. Métodos**

#### **3.3.1. Preparação do material**

Para a realização deste estudo, foram usadas 72 tábuas com as dimensões nominais de 2.5 cm × 10 cm × 74 cm (espessura, largura e comprimento respectivamente) obtidas a partir da serragem de toros de fuste rectilíneo. Em cada método de secagem foram usadas 36 tábuas em que 30 foram usadas para a avaliação dos defeitos no fim da secagem e 6 para o controlo de teor de humidade durante a secagem e pesagens para o cálculo da densidade.

#### **3.3.2. Construção da estufa solar**

Para a construção da estufa solar, primeiro colocou-se quatro blocos de madeira de 50 cm × 50 cm × 20 cm (espessura, comprimento e largura respectivamente) no chão em forma de quadrado com uma separação de 95 cm × 95 cm (comprimento e largura respectivamente). De seguida foram pregadas tábuas por cima dos blocos de modo a obter-se uma base com elevação de 50 cm do solo. Com a base feita, foi colocado o plástico PVC (policloreto de vinila) por cima da mesma de modo a evitar interferências externas no processo de secagem. Em seguida, com ripas de madeira foi feita a estrutura da estufa com 130 cm de altura maior e 100 cm de altura menor. Por fim, foi feita cobertura dupla da estufa com plástico PVC transparente para facilitar a passagem da energia solar para o interior da mesma e foram confeccionadas aberturas de 20 cm × 20 cm nas paredes laterais para permitir a ventilação e uma de 30 cm × 30 cm para permitir a retirada e reposição das peças de controlo para o monitoramento do teor de humidade e pesagens periódicas. A estufa foi construída virada ao pólo norte para garantir a maximização dos raios solares durante o dia e consequentemente a uniformidade de secagem da madeira como mostra a figura abaixo:



**Figura 7:** Layout da estufa solar

**Fonte:** Fátima Ussene

### 3.3.3. Secagem ao ar livre e em estufa solar

O período de secagem da madeira nos dois métodos foi de 42 dias. A secagem ao ar livre foi realizada próximo da estufa solar, a 10 m de distância para evitar variações climáticas nas duas metodologias de secagem, num local relativamente seco, bem drenado, arejado e com um alpendre para evitar que a madeira molhasse nos dias de precipitação atmosférica. As tábuas foram empilhadas horizontalmente sobre uma estrutura de tábuas elevada a 50 cm do solo. A orientação das pilhas foi realizada virada paralelamente ao pólo norte para garantir a maximização dos raios solares durante o dia. Tanto na secagem em estufa solar quanto na secagem ao ar livre, a disposição das tábuas foi constituída de 6 colunas com 6 tábuas cada, com ripas separadoras de 6.5 cm × 2 cm (comprimento e largura respectivamente) entre elas para permitir a circulação de ar e evitar a deterioração por humidade.

### 3.3.4. Layout da disposição da madeira para secagem



**Figura 8:** Empilhamento da madeira

**Fonte:** Fátima Ussene

### 3.4. Análise de dados

#### 3.4.1. Teor de humidade e tempo de secagem

O teor de humidade da madeira foi controlado semanalmente no período da manhã, das 9 às 11h com o auxílio de um psicrómetro digital de duas agulhas. As agulhas eram introduzidas na madeira a um terço de profundidade da espessura e automaticamente o aparelho registava o conteúdo de humidade presente na peça de madeira.

Quanto ao tempo de secagem, foi adoptado um ponto de referência de 16% de teor de humidade para possibilitar a comparação entre a secagem ao ar livre e em estufa solar uma vez que a redução do teor de humidade ao ar livre varia de 18 a 14% dependendo da época e das condições climáticas de cada região.

#### 3.4.2. Taxa de secagem

Foi determinada a taxa de secagem de cada peça de controlo (12) e por fim foi achada a média. As amostras de controlo foram alocadas em locais de fácil remoção e reposição, visando a uma medição real e representativa do teor de humidade da pilha, fazendo-se leituras periódicas para controlo do teor de humidade. Com base nos dados obtidos do teor de humidade da madeira, foram determinadas as taxas de secagem para cada método, aplicando-se a equação usada por (Susin *et al.*, 2014):

$$TS = \frac{Thi - Thf}{t} \quad \text{Fórmula [1]}$$

Onde:

$Ts$  = taxa de secagem (%/dia);

$Thi$  = teor de humidade inicial (%);

$Thf$  = teor de humidade final (%);

$t$  = tempo de secagem decorrido (dias).

### 3.4.3. Densidade

A densidade é a relação entre a massa e o volume. Para o cálculo da densidade foi determinado o volume da peça de madeira multiplicando-se o comprimento, a largura e a espessura. As medições das espessuras e larguras foram efectuadas nas duas extremidades (a cinco centímetros dos topos) e no centro das peças. Para a obtenção da massa, as peças de madeira foram pesadas com o auxílio de uma balança analógica com capacidade de até 20kg.

$$V_P = C \times L \times E \quad \text{Fórmula [2]}$$

Onde:

$V_P$  = volume da peça em  $m^3$ ;

$L$  = largura média da peça em metros;

$C$  = comprimento da peça em metros e;

$E$  = espessura média da peça em metros.

Foi determinada a densidade com a madeira ainda verde, isto é, antes de ser submetida a secagem a partir da fórmula de densidade verde:

$$Dv = \frac{mv}{vv} \quad \text{Fórmula [3]}$$

Onde:

$D_v$  = densidade verde da peça em  $\text{kg/m}^3$ ;

$m_v$  = massa verde da peça em kg;

$v_v$  = volume verde da peça em  $\text{m}^3$

Quando o teor de humidade da madeira atingiu 12%, foi determinada a densidade aparente a 12% em que foi usada a massa e o volume a 12% de teor de humidade.

$$D_a = \frac{m_{12\%}}{v_{12\%}} \quad \text{Fórmula [4]}$$

Onde:

$D_a$  = densidade a 12% de teor de humidade em  $\text{kg/m}^3$ ;

$m_{12\%}$  = massa seca na estufa a 12% de teor de humidade em kg;

$v_{12\%}$  = volume a 12% teor de humidade em  $\text{m}^3$ .

#### 3.4.4. Avaliação dos defeitos de secagem

Após a secagem, foram avaliados os seguintes defeitos: rachaduras dos topos e das superfícies que foram verificadas nos dois topos e nas duas superfícies das peças de madeira, empenamentos (encurvamento, encanoamento e arqueamento) e sanidade (podridões, presença de fungos, manchas e presença de bolor). A quantificação e análise dos defeitos foi realizada individualmente em todas as tábuas com o auxílio de uma régua graduada de precisão milimétrica onde foi utilizada a metodologia apresentada por Rocha (2000) e Stangerlin (2009), sendo que os defeitos avaliados foram:

##### ➤ Rachaduras

As rachaduras de topo e de superfície foram quantificadas considerando-se o somatório do comprimento de cada rachadura da peça, e foi definida pela Equação:

$$IRT/S = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{L} * 100 \quad \text{Fórmula [5]}$$

Onde:

IRT/S = índice de rachaduras de topo ou de superfície (%);

$l_1 + l_2 + \dots + l_n$  = comprimento individual das rachaduras (mm);

L = comprimento total da peça (mm).

Para a classificação da madeira quanto as rachaduras, usou-se o método de classificação por aparência da norma NBR 9487 da ABNT, visto que é empregado largamente em madeiras de coníferas e em madeiras de folhosas. Portanto, considerou-se o número, a importância e a distribuição dos defeitos nas peças de madeira. Esta norma compreende 4 classes de qualidade, nomeadamente:

**Tabela 1:** Classificação da madeira quanto a presença de rachaduras

Classes de qualidade	Descrição
1 <sup>a</sup>	É a mais rígida, compreende peças de madeira isentas de rachaduras;
2 <sup>a</sup>	Peças com rachaduras pouco relevantes, que a sua ocorrência não compromete a aplicabilidade da madeira;
3 <sup>a</sup>	Compreende peças de madeira com rachaduras pouco distribuídas nas extremidades, cujo comprimento cumulativo seja inferior a 10% do comprimento total da tábua;
4 <sup>a</sup>	Peças com rachaduras medianamente distribuídas pela face da madeira cujo comprimento cumulativo das mesmas não ultrapasse 10% do comprimento total da tábua.

