

634.018 (679) Eng. F. 24

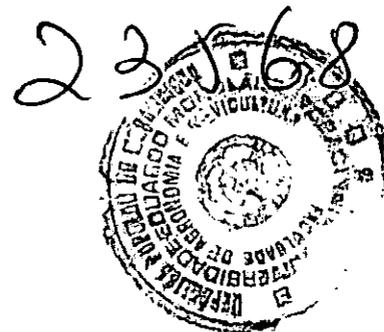
---

Man

Projecto final

Eng. F-24

# Humidade de equilíbrio higroscópico da madeira em diferentes regiões de Moçambique



Autor:  
Manhiça, Eugénio Agostinho

Supervisor:  
Prof. Doutor Andrade F. Egas

Maputo, Novembro de 2006

---



**Universidade Eduardo Mondlane**  
**Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal**  
**Departamento de Engenharia Florestal**  
**Secção de Ciência e Tecnologia de Madeira**

---

Projecto final

# Humidade de equilíbrio higroscópico da madeira em diferentes regiões de Moçambique

Autor:  
**Manhiça, Eugénio Agostinho**

Supervisor:  
**Prof. Doutor Andrade F. Egas**

Maputo, Novembro de 2006

---



**Universidade Eduardo Mondlane**  
**Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal**  
**Departamento de Engenharia Florestal**  
**Secção de Ciência e Tecnologia de Madeira**

## DEDICATORIA

*Dedico este trabalho a todos aqueles que abraçaram a área florestal e que apostam na investigação para a resolução de problemas que pode trazer benefícios não só para eles, mas também para toda sociedade moçambicana.*

## AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos vão para o Prof. Doutor Andrade Egas, pela supervisão incansável e paciente que teve durante a realização deste trabalho.

A Prof. Doutora Lídia Brito, pelas sugestões e apoio material dado.

Ao eng<sup>o</sup> Nhamucho sugestões e críticas dadas e ao eng<sup>o</sup> Agnelo pelo apoio material dado durante para a digitalização do relatório.

A todos docentes da FAEF, em especial ao Prof. Doutor Adolfo Bila, pelos ensinamentos dados ao longo das cadeiras PPF e PF.

Aos meus pais Agostinho Lucas Manhiça e Amélia Carolina Cumbane, e irmãos por terem me apoiado e compreendido em momentos difíceis durante o curso.

Aos meus amigos, em especial ao Amiro Ventura Timba, pelo apoio moral dado, e minha namorada Ofina Jorge Matabela, pelo apoio moral e confiança que depositou em mim durante o curso.

Aos meus colegas Estêvão Chambule, Narciso Fernando Bila, Desireé Matuele e Jaime Nhamire, e todos que aqui não foram mencionados, mas que contribuíram para o realização deste trabalho.

E finalmente, a todos que directa ou indirectamente contribuíram para a minha formação e a concretização deste trabalho.

**O meu muito obrigado!**

## RESUMO

Tendo em vista a falta de dados sobre a humidade de equilíbrio higroscópico da madeira em Moçambique e a sua grande importância para o uso racional da madeira, procura-se no presente trabalho estimar este valor para diferentes regiões do País.

As estimativas foram feitas aplicando-se a equação proposta por Simpson (1971) e adaptada por Jankowsky (1985), aos valores normais de temperatura e humidade relativa média mensal dos últimos 30 anos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INAM).

Os resultados mostram, que para as regiões de estudo (zonas costeiras e zonas do interior), que a humidade de equilíbrio higroscópico varia de local para local. Esta variação também é observada dentro dum mesmo local ao longo do ano. Constatou-se ainda que numa forma geral as zonas costeiras apresentam maior humidade de equilíbrio higroscópico em relação às zonas do interior. Com base na análise dos resultados propõem-se estabelecer três valores de humidade de equilíbrio higroscópico (11%, 13% e 15%) para a secagem e utilização da madeira nas cidades e municípios do país.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Pag.</b>
Tabela 1: Regiões de estudo.....	23
Tabela 2: HEH (%) média mensal das regiões de estudo.....	29
Tabela 3: Humidade de equilíbrio higroscópico (%) máxima, mínima e média.....	28
Tabela 4: HEH das zonas costeiras consideradas neste estudo.....	31
Tabela 5: HEH das zonas do interior e intermédia incluídas no estudo.....	32
Tabela 6: HEH das zonas do interior considerados neste estudo.....	33
Tabela 7: HEH de madeira para as diferentes regiões de estudo.....	34
Tabela 8: Coeficientes de retracção e dimensões finais atingidas pela peça modelo em ambientes de 15% e 11% de Humidade de equilíbrio higroscópico.....	36
Tabela 9: Retracção e dimensão final atingida na direcção tangencial pela peça modelo de madeira com 15% de humidade em ambiente de 11% de Humidade de equilíbrio higroscópico.....	38

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo 1.** Tabela dos valores normais de temperatura (°C) e humidade relativa (%) média mensal de 30 anos de diferentes regiões de estudo.

**Anexo 2.** Tabela dos coeficientes de retracção das principais espécies madeireiras usadas em Moçambique.

**Anexo 3.** Gráficos de distribuição de temperatura e humidade relativa média mensal no período de 1975 - 2004

## LISTA DE ABREVIATURAS

FAEF – Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal

INAM – Instituto Nacional de Meteorologia

HEH – Humidade de equilíbrio higroscópico

PSF – Ponto de Saturação das Fibras

## ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE ANEXOS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
0INTRODUÇÃO .....	0
1.1. Problema de estudo e fundamentação .....	3
1.2. OBJECTIVOS.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1. Higroscopicidade e Humidade de Equilíbrio Higroscópico .....	5
2.1.1. Higroscopicidade .....	5
2.1.2. Porque razão a madeira tem a tendência de atrair ou ceder moléculas de água.....	6
2.2. Humidade de Equilíbrio Higroscópico (HEH) da madeira .....	7
2.3. Factores que influenciam a Humidade de Equilíbrio Higroscópico da Madeira .....	9
2.4. Retracção e Inchamento higroscópico da madeira.....	12
2.5. Importância do conhecimento da HEH da Madeira.....	14
2.6. Secagem da madeira.....	15
2.6.1. Importância e razões para a secagem da madeira .....	16
2.6.2. Métodos de secagem .....	17
2.7. Escolha da humidade final da madeira .....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	21
3.1. Revisão bibliográfica .....	21
3.2. Determinação da HEH média mensal de madeira da região de estudo .....	21
3.3. Determinação da HEH das zonas costeiras e zonas do interior .....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4.2. Humidade de equilíbrio higroscópico das zonas costeiras e das zonas do interior.	30
4.3. Praticabilidade dos resultados.....	35
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	40
5.1. Conclusões .....	40
5.2. Recomendações.....	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
7. ANEXOS.....	44

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira tem sido até aos dias de hoje de vital importância para o homem. De acordo com Cheremisinoff (1980) e Carvalho (1989), a madeira foi um dos primeiros materiais a ser utilizado pelo homem para vários fins, e, sem dúvida, continua hoje a ocupar um papel importante em vários domínios.