Fonte: ABNT (1986)

Foram consideradas peças defeituosas aquelas acima do admitido para a 4<sup>a</sup> classe da norma NBR 9487 da ABNT adotando-se a classificação pela pior face da peça de madeira.

➤ Empenamentos

O encurvamento e arqueamento foram quantificados pela relação entre o comprimento total da tábua e a flecha de curvatura da peça, medidos com ajuda de uma fita métrica e de uma régua graduada de precisão milimétrica respectivamente utilizando a Equação:

$$L_{ea} = \frac{X}{L} \times 100\% \quad \text{Fórmula [6]}$$

Onde:

$L_{ea}$  = Índice de encurvamento ou arqueamento (%);

$X$  = flecha de curvatura da peça (mm);

$L$  = comprimento da peça (mm).

Os empenamentos foram classificados considerando-se a flecha de curvatura da peça de madeira, compreendendo as seguintes classes:

**Tabela 2:** Classificação da madeira quanto aos empenamentos

Classes de qualidade	Descrição
A	Compreende peças de madeira isentas de qualquer tipo de empenamento;
B	Diz respeito a peças de madeira com flecha de curvatura pouco relevante e que não restringe o uso das tábuas;
C	Engloba peças de madeira com empenamentos acentuados, restringindo o uso das mesmas para certos usos específicos.

Fonte: ABNT (1986)

### 3.4.5. Sanidade da madeira

A avaliação da sanidade da madeira foi feita a partir do método de observação directa, onde observou-se a presença de podridões, fungos, manchas e presença de bolor. As tábuas foram agrupadas em três grupos como mostra a tabela abaixo:

**Tabela 3:** Classificação da madeira quanto a sanidade

Sanidade	Descrição
Boa	Sem podridões, manchas ou bolor;
Razoável	Manchas ou bolor em áreas não muito relevantes ou possíveis de correcção (nas extremidades das tábuas);
Baixa	Podridões, manchas ou bolor em toda a superfície de ambas faces da peça.

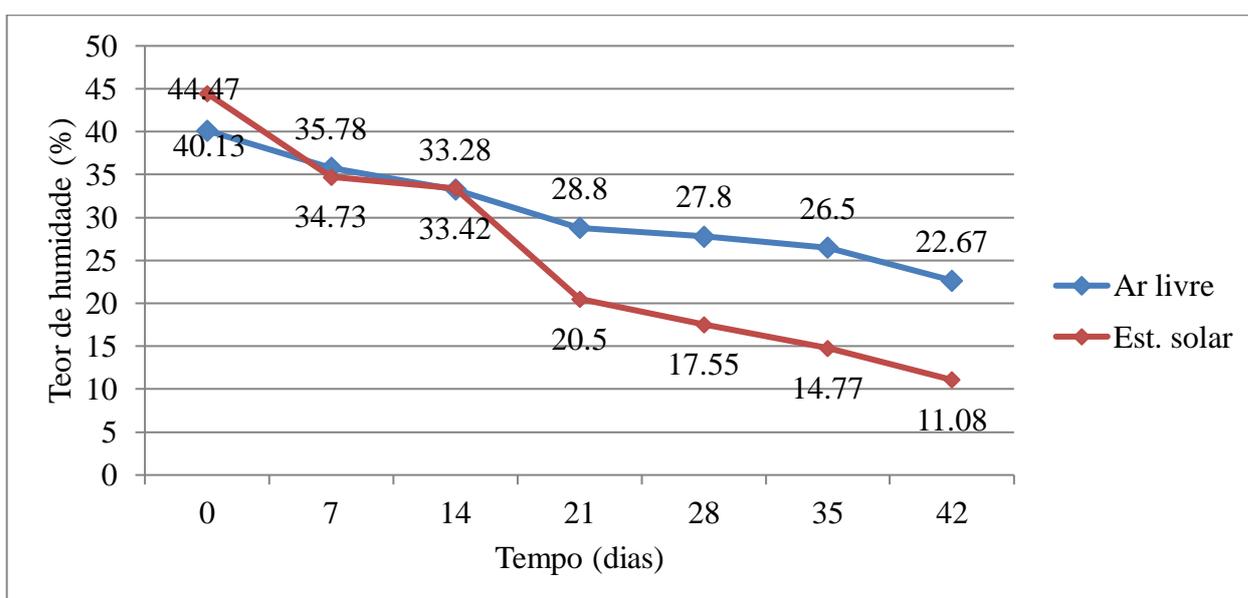
### 3.5. Análise estatística dos dados

Após a recolha de dados, os mesmos foram levados para o processamento, onde foi feita a organização dos mesmos no Microsoft Excel e depois passados para o Statistics onde foi feita a análise descritiva dos dados e o teste t student para amostras independentes Two sample T (2T) a um nível de 5% de probabilidade de erro para comparação das médias entre os dois métodos de secagem aplicados no que se refere a taxa de secagem, rachaduras de topo e superfície, arqueamento e encurvamento.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise do Teor de humidade e tempo de secagem

A madeira submetida à secagem em estufa solar apresentou teor de humidade inicial médio igual a 44.47% no início do processo, atingindo após 42 dias, um teor de humidade final médio igual a 11.08%. A secagem ao ar livre, por sua vez, teve início com teor de humidade de 40.13% e após 42 dias, o teor de humidade atingiu um valor de 22.67% (Ver figura 9). A diferença entre os teores de humidade inicial se deve a variação existente no conteúdo de humidade da madeira (Bauer, 2003). O coeficiente de variação ao ar livre foi de 13.96% e em estufa solar de 14.92%, considerando-se baixa dispersão dos dados segundo Ferreira (1991) (Ver anexo 1). De acordo com Bond (2006), a secagem em estufa solar pode possibilitar uma redução do teor de humidade da madeira de 8 a 10% nos meses de primavera - verão num período de até 20 dias. Neste estudo, o conteúdo de humidade reduziu até 11.08% em 42 dias não corroborando com a literatura. A diferença dos teores de humidade finais nos dois processos de secagem, pode ter se dado devido às condições ambientais que se mostraram desfavoráveis à secagem no período (chuvoso), em que as condições atmosféricas são menos favoráveis à secagem devido a baixa insolação e radiação solar, assemelhando-se aos resultados obtidos por Haque (2002) e Santini (1984) que ao realizarem a secagem em estufa solar e ao ar livre em período de inverno, também verificaram dificuldade em obter uma redução significativa do teor de humidade na secagem ao ar livre.



**Figura 9:** Curvas de secagem da madeira de *Brachystegia spiciformis* ao ar livre e em estufa solar

**Fonte:** Fátima Ussene

Analisando as curvas de secagem de *Brachystegia spiciformis* (Messassa), verifica-se que a redução da humidade nos dois processos é quase que linear até ao final da segunda semana, onde a secagem ao ar livre apresentou um teor de humidade de 33.28% e a estufa solar 33.42%. Ambos métodos, apresentaram maior redução de humidade na terceira semana, em que na estufa foi de 12.92% e ao ar livre de 4.48%, devido ao aumento da temperatura do ambiente nesse período e consequentemente na estufa solar. É interessante observar que abaixo do ponto de saturação das fibras da *Brachystegia spiciformis* (26% de teor de humidade) observou-se uma redução maior do teor de humidade na secagem em estufa solar, que no final da secagem apresentou teor de humidade de 11.08%, variação diferente ao verificado na secagem ao ar livre que apresentou secagem mais lenta obtendo no final da secagem um teor de humidade de 22.67%. Busatto (2013), em seu estudo também verificou que a tendência de decréscimo do teor de humidade das tábuas na estufa solar apresentou uma aceleração quando as mesmas obtiveram teor de humidade abaixo do ponto de saturação das fibras e as tábuas secas ao ar livre acima do ponto de saturação das fibras.

Para possibilitar que o tempo de secagem em estufa solar e o tempo de secagem ao ar fossem comparados, foi adoptado um ponto de referência ao teor de humidade de 16%. Nessa situação, a secagem em estufa solar foi mais rápida pois atingiu o teor de humidade de referência aos 35 dias ao passo que as tábuas secas ao ar livre não atingiram esse teor de humidade durante a secagem.

#### 4.2. Avaliação da Taxa de secagem

A taxa de secagem é a velocidade com que a madeira leva para secar durante um certo período de tempo. Na tabela abaixo (Tabela 4), estão patentes os resultados relativos a taxa de secagem para as 12 peças de controlo e a média em percentagens para os dois métodos de secagem.