Actualmente, a pesar da existência de outros materiais substitutos, tais como metais, plásticos e cimento, a madeira continua a ser matéria prima para uma grande variedade de produtos e constitui uma das mais importantes matéria prima orgânica para a indústria química.

Essa diversidade de usos deve-se a certas vantagens que a madeira apresenta: estética agradável, apresentando ampla gama de cores, textura e figuras; resistência mecânica elevada em relação a sua própria massa; baixo consumo energético e baixa condutividade eléctrica; boas propriedades acústicas (utilizada no fabrico de instrumentos musicais); facilmente trabalhável por instrumentos e máquinas com baixo consumo energético; principal fonte de celulose, que é a base de numerosos produtos; recurso renovável e abundante no mundo (Tsoumis, 1991).

Porém, apesar das inúmeras vantagens mencionadas, a madeira em serviço apresenta várias desvantagens competitivas com outros materiais com iguais usos. Uma das grandes desvantagens é a variação do teor de humidade em função das condições ambientais. Essa variação de humidade deve-se ao facto de a madeira ser um material higroscópico, isto é, trocar humidade com o ambiente, dentro de certos limites, até a sua estabilização a um dado teor de humidade e temperatura do ar.

Dado ao carácter higroscópico da madeira, o ganho de humidade aumenta o seu peso e volume, enquanto que a perda de humidade resulta na sua redução (USDA, 1974; Diniwoodie, 1981).

Peças bastante secas, quando colocadas em ambientes húmidos aumentam de dimensão e peças húmidas colocadas em ambientes secos reduzem as suas dimensões. Por outro lado, devido ao carácter anisotrópico, a variação das dimensões da madeira, como consequência da alteração da sua humidade, sucede em proporções diferentes em função do plano que é considerado, sendo a principal causa do surgimento de defeitos tais como rachas, empenamentos, encruamento, etc. que determinam o uso da madeira.

Como forma de minimizar estes problemas é recomendável que a madeira seja submetida a secagem até atingir um teor de humidade aproximadamente igual à humidade de equilíbrio do local onde será utilizada (humidade de equilíbrio higroscópico). Uma madeira húmida, ou seja, uma madeira não devidamente seca, propicia falta de precisão no dimensionamento das peças, e torna se susceptível aos defeitos.

Os principais factores que determinam a humidade de equilíbrio higroscópico (HEH) são a humidade relativa e temperatura do ar. De acordo com Diniwoodie (1981), a magnitude e consequentemente a significância das variações das dimensões da madeira (retracção e inchamento) são mais acentuadas no caso de conteúdo de humidade comparando com a temperatura.

Em Moçambique, apesar da disponibilidade de dados de humidade relativa e temperatura do ar para as diferentes regiões do país, são escassos os dados da HEH de cada região. Dada a sensibilidade desde valor nem sempre é válida a sua extrapolação duma região para a outra com condições diferentes de humidade relativa e temperatura. Portanto, o presente trabalho visa fundamentalmente determinar a humidade de equilíbrio higroscópico da madeira para diferentes regiões de Moçambique, de forma a permitir uma programação eficaz de secagem, armazenamento e transporte de madeira, e prevenir grandes variações do teor de humidade e portanto das dimensões da madeira nos lugares de uso.

### 1.1. Problema de estudo e fundamentação

Madeira usada na sua forma final como mobiliário, material de construção, instrumentos musicais e outros usos, é geralmente sujeita às variações da humidade relativa e temperatura do lugar onde ela estiver exposta. Desse modo, a madeira virtualmente sempre sofre pelo menos ligeiras alterações no seu conteúdo de humidade. Estas alterações normalmente são graduais e de curto prazo e tendem a influenciar o seu peso, dimensões e volume, criando de certo modo transtornos na utilização dos produtos derivados dela, sobretudo produtos de carpintaria e marcenaria (USDA, 1974). Produtos feitos com madeira húmida, diminuem suas dimensões, como consequência da perda de humidade no local de uso. Essa perda de humidade implica a perda de complementaridade entre as peças (falta de precisão no dimensionamento das peças) e consequentemente a falta de qualidade. Esse problema pode ser minimizado se a madeira for submetida a secagem até um teor de humidade aproximadamente igual à humidade do local onde ela será exposta.

Este facto mostra a importância que tem a disponibilidade de informação sobre a humidade de equilíbrio higroscópico de cada região. Contudo, em Moçambique são escassos os trabalhos realizados com o propósito de estabelecer as condições de equilíbrio da madeira com as condições dos locais de uso, embora a madeira seja processada e usada abundantemente em todo o País.

## 1.2. OBJECTIVOS

### 1.2.1. Geral

- Determinar a humidade de equilíbrio higroscópico da madeira para exteriores em diferentes regiões de Moçambique.

### 1.2.2. Específicos

- a. Determinar a humidade de equilíbrio higroscópico média de madeira para diferentes cidades e municípios do País, e algumas regiões importantes sob o ponto de vista de aglomerados populacionais;
- b. Determinar a humidade de equilíbrio higroscópico média mensal da madeira para a região de estudo;
- c. Estimar a humidade de equilíbrio higroscópico das zonas costeiras e das zonas do interior do país; e
- d. Determinar a praticabilidade dos resultados tendo como base a análise da variação dimensional de 18 espécies de madeira nativas de Moçambique.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Higroscopicidade e Humidade de Equilíbrio Higroscópico

#### 2.1.1. Higroscopicidade

Segundo Tsoumis (1991), higroscopicidade é a propriedade da madeira atrair humidade da atmosfera a volta e assegurá-la em forma líquida ou de vapor. Esta propriedade origina da própria composição química da madeira. Tsoumis (1991), salienta ainda que os constituintes da madeira: celulose, hemicelulose, pectinas, legnina, e certos extractivos, são substâncias higroscópicas.