**Tabela 4:** Referente a taxa de secagem

Métodos de secagem	Thi (%)	Thf (%)	Ts (%/dia)	CV (%)
Ar livre	40.13	22.67	0.4167 b	45.58
Estufa solar	44.47	11.08	0.8033 a	16.93

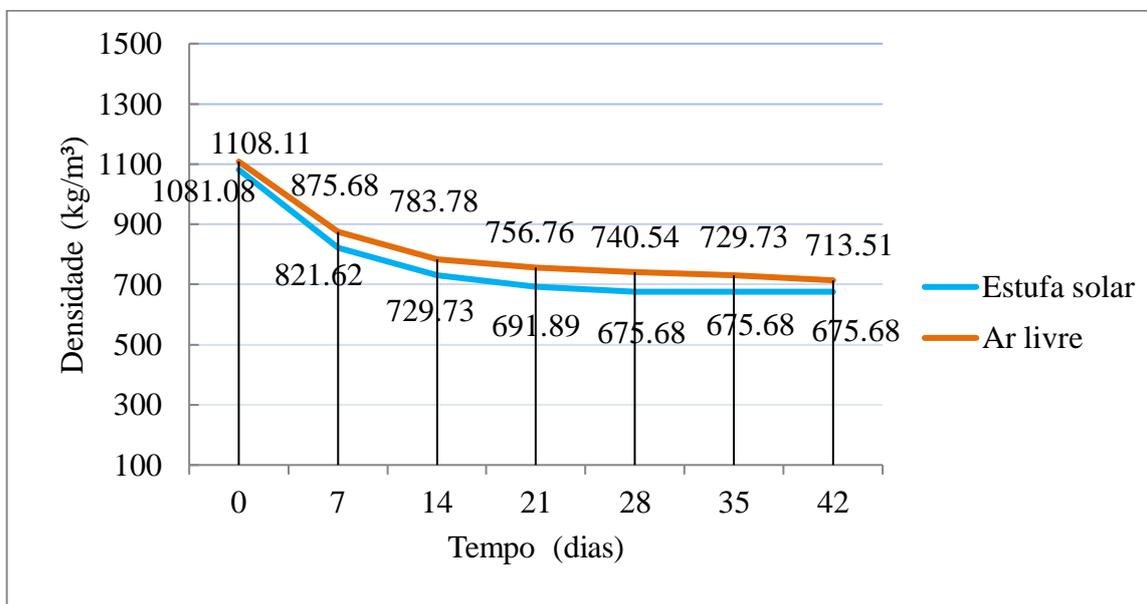
Em que:  $T_{hi}$  = teor de humidade inicial;  $T_{hf}$  = teor de humidade final;  $T_s$  = taxa de secagem; Médias seguidas por letras diferentes, diferem significativamente entre si ( $p$  – value <0.05).

Ao analisar a taxa de secagem nos dois métodos, verificou-se que o coeficiente de variação das peças ao ar livre foi de 45,58% e na estufa solar de 16,93% considerando-se muito alta e média dispersão de dados respectivamente segundo Ferreira (1991) (Ver anexo 1), a média foi maior na secagem em estufa solar (0,8033%/dia), comparativamente ao método de secagem ao ar livre (0,4167%/dia), apresentando diferença significativa num nível de confiança de 95%. Stangerlin *et al.* (2009), ao estudarem o comportamento de secagem de três espécies de *Eucalyptus sp.*, obtiveram resultados semelhantes. No entanto, alguns autores, como Busatto e Pilger (2013), citam que a secagem em estufa solar, quando comparada ao ar, por vezes pode ter o inconveniente de apresentar taxas de secagem praticamente iguais até a completa retirada da água capilar, acima do PSF. Deve-se salientar que a taxa de secagem no método de secagem em estufa foi 1,93 vezes maior em relação a taxa obtida ao ar livre corroborando com a literatura, pois Santini (1981) e Sharma *et al.* (1974) citados por Morais (2014), destacaram que por mais simples que seja a construção da estufa solar, a mesma deveria apresentar uma taxa de secagem aproximadamente duas vezes mais rápida que a verificada ao ar livre considerando-se madeiras com espessura de 25 mm, a mesma que foi usada neste estudo.

A massa específica também apresenta influência sobre a taxa de secagem, em que madeiras com menor massa específica secam mais rápido. De acordo com Brown *et al.* (1982), a pequena quantidade de parede celular, a qual dificulta a movimentação da água, e a grande quantidade de lumens, por onde a água tem uma rápida movimentação, favorece a taxa de secagem em madeiras de menor massa específica. Neste estudo, apesar da espécie ser a mesma e conseqüentemente a mesma massa específica, as taxas de secagem foram maiores na estufa solar em relação ao ar livre pois, as peças secas em estufa por apresentarem menor teor de humidade, observou-se maior redução da massa específica.

### 4.3. Avaliação da variação da densidade

A figura abaixo (10), ilustra a variação da densidade da madeira de *Brachystegia spiciformis* no método de secagem ao ar livre e em estufa solar:



**Figura 10:** Referente a variação da densidade

**Fonte:** Fátima Ussene

No método de secagem ao ar livre, foi verificada uma densidade verde de  $1108.11 \text{ kg/m}^3$  tendo atingido em 42 dias  $713.51 \text{ kg/m}^3$  com um teor de humidade de 22.67% apresentando uma redução de  $394.6 \text{ kg/m}^3$ . O volume manteve-se constante nos 42 dias, porém a massa apresentou redução de  $0.73 \text{ kg}$  e o teor de humidade de 17.46% no final da secagem. A densidade aparente não foi determinada, pois, a secagem não atingiu o nível desejado (12 % de teor de humidade). Em relação a estufa solar, verificou-se uma variação diferente, onde, a densidade verde foi de  $1081.08 \text{ kg/m}^3$  tendo atingido após 42 dias  $675.68 \text{ kg/m}^3$  apresentando uma redução de  $405.4 \text{ kg/m}^3$ . O volume manteve-se constante até os 28 dias tendo reduzido em  $0.000074 \text{ m}^3$  nos 35 e 42 dias. A massa apresentou redução de  $0.8 \text{ kg/m}^3$  e o teor de humidade de 33.39%. A densidade aparente ou a 12 % de teor de humidade foi de  $675.68 \text{ kg/m}^3$  com um teor de humidade de 11.08% classificando-se a madeira de *Brachystegia spiciformis* em medianamente pesada segundo a classificação de Sallenave (1955) citado por Bunster (1999).

#### 4.4. Análise da qualidade da madeira

##### 4.4.1. Rachaduras superficiais e de topo

A percentagem de peças de madeira com rachaduras de superfície resultantes do processo de secagem em estufa solar foi de 30.5 %, enquanto que, naquelas submetidas ao processo de secagem ao ar livre, foi de 27.6 %. Quanto as rachaduras de topo na madeira submetida à secagem em estufa solar foi de 14,58 %, menor que a verificada ao ar livre, de 18,92 % como ilustra a tabela número 5 abaixo:

**Tabela 5:** Concernente ao índice de rachaduras superficiais e do topo

Métodos de secagem	Rachaduras superficiais			Rachaduras de topo		
	Após serragem	Após secagem	IRS	Após serragem	Após secagem	IRT
Ar livre	12.4%	40%	27.6% a	10.27%	29.19%	18.92% a
Estufa	12.7%	43.2%	30.5% a	16.22%	30.8%	14.58% a

As médias do IRS (índice de rachaduras superficiais) e IRT (índice de rachaduras de topo) não diferem significativamente entre si (  $p\text{-value} > 0.05$ ) segundo o teste Two sample T (2T).

A secagem em estufa solar apresentou um maior índice de rachaduras superficiais em comparação com o método de secagem ao ar livre, apesar da diferença não ser significativa a 95 % de nível de confiança do teste 2T , corroborando com os resultados obtidos por Susin (2014) ao comparar a secagem da *Hovenia dulcis* em estufa solar e ao ar livre. Todavia, Williams (1982), Williams (1983) e Sattar (1987) verificaram uma tendência contrária em seus estudos, onde foi verificada uma melhor qualidade da madeira no processo de secagem em estufa solar em comparação com a secagem ao ar livre.