A definição de Tsoumis (1991), considera apenas a capacidade de a madeira adquirir a humidade da atmosfera, porém, vários autores (Skaar, 1972; Rietz, 1978; Dinwoodie, 1981; Burger e Richter, 1991; De Melo, 1999; USDA, 1999), consideram não só o ganho de humidade, como a sua perda em virtude das variações da temperatura e humidade relativa do ar. De acordo com estes autores, a higroscopicidade é a capacidade de a madeira trocar humidade com a atmosfera, isto é, a capacidade de perder ou ganhar humidade quando sujeita à variações de temperatura e humidade relativa do ar envolvente.

Segundo Panshin e De Zeew (1980), a taxa através da qual a humidade se movimenta na madeira depende da humidade relativa do ar; gradiente de humidade, isto é, diferença relativa no conteúdo de humidade entre a superfície e o interior da madeira; temperatura da madeira; direcção da grã; permeabilidade; e densidade da madeira.

O conhecimento das propriedades higroscópicas é, sem dúvida, a chave para a utilização bem-sucedida da madeira. Uma madeira seca a um teor de humidade igual ou próximo àquele de equilíbrio com as condições de uso da madeira poderá ter seus problemas referentes à higroscopicidade minimizados ou definitivamente eliminados. De acordo com Silva e Oliveira (2003), o estudo da higroscopicidade é indispensável

para o entendimento da trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural da Madeira.

### 2.1.2. Porque razão a madeira tem a tendência de atrair ou ceder moléculas de água (humidade)

A celulose é um constituinte principal da madeira. Aproximadamente 40 – 45% da matéria seca na maioria das espécies de madeira é celulose, localizada predominantemente na parede celular secundária (Sjöström, 1993).

Sjöström (1993), refere ainda que a celulose é um polissacarídeo constituído por unidades de  $\beta$  - D - glucopirranose que estão ligadas por ligações glicosídicas (1 $\rightarrow$ 4); e as suas moléculas são completamente lineares e com uma forte tendência de formar ligações pontes de hidrogénio intra e inter moleculares.

A abundância de fortes grupos polares hidroxilas e grupos oxigenados na molécula de celulose conta para a sua considerável atracção aos dipolos formados por moléculas de água. Esse facto, propicia a absorção de humidade, através de pontes de hidrogénio por parte desta molécula, quando rodeada por uma atmosfera contendo vapor de água (Nikitin, 1966). Essa humidade provoca o inchamento da parede celular até que ocorra saturação; além desse ponto, a água acumula-se no lúmen celular. Esse processo é reversível, com a ocorrência de contracção da parede celular, quando a água cai abaixo do PSF.

De acordo com Galvão e Jankowsky (1985), a humidade relativa está directamente relacionada com a capacidade do ar em receber maior ou menor quantidade de vapor de água e com a remoção da água das superfícies da madeira. A diferença entre a pressão de vapor relativa do ar e aquela na madeira é importante para a movimentação da humidade na madeira (Panshin e De Zeeuw, 1980). Se a pressão de vapor na madeira for maior que a pressão de vapor do ar, a madeira irá ceder humidade ao meio, em forma de vapor de água.

## 2.2. Humidade de Equilíbrio Higroscópico (HEH) da madeira

Como já se referiu anteriormente, a madeira é um material que mantém relações dinâmicas com a humidade do meio onde ela estiver exposta. Em função da humidade relativa, da temperatura do ar e do seu próprio teor de humidade, ela pode ganhar ou ceder humidade ao meio. Essa troca de humidade ocorre até se alcançar um estado de balanço, onde já não há ganho nem perda de humidade. Ao teor de humidade da madeira correspondente a tal estado é designado por *humidade de equilíbrio higroscópico*. O equilíbrio higroscópico é eminentemente dinâmico, uma vez que a madeira esta constantemente a perder ou adquirir humidade, como função da constante variação da temperatura do ar e da humidade relativa. O tempo que uma madeira necessita para atingir a humidade de equilíbrio é função das dimensões da madeira, assim como da espécie em questão (De Sampaio, 1981).

Para uma dada condição de exposição, a humidade de equilíbrio varia um tanto entre diferentes espécies de madeira, entre cerne e alburno, com o tipo e proporção dos constituintes das paredes celulares e extractivos (Skaar, 1988). Porém, Penã e Peris (1996), referem que a humidade de equilíbrio higroscópico é quase constante para todas as madeiras.

Jankowsky et al.(1986), referem que as condições ambientais diferem em função da localização geográfica e variam constantemente em um mesmo local. É por isso, que Penã e Peris (1996), afirmam que a humidade de equilíbrio higroscópico varia de região para região. Essas variações irão condicionar a humidade final da madeira seca ao ar e também provocar a movimentação dimensional da madeira quando colocada em uso.

Segundo Jankowsky e Galvão (1979), uma estimativa da humidade de equilíbrio, que a madeira atingirá em função de um determinado par de valores para temperatura e humidade relativa, pode ser obtida através das tabelas do FOREST PRODUCTS LABORATORY (1955) e (1974), ou com o auxílio da equação desenvolvida por SIMPSON (1971).

De acordo com De Melo (1999), o conceito de equilíbrio higroscópico da madeira apresenta um enorme interesse tanto nos aspectos técnicos de secagem de madeira, como no que respeita à sua utilização final.

A humidade de equilíbrio higroscópico da madeira depende do sentido por meio do qual é alcançada. Existe diferença entre a humidade de equilíbrio alcançada na situação de perda e aquela alcançada na situação de ganho de humidade, e essa diferença é designada por *histerese da madeira* (Galvão e Jankowsky, 1985).

Segundo De Melo (1999), se uma madeira muito húmida for exposta a determinadas condições ambientais, ela irá, eventualmente perder parte dessa humidade até estabilizar a uma dada humidade de equilíbrio. Se a mesma madeira, previamente seca, for introduzida nas mesmas condições atmosféricas, ela irá ganhar humidade e atingir o estado de balanço, a uma humidade de equilíbrio inferior a primeira. Segundo o mesmo autor, na prática adoptam-se os valores de equilíbrio da madeira em situação da perda de água.

A mais provável causa da histerese seria o rearranjo das moléculas de celulose e legnina durante a secagem inicial, quando os grupos hidroxilos são deslocados para uma menor distância entre si, estabelecendo pontes de hidrogénio, e deixarem de estar disponíveis para atrair e reter moléculas de água (Galvão e Jankowsky, 1985). Na adsorção, pensa-se que uma parte dessas hidroxilas continua a satisfazer-se mutuamente, e como consequência, menor número de locais de adsorção estaria disponível (Dinwoodie, 1981 e Galvão e Jankowsky, 1985).

A razão entre o conteúdo de humidade de equilíbrio de adsorção e o conteúdo de humidade de equilíbrio de dessorção/dessecação a uma dada pressão relativa de vapor é denominada de *coeficiente de histerese* (Skaar, 1972 e Dinwoodie, 1981). Para madeiras, o coeficiente de histerese varia de 0.8 a 0.9 dependendo da espécie e da temperatura do ambiente.

Segundo Skaar (1988), vários factores como, equilíbrio não completamente alcançado; história de exposição anterior (número de fases de readsorção e possivelmente o tempo em cada fase), temperatura, diferenças físico-químicas nas paredes celulares, conteúdo de extractivos, etc., podem contribuir para a variação do coeficiente de histerese. Um equilíbrio não completamente alcançado, seja em readsorção ou em dessorção, tenderá a aumentar o coeficiente de histerese.

A relação entre a humidade de equilíbrio higroscópico da madeira e a humidade relativa do ar, a uma dada temperatura constante, é dada, segundo Tsoumis (1991), pela curva característica *sigmoide* (curva de humidade de equilíbrio higroscópico da madeira ou isoterma de sorção).

### 2.3. Factores que influenciam a Humidade de Equilíbrio Higroscópico da Madeira

#### 2.3.1. Factores climáticos

Vários autores (Stamm, 1964; Browning, 1967; Dinwoodie, 1981; USDA, 1987; Tsoumis, 1991), apontam a temperatura do ar e a humidade relativa como os principais factores que influenciam a humidade de equilíbrio higroscópico da madeira, destacando a humidade relativa como o factor de grande importância.

#### Humidade relativa

Segundo De Melo (1999), a humidade do ar é o teor de vapor de água existente na atmosfera; e a humidade relativa é a medida do valor percentual da saturação do ar e pode ser expressa pela relação entre a pressão ou tensão real de vapor de água, e a pressão ou tensão de vapor saturado a uma dada temperatura. Matematicamente, é expressa pela seguinte expressão:

$$Hr(\%) = \frac{P}{P_s} \times 100 \text{-----} (1)$$

Onde:  $P$  = pressão real de vapor de água, e  $P_s$  = pressão de vapor saturado.

A humidade relativa determina a capacidade do ambiente em receber a água removida da madeira Galvão e Jankowsky (1985), e é proporcional a humidade de equilíbrio higroscópico da madeira, isto é, a sua elevação ocasiona o aumento da humidade da madeira e o seu decréscimo, a diminuição respectiva da humidade da madeira (Tsoumis, 1991). De acordo com este último autor, algumas diferenças podem ocorrer entre diferentes espécies, mas são exibidas, quando se tratar de humidade relativa elevada.

### Temperatura

A madeira, como outros materiais, varia dimensionalmente com o aumento da temperatura. Este facto é atribuído ao aumento das distâncias entre as moléculas quando elas aumentam a magnitude das suas oscilações com o aumento da temperatura (Dinwoodie, 1981).

Rietz (1978), refere que a temperatura do ar aumenta a taxa de mudança de humidade na madeira, pois, o aquecimento acelera a difusão de vapor, ou a taxa através da qual a humidade se movimenta das regiões de grande conteúdo de humidade para aquelas de baixo conteúdo de humidade.

De acordo com Skaar (1988), a elevação da temperatura da atmosfera contendo um dado vapor de água diminui a humidade relativa. Isso acontece porque a pressão do vapor saturado ( $P_s$ ) aumenta consideravelmente com a temperatura, enquanto que a pressão do vapor actual ou real ( $p$ ) mantém-se constante, e a razão  $\frac{P}{P_s}$  diminui.

A elevação da temperatura da madeira tem dois efeitos na curva de sorção. O efeito imediato é a redução da humidade de equilíbrio da madeira a uma dada humidade relativa, efeito temporário e reversível. O segundo efeito é a redução permanente da

higroscopicidade associada com a decomposição parcial da estrutura da madeira – decomposição das hemiceluloses (Skaar, 1988).

### 2.3.2. Factores inerentes a própria espécie

Embora a temperatura e a humidade relativa sejam os principais factores que condicionam a humidade de equilíbrio, sabe-se que a *composição química da madeira* (teores de holocelulose, lignina e extractivos) também actua no fenómeno de adsorção de água (Jankowsky e Galvão, 1979). Christensen e Kelsey (1959); citados por Kollmann e Côté (1984), estimam que a celulose contribui com 47% da capacidade total da madeira trocar água com o ar, as hemiceluloses com 37%, e a lignina com 16%.

As diferenças entre diferentes espécies, no que concerne ao conteúdo de celulose, hemiceluloses e legnina vão condicionar as suas diferenças na capacidade de trocar água com o ar (sua higroscopicidade) e na quantidade de humidade que elas podem assegurar em suas paredes celulares (Tsoumis, 1991).

Estudos feitos por Jankowsky e Galvão (1979), mostraram que dentro de uma mesma espécie, um aumento no teor de extractivos provoca uma redução na humidade de equilíbrio, mas o facto de uma espécie ser rica em extractivos não implica necessariamente em uma correlação mais elevada ou mais acentuada.

Nearn (1955), citado por Jankowsky e Galvão (1979), verificou que devido à acção de enchimento dos extractivos solúveis em água, espécies com alto teor de extractivos apresentam maior estabilidade dimensional, menor humidade no ponto de saturação das fibras e humidades de equilíbrio mais baixas do que espécies que possuem pequenas quantidades de extractivos em sua composição química. O autor refere ainda que esses componentes ocupam uma parte do espaço da parede celular que normalmente seria ocupado pela água.

#### 2.4. Retracção e Inchamento higroscópico da madeira

Bunster (1995), define retracção como diminuição dimensional que sofre a madeira como consequência da perda de humidade abaixo do PSF. O inchamento é o processo inverso da retracção, e é definido, segundo Penã e Peris (1996), como sendo a propriedade que tem a madeira de aumentar o seu volume quando por qualquer circunstância aumenta o seu conteúdo de humidade.