Segundo Haque (2002), este defeito ocorre principalmente na fase inicial de secagem (primeira semana) e quando detectado a tempo pode ser reduzido aumentando-se a humidade relativa dentro da câmara. Neste estudo, apesar das temperaturas iniciais ficarem abaixo de 45°C, limite máximo proposto por Vermaas (1995) e humidades relativas altas para minimizar e/ou evitar a incidência de rachaduras na madeira, verificou-se altos percentuais de peças com rachaduras (Ver apêndice 6). No entanto, a presença de rachaduras de superfície

nas peças de madeira ensaiadas não causou grandes prejuízos na qualidade da madeira, devido às pequenas dimensões.

Uma possibilidade de redução do número de peças rachadas superficialmente é por meio do aplainamento das tábuas, antes de se processar a secagem. O aplainamento das tábuas elimina a marca dos dentes da serra os quais facilitam o surgimento das rachaduras (Cuppett e Craft, 1972; Cech e Pfaff, 1977; Severo, 2000).

No que se refere as rachaduras de topo, os resultados obtidos neste estudo, igualam-se aos obtidos por Chudnoff *et al.* (1966), Chen e Rosen (1979) e Tschernitz e Simpson (1979) citados por Haselein (2009).

Vital e Cueto (1997) no seu estudo, observaram uma tendência contrária, onde a secagem em estufa solar apresentou alta incidência de rachaduras de topo em comparação ao ar livre.

Este facto pode ter se dado devido a época em que foram realizados os estudos, pois, o presente estudo foi realizado na época chuvosa ao passo que Vital e Cueto (1997) realizaram o seu estudo na época seca.

Segundo Yang (1980) uma alternativa para diminuir a incidência de IRT nas tábuas durante a secagem em estufa solar seria pintar os topos das peças, para que a saída de água seja mais lenta, reduzindo o gradiente de humidade entre o topo e o centro das tábuas.

#### 4.4.3. Classificação da madeira quanto a presença de rachaduras

Tanto no método de secagem em estufa solar quanto no método de secagem ao ar livre nenhuma peça foi considerada defeituosa, tendo sido observadas apenas a 1ª classe e 2ª classe, segundo a norma NBR 9487 de 1987 como ilustra a figura 11 abaixo:



**Figura 11:** Classificação da madeira quanto a presença de rachaduras

**Fonte:** Fátima Ussene

#### 4.4.4. Avaliação dos empenamentos

##### 4.4.4.1. Arqueamento

A Tabela 6 apresenta o percentual da diferença do arqueamento médio nas duas fases de avaliação (após a serragem e após a secagem) para a madeira de *Brachystegia spiciformis* submetida aos dois métodos de secagem.

**Tabela 6:** Referente ao arqueamento

Método de secagem	Percentagem de peças arqueadas	Após serragem	Após secagem	Diferença do arqueamento médio
Ar livre	10%	0.363 %	0.586 %	0.223 % a
Estufa solar	13.3%	0.34 %	0.5075 %	0.1675 % a

As médias da diferença do arqueamento médio não diferem significativamente entre si ( $p$  - value > 0.05) do teste 2T.

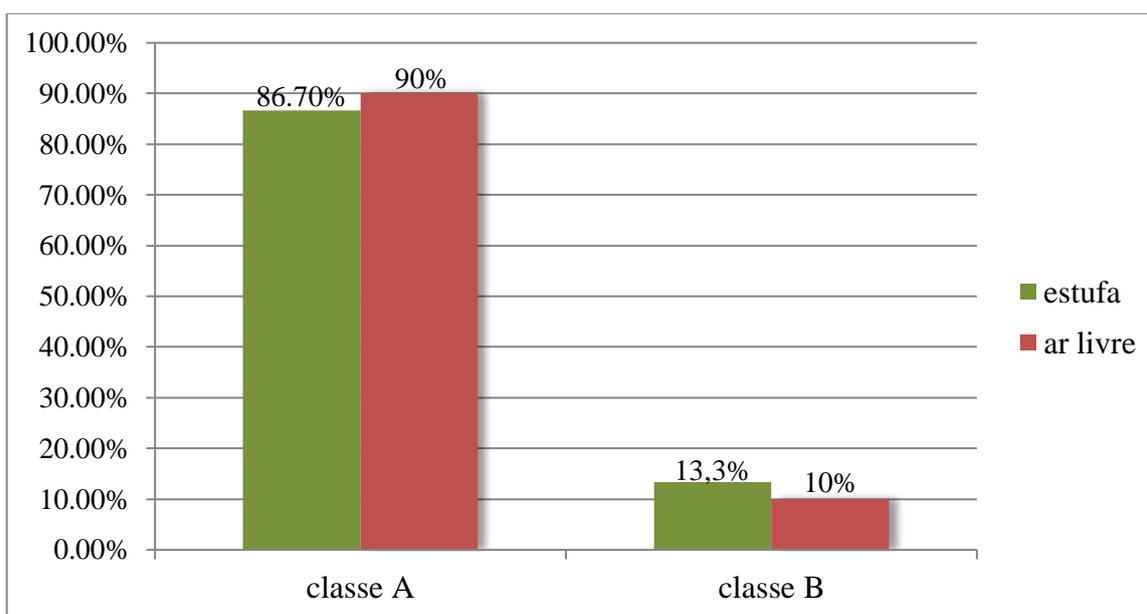
Ao analisar as médias do índice de arqueamento das peças, observou-se que na estufa solar apesar da percentagem maior de tábuas com este defeito (13.3%), a diferença do arqueamento médio 0.1675 % é menor em relação ao da secagem ao ar livre 0.223 %. Santini (1981) ao analisar o acréscimo da flecha de arqueamento em madeiras de *Eucalyptus grandis* também verificou ao final da secagem que o arqueamento foi mais severo nas tábuas secas ao ar livre. Todavia, Bauer (2003) verificou tendência contrária, sendo observada maior percentagem de peças arqueadas na secagem em estufa quando comparada ao ar livre. A manifestação de peças arqueadas ao final da secagem é um dos defeitos mais problemáticos com relação ao seu controle, uma vez que durante a secagem as tábuas ficam dispostas sem qualquer restrição lateral que as impeça de trabalharem (Lumley e Choong 1981).

Segundo Lima (2005) para que o defeito de arqueamento possa ser reduzido no processo de secagem deve-se evitar o desdobro de toros que apresentem alguma excentricidade, dada pelo deslocamento de medula. Além disso, deve-se ter cuidados quanto a execução de cortes assimétricos devido ao mau posicionamento do toro no carregamento. Apesar de maiores percentagens de arqueamento no processo de secagem ao ar livre, ao analisar as médias das flechas de arqueamento, não foram observadas diferenças significativas entre os métodos de secagem estudados num nível de probabilidade de erro de 5 %.

Chen e Rosen (1979) também não verificaram diferença significativa para o defeito nas duas metodologias de secagem, apesar da qualidade da madeira ter sido um pouco superior na secagem ao ar livre.

#### 4.4.4.1.1. Classificação da madeira quanto ao índice de arqueamento

Das 30 peças analisadas, foram verificadas apenas as classes de qualidade A e B como mostra a figura 12 abaixo:



**Figura 12:** Classificação da madeira quanto ao índice de arqueamento

**Fonte:** Fátima Ussene

#### 4.4.4.2. Encurvamento

A flecha média do índice de encurvamento após a serragem, após a secagem e a diferença em percentagens para a madeira de *Brachystegia spiciformis* pode ser observada na tabela 7 abaixo:

**Tabela 7:** Relativa ao encurvamento

Método de secagem	Percentagem de peças encurvadas	Após serragem	Após secagem	Diferença do encurvamento médio
Ar livre	13.3%	0.305 %	0.44 %	0.135 % a
Estufa solar	20%	0.34 %	0.52 %	0.18 % a

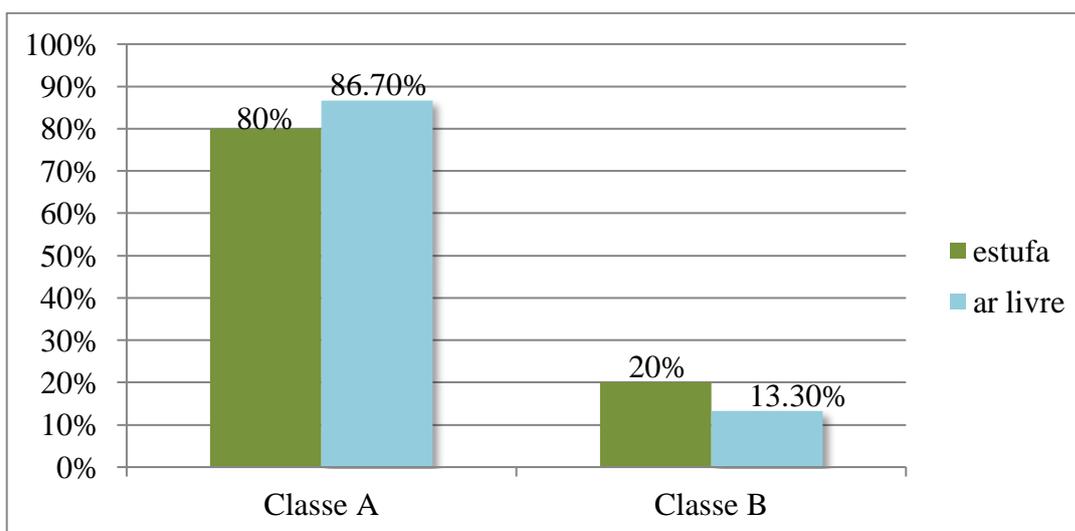
As médias da diferença do arqueamento médio não diferem significativamente entre si ( $p - \text{value} > 0.05$ ) do teste 2T.