A retracção e inchamento higroscópico são resultantes (consequência) da variação da humidade da madeira, abaixo do PSF, como função das flutuações da humidade relativa e temperatura do ar. Por outras palavras, estes fenómenos são devido a variação do teor da água de adesão ou higroscópica, isto é, aquela que se encontra localizada, de acordo com Skaar (1972) & Galvão e Jankowsky (1985), no interior das paredes celulares.

De acordo com Carvalho (1970), o conhecimento da retracção da madeira tem imenso interesse na condução da secagem, já que dela depende, em larga medida, o comportamento do material durante aquela operação, quanto à variação do volume e de forma e à predisposição para fendas e empenos.

As variações dimensionais provocadas pela retracção e pelo inchamento da madeira, constituem, conjuntamente com a anisotropia, características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades ou, ainda, exigindo técnicas específicas de utilização (Durlo & Marchiori, 1992, citados por Silva e Oliveira, 2003).

Como consequência das variações dimensionais os seguintes inconvenientes, dentre outros, podem ocorrer na madeira e nos seus produtos em uso:

- a) portas, janelas e gavetas podem travar-se ou frestas (fendas) maiores que as desejáveis podem surgir;
- b) parquet pode soltar-se dos pisos,

- c) aparecimento de rachas, empenamentos;
- d) as colagens podem falhar;
- e) os pregos, quando a movimentação é repetida, podem desprender-se.

#### 2.4.1. Anisotropia da madeira

Carvalho (1970); Skaar (1972); Panshin e De Zeeuw (1980); Dinwoodie (1981); Galvão e Jankowsky (1985); USDA (1987); Tsoumis (1991) e De Melo (1999), afirmam que a madeira é por natureza anisotrópica, em relação a retracção e inchamento. De acordo com estes autores, a redução ou aumento das dimensões da madeira, para uma mesma mudança do teor de humidade, é diferente nos três planos de crescimento e isso confere maior retracção no sentido tangencial, seguida de radial e ligeira e/ou desprezível ao longo da grã (longitudinalmente).

Segundo Kollman & Côté (1968), citados por Silva e Oliveira (2003), a diferença entre a retratibilidade tangencial e a radial pode ser explicada pela influência restritiva dos raios na direcção radial e também pelo arranjo helicoidal diferente das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais. Uma das causas das propriedades anisotrópicas da madeira é a orientação das micelas, fibrilas e fibras que formam o tecido lenhoso. Para Panshin e De Zeeuw (1980), esse comportamento surge devido a estrutura e organização da celulose nas paredes celulares, a forma alongada das células da madeira, e o seu arranjo longitudinal-radial resultando na assimetria radial do tronco.

Masseran & Mariaux (1985), citados por Silva e Oliveira (2003), relataram que em grande parte das folhosas as maiores diferenças da retratibilidade tangencial em relação à radial são atribuídas às características anatómicas. Segundo os autores, o volume dos raios, a dimensão radial das fibras e as diferenciações químicas entre as paredes radiais e tangenciais são responsáveis pela anisotropia da madeira. O efeito combinado da retracção tangencial e radial pode deformar, isto é, causar defeitos na madeira, devido a diferenças na retracção e curvatura dos anéis de crescimento (USDA, 1987). Panshin & De Zeeuw (1980), afirmaram que a utilização da madeira

para obtenção de produtos finais de alta estabilidade requer um factor anisotrópico (T/R) baixo, e baixos valores absolutos T e R (Galvão e Jankowsky, 1985).

## **2.5. Importância do conhecimento da Humidade de Equilíbrio higroscópico da Madeira**

Embora a humidade não possa ser considerada como uma característica intrínseca da madeira, o seu estudo é indispensável por se tratar de um parâmetro que afecta o comportamento do material, quanto à trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural. Por ser um material orgânico e de estrutura complexa e heterogénea, a madeira é altamente higroscópica, retraindo-se e inchando de acordo com a a variação da temperatura (°C) e humidade relativa (Hr) do ambiente. Essa variação no teor de humidade afecta a geometria das peças em serviço, em virtude da retracção e do inchamento, o que afecta as características de resistência mecânica dos elementos estruturais (Silva e Oliveira, 2003).

O conhecimento da relação da humidade de equilíbrio com a humidade relativa (Hr) e temperatura (°C) é uma ferramenta importante para a utilização de produtos compostos de madeira. Uma madeira seca a um teor de humidade aproximadamente igual àquele do local onde será utilizada, poderá ter seus problemas referentes à humidade minimizados ou definitivamente eliminados.

Penã e Peris (1996), referem que para se fabricar uma janela exige se que, para que não exista fugas de ar, a esquadria e os caixilhos sejam perfeitamente complementares. Se a janela for fabricada com uma madeira húmida, ela diminuirá as suas dimensões, como consequência da perda de humidade no local de uso, que implicará perda de complementaridade dessas peças e portanto falta de qualidade. Da mesma forma, em uma mobília, todas as uniões exigem que as peças sejam complementares. A perda de complementaridade implicará o desencaixe das peças, e portanto a falta de qualidade.

## 2.6. Secagem da madeira

A secagem é o mecanismo através do qual pode se alcançar o equilíbrio entre a madeira e as condições ambientais dos locais de uso, e consiste basicamente na remoção da humidade da superfície da madeira ao mesmo tempo que ocorre a movimentação da água do interior para o seu exterior. É através da secagem que se pode minimizar todos os problemas da madeira que surge nos lugares de uso devido as diferenças do conteúdo de humidade entre a madeira e a atmosfera envolvente.

Durante a secagem da madeira ocorre a degradação térmica, que é acompanhada pela decomposição/degradação e libertação dos grupos hidroxilas, deixando de estar disponíveis para fazer pontes de hidrogénio com moléculas de água, facto que contribui para a redução da sua higroscopicidade (Stamm, 1964). Por sua vez, a redução da higroscopicidade implica aumento da estabilidade dimensional da madeira.

A diminuição da higroscopicidade é provavelmente devida à decomposição das hemiceluloses, que são mais higroscópicas do que os outros constituintes primários da madeira, por se degradarem mais rapidamente a altas temperaturas do que a celulose e legnina (Stamm, 1964).