Ao analisar as médias das flechas de encurvamento resultantes da secagem ao ar livre de 0.135% e da estufa solar de 0.18%, não se verifica diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro. Chen e Rosen (1979) citados por Stangerlin (2009), não verificaram grande diferença na flecha de encurvamento entre a secagem ao ar livre e solar, no entanto a flecha foi maior para o processo realizado em estufa solar, corroborando com os resultados deste estudo. A ocorrência deste defeito pode ter se dado devido as fortes tensões de crescimento, as quais afectam a qualidade da madeira resultante do desdobro (Trugilho, 2005). Porém, segundo Simpson (1991) e Denig *et al.* (2000), o encurvamento não é um defeito problemático na madeira, uma vez que o mesmo pode ser facilmente eliminado durante o processo de empilhamento da carga de madeira.

Em geral, o encurvamento é influenciado pela maneira do empilhamento do que pela secagem propriamente dita. Logo, pode ser evitado com a adição de pesos sobre a pilha, ou também a colocação de peças defeituosas sobre a pilha, conforme descrito em estudo realizado por Bekele (1995) os quais obtiveram reduções significativas do encurvamento.

#### 4.4.4.2.1. Classificação da madeira quanto ao índice de encurvamento

Das peças de madeira analisadas, foram verificadas apenas as classes de qualidade A e B como ilustra a figura 13 abaixo:



**Figura 13:** Classificação da madeira quanto ao índice de encurvamento

**Fonte:** Fátima Ussene

#### **4.4.4.3. Encanoamento**

O defeito de encanoamento não foi verificado entre as fases de avaliação nos dois métodos de secagem em que foi submetida a espécie em estudo. De acordo com Galvão e Jankowsky (1985), o encanoamento pode ser resultante da diferença entre as contrações transversais e pela exposição de apenas uma face da tábua a secagem. A secagem lenta, uniforme e a utilização de tábuas com largura inferior a 25 cm proporcionam a ausência desse defeito nas duas metodologias de secagem conforme Stangerlin (2009), pois neste estudo foi usada uma largura de 10 cm.

É importante ressaltar que a uniformidade nas dimensões das tábuas reduz a probabilidade de empenamentos, como o encanoamento. Peças com dimensões fora do padrão prejudicam o empilhamento, fazendo com que algumas peças fiquem livres para trabalharem (Boone *et al.* 1992).

#### **4.4.5. Análise da sanidade da madeira**

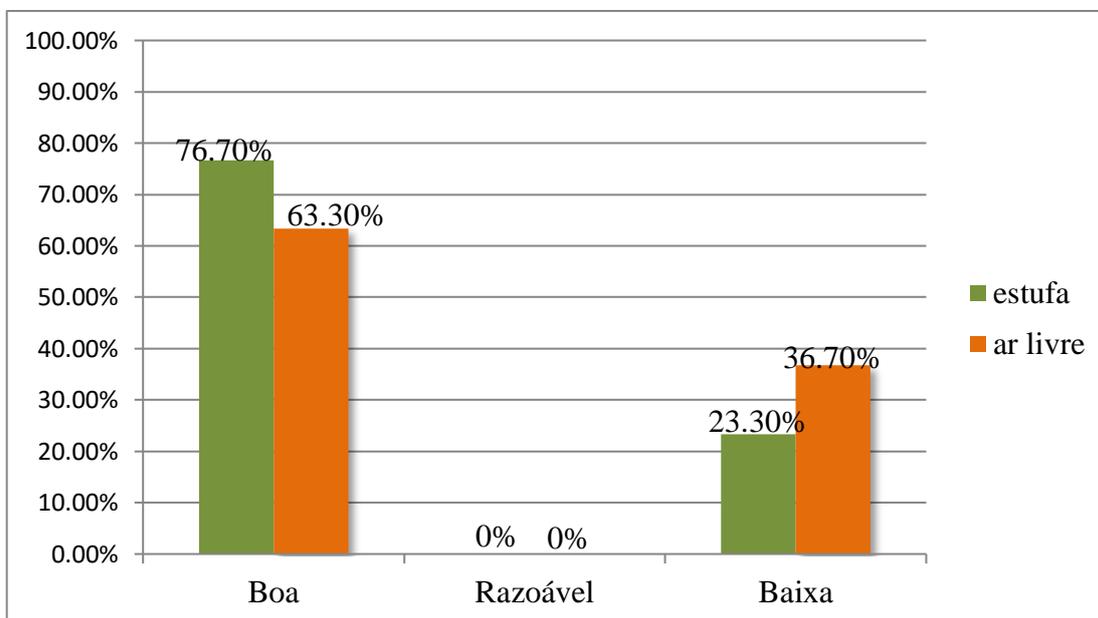
Na estufa solar, foi verificado 23.3% de tábuas com presença de bolor onde 20% delas em apenas uma das faces e 3.3% em ambas faces. No método de secagem ao ar livre observou-se 33.3% de peças com presença de bolor sendo 20% em apenas uma das faces e 13.3% em ambas faces. Ainda no mesmo método foi verificado 3.3% de peças com manchas castanhas em toda a face.

A presença de bolor nas peças de madeira no método de secagem em estufa solar pode ter ocorrido devido a elevada humidade dentro da mesma pois em dias muito quentes, o plástico PVC transpirava por dentro e deixava escorrer humidade na madeira.

Conforme Santini (1981) a eliminação da humidade é um ponto crítico a ser considerado no planeamento de uma estufa solar, visto que as aberturas confeccionadas para esta finalidade não têm se mostrado muito eficientes. Ao ar livre, pode ter sucedido devido a alta humidade da madeira e a secagem muito lenta, pois segundo Moraschi (2013), os fungos emboloradores, desenvolvem-se bem em madeira com teor de humidade superior a 30 % mas também podendo se desenvolver entre 20 e 30% de humidade. A presença de manchas pode ter se dado devido a reacção química e adição de energia sob forma de calor a reacção química (incidência de raios solares), que acelera e pronuncia o efeito de descoloração da madeira conforme citado por Pfister (1984).

#### 4.4.5.1. Classificação da madeira quanto a sanidade

A figura 14 abaixo mostra o percentual de peças com boa e baixa sanidade, uma vez que não foram verificadas peças de sanidade razoável.



**Figura 14:** Classificação da madeira quanto a sanidade

**Fonte:** Fátima Ussene

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste estudo, acerca da secagem em estufa solar e ao ar livre da madeira de *Brachystegia spiciformis*, pode-se concluir que a secagem em estufa solar ocorreu de modo mais rápido e atingiu um menor teor de humidade final 11.08% quando comparada à secagem ao ar livre que apresentou teor de humidade final de 22.67%.

A secagem em estufa solar e ao ar livre, apresentaram médias da taxa de secagem de 0.8033%/dia e 0.4167%/dia respectivamente. Neste contexto, a secagem em estufa solar foi 1.93 vezes mais rápida que a secagem ao ar livre.

A madeira não apresentou redução na qualidade em função da ocorrência de defeitos após a secagem nas duas metodologias. A incidência de rachaduras superficiais na secagem em estufa solar foi de 30.5% e ao ar livre de 27.6% e, de topo na secagem em estufa solar foi de 14.58% e ao ar livre de 18.92%. Os dois tipos de rachaduras (topo e superfície) apresentaram comportamentos distintos, sendo verificada maior incidência de rachaduras de topo na madeira seca ao ar livre, enquanto que as rachaduras de superfície foram mais frequentes na secagem em estufa solar.

Foi observado 13.3% de peças arqueadas no método de secagem em estufa solar com flecha média de curvatura igual a 0.1675% e 10% de peças ao ar livre com flecha de curvatura média de 0.223%. Em relação ao encurvamento, foi verificado 20% de peças encurvadas na secagem em estufa com flecha média de curvatura de 0.18% e 13.3% no método de secagem ao ar livre com flecha média de curvatura de 0.135%. Nas duas metodologias de secagem, a diferença entre as flechas de arqueamento e encurvamento, foram mínimas e não significativas segundo o teste 2T.

A madeira seca, tanto na estufa solar quanto ao ar livre, apresentou boa qualidade, não sendo observada a incidência do encanoamento. Além disso, o adequado processo de empilhamento e secagem contribuiu para minimizar os defeitos do tipo encurvamento.

A secagem em estufa solar mostrou-se como uma alternativa viável, visando a reduzir o tempo de secagem e obter teor de humidade mais baixo, sem reduzir a qualidade da madeira.

## 6.RECOMENDAÇÕES

- Que se realizem estudos para avaliar o comportamento da secagem da madeira em estufa solar, com relação ao teor de humidade final, tempo de secagem e qualidade da madeira, em diferentes épocas do ano de modo a saber qual a época mais favorável para este tipo de secagem de madeira;
- Recomenda-se a realizar ensaios de secagem em estufa solar para outras madeiras de interesse comercial, principalmente das espécies secundarizadas;
- Que se façam estudos com estufas sofisticadas incluindo-se uma ventilação forçada, promovendo com isso maior retirada da humidade cedida pela madeira das paredes da estufa, de modo a reduzir ou eliminar problemas como fungos e bolores tal como foi verificado no presente estudo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI), (2004). *Estudo da madeira*.
2. Associação Brasileira de normas técnicas (ABNT), (1986). *Classificação da madeira de folhosas*.
3. Andrade A., (2000). *Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras*. Piracicaba: Universidade de São Paulo.
4. Bauer K., (2003). *Development and optimisation of a low temperature drying schedule for Eucalyptus grandis (Hill) ex Maiden in a solar-assisted timber dryer*.
5. Bekele T., (1995). *Degradation of boards of Eucalyptus globulus Labill. and Eucalyptuscamaldulensis Dehnh. during air drying*. V. 53 n. 6, p. 407- 412.
6. Boone R. et al., (1992). *Quality drying of hardwood lumber*. Madison. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 58 p.
7. BOND B., (1989). *Design and Operation of a Solar-Heated Dry Kiln*. 10 p.
8. BRANDÃO A.T.O., (1989). *Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras*. São Paulo, Piracicaba.
9. Bunster J. H., (1999). *52 madeiras de Moçambique*.
10. Cech M. Y., PFAFF F., (1977). *Kiln operator's manual of Eastern Canada*. 189 p.
11. Chen P.Y.S., Rosen H.N., (1979). *Drying yellow-poplar in a highly efficient solar kiln*. p. 23-32.
12. Chitará. S., (2003). *Instrumentos para a Promoção do Investimento Privado na Indústria Florestal Moçambicana*. Maputo. Moçambique. 55p.
13. Chudnoff M. et al., (1966). *Solar drying of tropical hardwoods*. 26 p.
14. Cueto E. M. P., (1997). *Diseño y ensayo de un secador solar para madera.*, p. 13-28.
15. Cuppett D.G., Craft E. P., (1972). *Kiln-drying of pre-surfaced 4/4 appalachion OAK*. p. 36-41.
16. Denig J., Wengert E. M., Simpson W. T., (2000). *Drying hardwood lumber*.138 p.
17. Gatto, D. A., (2003). *Qualidade da madeira serrada na região da quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul*. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 223-233.
18. Haque M. N., (2002). *Modelling of solar kilns and the development of an optimised schedule for drying hardwood timber*.University of Sidney.

18. Jankowsky, I. P., Henriquez E. Z. (1983). *Gradiente de humidade e desenvolvimento de tensões da secagem artificial da madeira de Pinus caribaea var. hondurensis*. IPEF, Piracicaba, n.24, p.27-32.
19. Jankowsky, I. P., (1995). *Equipamentos e processos para a secagem de madeiras*. In: Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria, São Paulo, p. 109-118.
20. Johnson, C. L., (1981). *Wind powered solar heated lumber dryer*. Southern Lumberman, p. 203.
21. Lima, J. T., (1995). *The wood density of 3 Eucalyptus saligna smith clones in relation to age*. Annals of Science Forest.
22. Lima I. L., (2005). *Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden*.
23. Lumley T. G., Choong E. T., (1988). *Solar drying of wood in Louisiana..* 55p.
24. Martins V. A., (1988). *Secagem de madeira serrada*. Brasília, 56 p.
25. Marzoli, A., (2007). *Inventário Florestal Nacional*. Ministério de Agricultura, Direcção Nacional de Terras e Florestas. Moçambique, Maputo. 98p.
26. Mbuya *et al.*, (1994). *Medicinal Plants*.
27. Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental (MICOA) (2013). *Estratégia Nacional de Adaptação e Mitigação de Mudanças Climáticas*.
28. Oyen, L. P. A., Louppe, D., (2012). *Brachistegia spiciformis*. International Plant Genetic Resources Institute.
29. Pádua, F. A., (2009). *Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake*.
30. Rocha, M. P., (2000). *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus dunnii Maiden como Fontes de Matéria-prima para Serraria*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
31. Rosso, S., (2006). *Qualidade da madeira de três espécies de Eucalyptus resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional*, Universidade Federal de Santa Maria.
32. Santini E. J., (1981). *Secagem de madeira serrada em estufa solar e sua comparação com os métodos convencionais*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.
33. Santini, E. J., (1992). *Métodos de secagem de madeira*. Santa Maria, p. 47-59.

34. Sattar M. A. (1987). *Comparative studies of wood seasoning with a special reference to solar drying*.
35. Severo E. T. D., (2000). *Qualidade da secagem de madeira serrada de Eucalyptus dunnii*. *Ciência Florestal*, p.109-124.
36. Sharma S. N., Nath P., Bali B. I., (1974). *A solar timber seasoning kiln*. *India*, v. 18, n. 2, p. 10-26.
37. Simpson W. T., (1991). *Dry kiln operator's manual*. 274 p.
38. Skaar C., (1972). *Water in wood*. 218 p.
39. Susin F., Santini E.J., Duarte M.M., Carvalho D.E., Vidrano B.R.A., (2011). *Análise De Variáveis Para avaliação da estabilidade dimensional de alburno e cerne de Hovenia dulcis*. In: *Anais do 5º Simpósio Latino-Americano sobre Maneio Florestal*, Santa Maria. p. 588-592.
40. Stangerlin D.M., Santini E.J., Susin F., Melo R.R., Gatto D.A., Haselein C.R., (2009). *Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada*. *Ciência Florestal*, p. 461-472.
41. Storrs, A. E. G., (1995). *Some of the common trees found in Zambia*.
42. Trugilho P. F., (2005). *Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de Eucalyptus spp. E de Eucalyptus dunnii Maiden. e propriedades de sua madeira*. Curitiba.
43. Tschernitz J. L., Simpson W. T., (1979). *Solar-heated forced-air, lumber dryer for tropical latitudes*. *Solar Energy*, v. 22, p. 563-566.
44. Vermaas H. F., (1995). *Drying of eucalipts for quality: material characteristics, pre-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality*. P 119-132.
45. Williams D. H., (1982). *The Use of Solar Energy for Timber Drying*. 25 p.
46. Williams D. H., (1983). *The Use of Solar Energy for Timber Drying*. 9 p.
47. Yang K.C., (1980). *Solar kiln performance at a high latitude*, p. 37-40