De Melo (1999), afirma que é fundamental proceder a secagem prévia da madeira, isto é, estabilizá-la para as situações de ambiente de emprego e em condições tais que não comprometam a sua qualidade.

Carvalho (1970), refere que pela secagem da madeira pretende-se:

- i. Desidratá-la, parcialmente, isto é, retirar dela grande parte da água que contém no momento de abate;
- ii. Estabilizá-la, conferindo-lhe uma humidade tão próxima quanto possível da humidade de equilíbrio para as condições do local de emprego;
- iii. Utilizá-la racionalmente, tirando maior proveito das suas propriedades físicas e mecânicas; e
- iv. Conservá-la, provocando a oxidação, a transformação ou a eliminação de certas substâncias orgânicas constitutivas da matéria lenhosa utilizável pelos seus depredadores (fungos e insectos).

Penã e Peris (1996), afirmam que maior estabilidade se conseguirá, se para além de secar se, a madeira for pouco nervosa.

#### **2.6.1. Importância e razões para a secagem da madeira**

A madeira proveniente de árvores recém-abatidas, apresenta alto teor de humidade. Segundo Tsoumis (1991), a madeira deve ser seca propriamente, isto é, gradualmente, uniformemente, e a um dado nível de humidade dependendo do seu uso final. A secagem da madeira tem, de acordo com Galvão e Jankowsky (1985); Tsoumis (1991) e USDA (1999), numerosas e importantes vantagens, tais como:

1. Redução da movimentação dimensional a limites aceitáveis, o que vai permitir a produção de peças de madeira com maior precisão de dimensões, proporcionando melhor desempenho em serviço;
2. melhoria da qualidade das juntas de colagem;
3. aumento da resistência mecânica;
4. redução dos riscos de ataque por certos fungos;
5. melhoria da actuação de vernizes e tintas aplicadas sobre a madeira; e
6. redução do peso da madeira, e por conseguinte dos custos de transporte.

### 2.6.2. Métodos de secagem

Os métodos de secagem são os procedimentos através dos quais a secagem da madeira é garantida. Segundo USDA (1999), vários métodos podem ser usados para a secagem da madeira, desde os mais simples até aos métodos especiais. Entretanto, basicamente todos os métodos envolvem a movimentação da humidade do interior para a superfície da madeira, onde é evaporada pelo ar.

#### 2.6.2.1. Secagem ao ar livre

A secagem ao ar é aquela que é feita naturalmente sob acção dos factores ambientais. É um processo não completo, cuja humidade final depende das condições atmosféricas do local de secagem, por isso, este não é um método adequado para a secagem de madeira, uma vez que as condições do meio flutuam constantemente tornando difícil o alcance da humidade final (USDA, 1999). Caracteriza-se de acordo com Tsoumis (1991), por necessitar de maior tempo de secagem, durante o qual o capital é imobilizado, possuir um prolongado perigo de degradação ou perdas, devido ao fogo ou ataque por insectos, e pela sua insuficiência para certos usos, devido ao facto de a humidade final que a madeira atinge ser dependente das condições climáticas.

O principal objectivo da secagem de madeira ao ar é de evaporar tanta água quanto possível minimizando os custos (USDA, 1999). De acordo com USDA (1974), a secagem ao ar é um método económico quando levado a cabo (1) num pátio de secagem bem desenhado, (2) com práticas de empilhamento adequadas, e (3) num ambiente de secagem favorável.

A grande vantagem da secagem ao ar quando comparado com outros processos é o baixo custo. A limitação deste método esta associada com a natureza incontrolável do processo. A taxa de secagem é muito lenta durante os meses frios do Inverno (USDA,1999).

De acordo com Tsoumis (1991) e USDA (1999), a secagem de madeira ao ar é basicamente influenciada pelos seguintes factores: espécie, espessura das peças, método/forma de empilhamento usado, superfície do pátio e clima.

#### 2.6.2.2. Secagem Controlada/artificial

A secagem controlada é aquela feita artificialmente em secadores ou estufas (Galvão e Jankowsky, 1985). Para muitas utilizações da madeira, a percentagem de humidade consentida pela secagem natural (secagem ao ar), não é suficientemente baixa para responder ao exigido pelas condições de emprego e os respectivos produtos têm de ser submetidos a um processo de secagem forçada, que intervenha como complementar da secagem ao ar (De Melo, 1999).

O mesmo autor afirma que a humidade final exigida à madeira, quer por questões de estabilidade higroscópica e dimensional quer pelas diversas operações de acabamento, de colagem, etc., esta compreendida entre limites relativamente estreitos, particularmente quando se trata de madeiras de interiores onde se impõem valores relativamente baixos. As práticas e as precauções a tomar para a dessecação do material situa-se no domínio da técnica de secagem artificial.

De acordo com Galvão (1975), a secagem artificial em estufas permite ajustar o teor de humidade da madeira a um valor capaz de minimizar as variações dimensionais resultantes das mudanças climáticas que ocorrem no local de sua utilização.

As vantagens da secagem artificial em relação a secagem ao ar são, de acordo com Galvão e Jankowsky (1985), as seguintes:

- i. Redução da humidade da madeira a teores previamente determinados, em qualquer época do ano;
- ii. redução do período de secagem, possibilitando o rápido retorno de capital;
- iii. maior controlo sobre os defeitos de secagem;
- iv. possibilidade de eliminar fungos e insectos; e
- v. eliminação da necessidade de grandes pátios requeridos na secagem ao ar.

## 2.7. Escolha da humidade final da madeira

O conteúdo de humidade final depende da finalidade da secagem ou do uso final ao qual a madeira se destina (Tsoumis, 1991 e De Melo, 1999). Como se vem tentando esclarecer, esse teor de humidade deve ter em conta as condições ambientais do local de uso e por conseguinte, do respectivo equilíbrio higroscópico. De acordo com Galvão e Jankowsky (1985), normalmente, o teor de humidade final visado deve corresponder à média entre os valores extremos da humidade de equilíbrio do local onde será utilizado o produto final.

Tsoumis (1991), avança os exemplos seguintes: se a finalidade de secagem for de proteger a madeira contra o ataque por alguns fungos durante o armazenamento, 20% de humidade é suficiente. Para aplicações voltadas ao exterior, por exemplo caixilhos de janelas e carpintaria de exteriores em geral, o teor de humidade recomendado é de 12 – 15%, o qual representa a média da variação esperada. Por outro lado, as aplicações interiores requerem baixos teores de humidade. Por exemplo, a madeira a ser usada para mobília, parquet, deve ser seca a uma humidade perto de 6 – 8%.