## 8. APÊNDICES E ANEXOS

**Apêndice 1:** Dados colhidos no campo, relativos ao teor de humidade, massa e dimensões das tábuas.

<b>Dados iniciais da madeira antes de ser submetida a secagem</b>											
Secagem ao ar livre						Secagem na estufa solar					
P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)	P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)
1	48.2	74	10	2.5	1.9	1	36.9	74	10	2.5	1.9
2	40.6	74	10	2.5	2.3	2	50.4	74	10	2.5	2
3	34.2	74	10	2.5	1.8	3	38.6	74	10	2.5	2
4	33.3	74	10	2.5	2.1	4	41.6	74	10	2.5	2
5	42.9	74	10	2.5	1.8	5	45.7	74	10	2.5	2
6	41.6	74	10	2.5	2.4	6	53.6	74	10	2.5	2.1
Média	40.13				2.05	Media	44.47				2

Onde:

P. Madeira - Peça de madeira;

Thi - Teor de Humidade inicial em %;

C - Comprimento da peça de madeira em cm;

L - Largura da peça de madeira em cm;

E - Espessura no centro e nas duas extremidades da peça de madeira em cm;

<b>Dados do fim da primeira semana</b>											
Secagem ao ar livre						Secagem na estufa solar					
P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)	P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)
1	37.9	74	10	2.5	1.5	1	26.7	74	10	2.5	1.3
2	34.6	74	10	2.5	1.8	2	36.8	74	10	2.5	1.6
3	35.7	74	10	2.5	1.5	3	34.8	74	10	2.5	1.6
4	28.3	74	10	2.5	1.6	4	32.3	74	10	2.5	1.5
5	39.3	74	10	2.5	1.4	5	38.9	74	10	2.5	1.5
6	38.9	74	10	2.5	1.9	6	38.9	74	10	2.5	1.6
Media	35.78				1.62	Media	34.73				1.52

Onde:

P. Madeira - Peça de madeira;

Thi - Teor de Humidade inicial em %;

C - Comprimento da peça de madeira em cm;

L - Largura da peça de madeira em cm;

E - Espessura no centro e nas duas extremidades da peça de madeira em cm;

<b>Dados do fim da segunda semana</b>											
Secagem ao ar livre						Secagem na estufa solar					
P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)	P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)
1	32.4	74	10	2.5	1.6	1	24.7	74	10	2.5	1.2
2	30.8	74	10	2.5	1.6	2	36.1	74	10	2.5	1.4
3	30.6	74	10	2.5	1.3	3	33.3	74	10	2.5	1.3
4	29.7	74	10	2.5	1.4	4	29.4	74	10	2.5	1.3
5	38.3	74	10	2.5	1.2	5	38.9	74	10	2.5	1.5
6	37.9	74	10	2.5	1.6	6	38.1	74	10	2.5	1.4
Media	33.28				1.45	Media	33.42				1.35

Onde:

P. Madeira - Peça de madeira;

Thi - Teor de Humidade inicial em %;

C - Comprimento da peça de madeira em cm;

L - Largura da peça de madeira em cm;

E - Espessura no centro e nas duas extremidades da peça de madeira em cm;

<b>Dados do fim da terceira semana</b>											
Secagem ao ar livre						Secagem na estufa solar					
P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)	P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)
1	19.7	74	10	2.5	1.5	1	12.7	74	10	2.5	1.2
2	26.9	74	10	2.5	1.6	2	29.1	74	10	2.5	1.3
3	27.3	74	10	2.5	1.3	3	13.7	74	10	2.5	1.3
4	28.3	74	10	2.5	1.3	4	18.8	74	10	2.5	1.3
5	34.6	74	10	2.5	1.2	5	33.5	74	10	2.5	1.2

6	35.8	74	10	2.5	1.5	6	15.2	74	10	2.5	1.4
Media	28.8				1.4	Media	20.5				1.28

Onde:

P. Madeira - Peça de madeira;

Thi - Teor de Humidade inicial em %;

C - Comprimento da peça de madeira em cm;

L - Largura da peça de madeira em cm;

E - Espessura no centro e nas duas extremidades da peça de madeira em cm;

<b>Dados do fim da quarta semana</b>											
Secagem ao ar livre						Secagem na estufa solar					
P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)	P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)
1	19.6	74	10	2.5	1.3	1	10.5	74	10	2.5	1.2
2	26.9	74	10	2.5	1.6	2	21.1	74	10	2.5	1.3
3	26.5	74	10	2.5	1.3	3	12	74	10	2.5	1.2
4	25.6	74	10	2.5	1.3	4	18.8	74	10	2.5	1.3
5	33.3	74	10	2.5	1.2	5	27.7	74	10	2.5	1.2
6	34.9	74	10	2.5	1.5	6	15.2	74	10	2.5	1.3
Media	27.8				1.37	Media	17.55				1.25

Onde:

P. Madeira - Peça de madeira;

Thi - Teor de Humidade inicial em %;

C - Comprimento da peça de madeira em cm;

L - Largura da peça de madeira em cm;

E - Espessura no centro e nas duas extremidades da peça de madeira em cm;

<b>Dados do fim da quinta semana</b>											
Secagem ao ar livre						Secagem na estufa solar					
P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)	P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)
1	18.2	74	10	2.3 2.4 2.4	1.3	1	9.8	74	10	2.3 2.4 2.3	1.2
2	26	74	10	2.5 2.5 2.3	1.5	2	17.2	74	10	2.3 2.3 2.4	1.2
3	25	74	10	2.5	1.3	3	11.7	74	10	2.4 2.5 2.5	1.1
4	25	74	10	2.5	1.3	4	14.5	74	10	2.5	1.2
5	31.8	74	10	2.4 2.5 2.4	1.2	5	21.3	74	10	2.5	1.2
6	33	74	10	2.5	1.5	6	14.1	74	10	2.5	1.3
Media	26.5				1.35	Media	14.77				1.2

Onde:

P. Madeira - Peça de madeira;

Thi - Teor de Humidade inicial em %;

C - Comprimento da peça de madeira em cm;

L - Largura da peça de madeira em cm;

E - Espessura no centro e nas duas extremidades da peça de madeira em cm;

<b>Dados do fim da sexta e ultima semana</b>											
Secagem ao ar livre						Secagem na estufa solar					
P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)	P. Madeira	Thi (%)	C (cm)	L (cm)	E (cm)	M (kg)
1	16.5	74	10	2.3 2.4 2.4	1.3	1	8	74	10	2.3 2.3 2.4	1.2
2	23	74	10	2.5 2.5 2.3	1.4	2	10.7	74	10	2.3 2.3 2.3	1.2
3	23.2	74	10	2.5	1.3	3	9.3	74	10	2.4 2.5 2.5	1.1
4	22.4	74	10	2.5	1.3	4	11.3	74	10	2.5	1.2
5	29.3	74	10	2.3 2.5 2.4	1.2	5	13.7	74	10	2.5	1.2
6	21.6	74	10	2.5	1.4	6	13.5	74	10	2.5	1.3
Média	22.67				1.32	Média	11.08				1.2

Onde:

P. Madeira - Peça de madeira;

Thi - Teor de Humidade inicial em %;

C - Comprimento da peça de madeira em cm;

L - Largura da peça de madeira em cm;

E - Espessura no centro e nas duas extremidades da peça de madeira em cm;

**Apêndice 2:** Dados referentes aos defeitos de secagem

Arqueamento					
Estufa			Ar livre		
Após serragem		Após secagem	Após serragem		Após secagem
flecha1	2 mm	3 mm	flecha1	2 mm	4 mm
flecha2	3 mm	4 mm	flecha2	3 mm	4 mm
flecha3	2 mm	4 mm	flecha3	3 mm	5 mm
flecha4	3 mm	4 mm			

Encurvamento					
Estufa			Ar livre		
Após serragem		Após secagem	Após serragem		Após secagem
flecha1	3 mm	4 mm	flecha1	2 mm	2 mm
flecha2	2 mm	3 mm	flecha2	2 mm	3 mm
flecha3	2 mm	4 mm	flecha3	2 mm	4 mm
flecha4	3 mm	4mm	flecha4	3 mm	4 mm
flecha5	4 mm	5 mm			
flecha6	1 mm	3 mm			

Comprimento das rachaduras superficiais em cm				Comprimento das rachaduras de topo em cm			
Estufa	Ar			Estufa	Ar		
A. serrag.	Após Secagem	A. serrag.	A. Secag.	A. serrag.	A. Secag.	A. serrag.	A. Secag.
2.5	2	1.5	4.8	1	1.5	1.3	0.6
1.3	2.1	2.5	2.2	1.5	1	2.1	2
2.2	0.8	2.2	1.3	1	2	1.4	2.2
1.7	3.2	3	3.6	1.4	2.5	0.5	1.8
1	2.2		1.8	0.7	2.4	1.5	1.2
0.7	1.7	T 9.2	0.4	0.3	0.3	0.8	2.2
T 9.4	2.5		0.5	2	1.2	T 7.6	2.3
	4.2		1.2	2	1.4		1.5
	1.4		3.3	0.4	0.6		0.7
	3.1		1.6	0.7	1.5		1.3
	0.3		0.9	1	1.5		2.1
	2.2		3	T 12	1.4		1.3

	2.2		2.5		1.5		1
	4.1		2		2		1.4
	T 32		0.5		2		T 21.6
			T 29.6		T 22.8		

### Apêndice 3: Análise estatística dos dados

#### Taxa de secagem

#### Descriptive Statistics: Ar livre, Estufa

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Minimum	Q1
Ar livre	6	0	0.4167	0.0775	0.1899	0.0361	45.58	0.2600	0.2600
Estufa	6	0	0.8033	0.0555	0.1360	0.0185	16.93	0.6900	0.6975

Variable	Median	Q3	Maximum	Mode	N for Mode
Ar livre	0.3700	0.5500	0.7600	0.26	2
Estufa	0.7400	0.9625	1.0000	*	0

#### Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	6	0.417	0.190	0.078
2	6	0.803	0.136	0.056

Difference = mu (1) - mu (2)  
 Estimate for difference: -0.3866  
 95% CI for difference: (-0.6023, -0.1709)  
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -4.05 P-Value = 0.003 DF = 9

#### Rachaduras superficiais

#### Descriptive Statistics: Estufa, Ar livre

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3
Estufa	3	0	28.80	8.85	15.32	234.73	12.70	12.70	30.50	43.20
Ar livre	3	0	26.67	7.98	13.82	191.09	12.40	12.40	27.60	40.00

Variable	Maximum	Mode	N for Mode
Estufa	43.20	*	0
Ar livre	40.00	*	0

### Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	3	28.8	15.3	8.8
2	3	26.7	13.8	8.0

Difference = mu (1) - mu (2)  
 Estimate for difference: 2.1  
 95% CI for difference: (-35.8, 40.0)  
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.18 P-Value = 0.869 DF = 3

### Rachaduras de topo

#### Descriptive Statistics: Estufa, Ar livre

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3
Estufa	3	0	20.53	5.16	8.93	79.73	14.58	14.58	16.22	30.80
Ar livre	3	0	19.46	5.47	9.47	89.71	10.27	10.27	18.92	29.19

Variable	Maximum	Mode	N for Mode
Estufa	30.80	*	0
Ar livre	29.19	*	0

### Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	3	20.53	8.93	5.2
2	3	19.46	9.47	5.5

Difference = mu (1) - mu (2)  
 Estimate for difference: 1.07  
 95% CI for difference: (-22.85, 24.99)  
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.14 P-Value = 0.896 DF = 3

### Encurvamento

#### Descriptive Statistics: estufa, ar livre

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Minimum	Q1
estufa	6	0	0.1800	0.0285	0.0699	0.0049	38.81	0.1300	0.1300
ar livre	4	0	0.1350	0.0552	0.1103	0.0122	81.71	0.0000	0.0325

Variable	Median	Q3	Maximum	Mode	N for Mode
estufa	0.1400	0.2700	0.2700	0.13, 0.14, 0.27	2
ar livre	0.1350	0.2375	0.2700	*	0

### Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	6	0.1800	0.0699	0.029
2	4	0.135	0.110	0.055

Difference = mu (1) - mu (2)

Estimate for difference: 0.0450

95% CI for difference: (-0.1274, 0.2174)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.72 P-Value = 0.509 DF = 4

### Arqueamento

#### Descriptive Statistics: estufa, ar livre

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Minimum	Q1
estufa	4	0	0.1675	0.0342	0.0685	0.0047	40.89	0.1300	0.1300
ar livre	3	0	0.2233	0.0467	0.0808	0.0065	36.19	0.1300	0.1300

Variable	Median	Q3	Maximum	Mode	N for Mode
estufa	0.1350	0.2375	0.2700	0.13	2
ar livre	0.2700	0.2700	0.2700	0.27	2

### Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	4	0.1675	0.0685	0.034
2	3	0.2233	0.0808	0.047

Difference = mu (1) - mu (2)

Estimate for difference: -0.0558

95% CI for difference: (-0.2400, 0.1284)

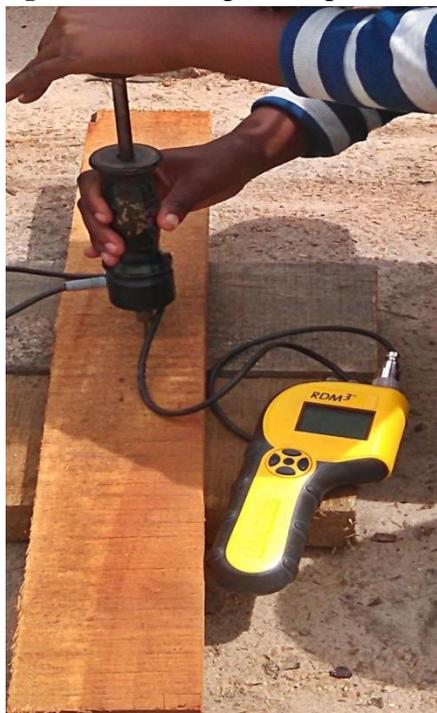
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.96 P-Value = 0.406 DF = 3

#### Descriptive Statistics: estufa, ar para o teor de humidade inicial

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Minimum	Q1
estufa	6	0	44.47	2.71	6.63	44.01	14.92	36.90	38.18
ar	6	0	40.13	2.29	5.60	31.40	13.96	33.30	33.98

Variable	Median	Q3	Maximum
estufa	43.65	51.20	53.60
ar	41.10	44.22	48.20

**Apêndice 4:** Imagem do psicrômetro usado na medição da humidade da madeira durante a secagem



**Apêndice 5:** Imagem do manómetro acoplado a sensores usado na medição da temperatura de bulbo seco e húmido dentro da estufa solar.



**Apêndice 6:** Relativa à variação da temperatura e Humidade relativa do ar

Secagem em estufa solar			Secagem ao ar livre	
Semanas	Varição da temperatura (°C)	Varição da humidade reactiva (%)	Semanas	Varição da Temperatura (°C)
1 <sup>a</sup>	26-31	60-95	1 <sup>a</sup>	24-29
2 <sup>a</sup>	36-48	26-95	2 <sup>a</sup>	25-35
3 <sup>a</sup>	28-48	59-92	3 <sup>a</sup>	25-34
4 <sup>a</sup>	33-45	56-92	4 <sup>a</sup>	27-32
5 <sup>a</sup>	33-40	57-93	5 <sup>a</sup>	27-29
6 <sup>a</sup>	28-36	61-92	6 <sup>a</sup>	26-27

**Apêndice 7:** Referente a variação da densidade na secagem ao ar livre e estufa solar respectivamente

Tempo (semanas)	Massa (kg)	Volume ( $m^3$ )	Densidade ( $kg/m^3$ )
Dados iniciais	2.05	0.00185	1108.11
1 <sup>a</sup>	1.62	0.00185	875.68
2 <sup>a</sup>	1.45	0.00185	783.78
3 <sup>a</sup>	1.4	0.00185	756.76
4 <sup>a</sup>	1.37	0.00185	740.54
5 <sup>a</sup>	1.35	0.00185	729.73
6 <sup>a</sup>	1.32	0.00185	713.51

Tempo (semanas)	Massa (kg)	Volume ( $m^3$ )	Densidade ( $kg/m^3$ )
Dados iniciais	2	0.00185	1081.08
1 <sup>a</sup>	1.52	0.00185	821.62
2 <sup>a</sup>	1.35	0.00185	729.73
3 <sup>a</sup>	1.28	0.00185	691.89
4 <sup>a</sup>	1.25	0.00185	675.67
5 <sup>a</sup>	1.2	0.001776	675.68
6 <sup>a</sup>	1.2	0.001776	675.68

**Anexo 1:** Classificação do coeficiente de variação segundo Ferreira (1991)

Faixa	precisão	<i>cv</i>
entre 10% e 15%	óptima	baixo
entre 15% e 20%	boa	médio
entre 20% e 30%	regular	alto
maior do que 30%	má	muito alto