Segundo o mesmo autor, ao secar a madeira deve ser considerado que um baixo conteúdo de humidade implica altos custos, por isso, baixos teores de humidade sem justificação devem ser evitados.

Uma vez que o trabalho de Tsoumis (1991) foi feito nos Estados Unidos de América, é muito provável que os números acima indicados sirvam somente para as condições daquele país, e não para as condições de Moçambique. Porém, com estes exemplos pretende-se elucidar, que para um uso eficaz da madeira, que garanta a sua estabilidade nos locais de uso, é necessário tomar se sempre em consideração as condições desses locais e assim se proceder a secagem adequada da mesma. Em Moçambique, o padrão de variação certamente que será análogo.

A madeira deve ser processada quando apresentar teores de humidade equivalente aos valores médios determinados. Entretanto, Galvão e Jankowsky (1985), referem que como na prática decorre um certo período de tempo entre a retirada da madeira da estufa e o seu processamento final, é conveniente alterar-se a humidade final prevista para um teor de 0.5% a 2.0% menor ou maior do que o desejado. Essa diferença de humidade depende do período de tempo previsto para o processamento, das condições ambientais, bem como da espécie em questão.

Uma madeira seca deste modo, durante o armazenamento, processamento e uso, o seu conteúdo de humidade irá aumentar e distribuir-se uniformemente na madeira porém, nunca ultrapassará o valor desejado (Kollmann e Coté, 1984). O mesmo autor afirma que, as médias do teor de humidade são menos importantes do que a amplitude de variação de humidade permitida para cada peça individual.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este capítulo apresenta os procedimentos que foram seguidos para a execução do trabalho com vista a alcançar os objectivos traçados.

Para tal foram seguidos os seguintes passos:

#### **3.1. Revisão bibliográfica**

Esta fase consistiu do levantamento de informação, que na sua maioria constituiu o capítulo de revisão bibliográfica, e importante para clarificação do conceito de higroscopicidade da madeira e de outros conceitos, que serviram de uma espécie de referencia para análise e interpretação dos resultados.

#### **3.2. Determinação da HEH média mensal de madeira da região de estudo**

Com este propósito foram obtidos dados (valores normais), de temperatura (°C) e humidade relativa (%) média mensal de 30 anos para as regiões de estudo a partir da base de dados do INAM.

Utilizam-se neste trabalho médias mensais de temperatura e humidade relativa na estimativa do teor de humidade a que se deve conduzir a madeira em secagem por duas razões: (1) considera-se que as variações climáticas não são seguidas instantaneamente por alterações das condições da madeira em termos de humidade e (2) os gráficos em anexo 3, mostram realmente que há uma relativa estabilidade da temperatura e humidade relativa ao longo dos anos e sem tendências acentuadas de esses parâmetros baixar ou de aumentar. Isso mostra que as mudanças climáticas na temperatura e humidade relativa são insignificantes e que os resultados obtidos através do uso das médias fornecidas pelo INAM podem ser usados por longos períodos de tempo (muitos anos) sem comprometer a performance da madeira nos locais de uso.

De referir que para esta análise de tendências de humidade relativa e temperatura tomou-se uma amostra dos locais de estudo considerando apenas locais com situação

extrema, p.e., local com maior temperatura média, menor temperatura média, maior humidade relativa e menor humidade relativa. Assim considerou-se as cidades de Tete e Lichinga.

Como os dados usados para esta análise continham algumas falhas, para o preenchimento dessas falhas, considerou-se o valor médio dos dados, obtido através dos restantes valores sem incluir o ano a falha. E no caso de valores extremamente altos ou baixos não confiáveis, isto é, uma subida ou diminuição brusca e acentuada nos valores, valores que suspeita-se não serem correctos, considerou-se também o valor médio calculado.

As regiões seleccionadas para o estudo incluem cidades, municípios do país, bem como alguns locais de importância turística, incluindo praias (vide a tabela 1).

**Tabela 1: Regiões de estudo**

<b>Província</b>	<b>Local</b>	<b>Observação</b>
<b>Inhambane</b>	Inhambane	Cidade
	Vilanculos	Distrit/Municí/ turístico
<b>Gaza</b>	Xai-xai	Cidade
	Chókwè	Distrito/Município
	Chibuto	Distrito/Município
	Manjacaze	Distrito/Município
	Praia de Bilene	Local turístico
<b>Maputo</b>	Maputo	Cidade
	Manhiça	Distrito/Município
	Changalane	Distrito
	Umbeluzi	Localidade
<b>Zambézia</b>	Quelimane	Cidade
	Mocuba	Distrito/Município
<b>Tete</b>	Tete	Cidade
<b>Manica</b>	Chimoio	Cidade
	Catandica	Distrito/Município
<b>Sofala</b>	Beira	Cidade
<b>Niassa</b>	Lichinga	Cidade
	Cuamba	Distrito/Município
<b>Cabo Delgado</b>	Pemba	Cidade
	Montepuez	Distrito/Município
	Mocímboa da praia	Distrito/Município
<b>Nampula</b>	Nampula	Cidade
	Ilha de Moçambique	Cidade
	Angoche	Distrito/Município

A escolha destas regiões, deveu-se ao facto de serem os centros de maiores aglomerados populacionais, e portanto, regiões com maior tendência de construção de

habitações e outras infra-estruturas que provavelmente irão consumir muita madeira maciça. E a outra razão foi a existência de estação meteorológica na região.

Com base nos dados obtidos foi calculada a humidade de equilíbrio média mensal da madeira com o auxílio da equação (2), proposta por Simpson (1971)<sup>1</sup>:

$$HEM = \left( \frac{K_1 K_2 h}{1 + K_1 K_2 h} + \frac{K_2 h}{1 - K_2 h} \right) * \frac{1800}{W} \dots\dots\dots(2)$$

Onde:

$$W = 223.374 + 0.69309T + 0.01850T^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$K_1 = 4.737 + 0.04773T - 0.00050123T^2 \dots\dots\dots(4)$$

$$K_2 = 0.70594 + 0.001698T - 0.000005553T^2 \dots\dots\dots(5)$$

e

T = temperatura em graus Celsius

h = humidade relativa/100

HEM = conteúdo de humidade (%)

A equação (2) originalmente apresentada por Simpson (1971), prevê a estimativa dos parâmetros  $K_1$ ,  $K_2$  e  $W$  a partir da temperatura em graus Fahrenheit, sendo que as equações (3), (4) e (5) foram ajustadas para utilização da temperatura em graus Celsius.

Nesta fase foi usada o programa informático Excel

### 3.3. Determinação da HEH média de cada local

Com esta finalidade tomou-se como base os valores de HEH média mensal obtidos através da aplicação da fórmula de Simpson (1971), como referenciado acima. E para se obter a HEH média de cada local, fez-se a média entre os valores extremos de HEH média mensal com o auxílio da formula (6):

$$HEH_{med} = \frac{HEH_{medmensal\ max} + HEH_{medmensal\ min}}{2} \dots\dots\dots(6)$$

### 3.4. Determinação da HEH das zonas costeiras e zonas do interior

Para a determinação da humidade de equilíbrio higroscópico das zonas costeiras e zonas do interior, dividiu-se a zona de estudo (tabela 1) em duas partes, isto é, as regiões costeiras foram agrupadas entre si e as do interior também entre si.

Foram igualmente extraídos os valores extremos de HEH média mensal (máxima e mínima) para os agrupamentos (zonas costeiras e zonas do interior) e com base na fórmula (6), determinaram-se as médias entre esses extremos, e assim obteve-se a HEH das zonas costeiras e das zonas do interior.

### 3.5. Determinação de praticabilidade/impacto da variação da HEH

Para a validação/apreciação do impacto da variação da HEH na variação dimensional da madeira, usou-se como tábua modelo imaginária, uma peça de madeira de 10x10cm de dimensões nos planos radial e tangencial respectivamente e com 25% de humidade. E Conhecendo-se os coeficientes de retracção das várias espécie de madeira comumente usadas em Moçambique (anexo 2), foi possível calcular as variações dimensionais e as dimensões finais da peça colocada em diferentes condições de HEH, usando as fórmulas (7) e (8), adaptadas de Galvão e Jankowsky (1985).

$$d_f = d_i * [1 - C * \Delta H] \dots\dots\dots(7)$$

$$\Delta d = | d_f - d_i | \dots\dots\dots(8)$$

Onde:  $d_f$  = dimensão final,  $d_i$  = dimensão inicial, C = coeficiente de retracção,  $\Delta H = (H_f - H_i)$  = variação de humidade e  $\Delta d$  = a variação dimensional

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados do estudo, que foram analisados e discutidos com base na informação obtida do processamento de dados e da revisão da

literatura. Os resultados são apresentados na forma tabular, acompanhada de uma descrição que clarifica o assunto das tabelas.

#### **4.1. Humidade de equilíbrio higroscópico da madeira calculada com base nos dados de temperatura e humidade relativa fornecidos pelo INAM.**

Os valores relativos à HEH média mensal da madeira de diferentes regiões do país, calculados a partir das médias mensais de temperatura e humidade relativa fornecidas pelo INAM, e com auxílio da equação (2) são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Humidade de Equilíbrio Higroscópico (%) média mensal das regiões de estudo

Província Local	Humidade de equilíbrio (%)												
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
<b>Inhamb</b>	Inhambane	14.4	14.9	15.0	14.7	15.5	15.9	15.6	15.5	14.6	14.2	14.7	14.4
	Vilanculos	14.9	15.6	15.6	16.0	16.5	17.7	18.1	16.9	15.8	15.1	15.0	14.6
<b>Gaza</b>	Xai-xai	14.7	15.3	15.3	15.7	15.8	16.2	16.3	15.2	14.3	13.7	14.2	14.1
	Chókwè	13.8	14.7	14.7	14.8	14.9	14.7	14.4	13.8	13.0	12.6	13.0	13.0
	Chibuto	12.8	13.5	13.8	13.9	14.3	14.7	14.4	13.5	12.2	11.7	11.9	12.1
	Manjacaze	14.1	14.7	14.7	15.1	15.2	15.6	16.2	15.2	14.6	13.1	13.3	13.6
	P. Bilene	13.9	13.9	13.9	13.4	13.2	14.4	14.4	14.3	13.7	13.4	12.9	14.2
<b>Maputo</b>	Maputo	15.3	15.6	15.7	15.4	14.9	14.1	14.4	14.3	14.9	15.1	15.4	15.3
	Manhiça	14.4	14.7	15.3	15.1	14.9	14.4	14.1	13.5	13.0	13.2	13.6	13.6
	Changalane	13.3	13.5	13.8	13.4	13.0	12.1	11.7	11.9	11.8	12.4	12.9	13.0
	Umbeluzi	13.3	13.8	13.8	13.4	13.5	13.3	13.3	12.6	12.3	12.2	12.6	12.8
<b>Zambéz</b>	Quelimane	15.2	16.2	16.3	16.3	16.1	16.5	16.5	15.8	14.5	13.6	13.5	14.6
	Mocuba	14.6	15.2	15.6	15.7	15.5	16.2	16.2	14.0	11.5	10.2	10.9	13.5
<b>Tete</b>	Tete	12.4	12.9	12.4	11.4	10.9	11.2	10.8	9.6	8.8	8.7	9.2	11.3
<b>Manica</b>	Chimoio	15.1	15.7	15.8	14.9	13.8	13.6	12.9	12.1	11.6	12.5	12.6	14.2
	Catandica	14.5	13.9	13.9	13.7	13.3	13.4	12.6	11.9	10.8	10.5	11.9	13.6
<b>Sofala</b>	Beira	14.6	15.2	15.3	15.3	15.4	15.2	15.9	15.8	15.1	14.5	14.4	14.6
<b>Niassa</b>	Lichinga	17.7	17.7	17.7	16.6	14.4	13.7	12.9	12.0	10.5	10.6	12.3	15.0
	Cuamba	14.1	14.1	13.6	12.9	11.8	11.4	10.8	9.7	8.1	8.0	9.3	12.5
<b>C. Delg</b>	Pemba	17.4	17.4	18.2	17.1	15.7	14.8	15.1	15.4	15.4	15.0	15.6	16.6
	Montepuez	15.3	15.7	15.3	14.1	12.9	12.5	11.8	11.0	10.5	10.2	11.0	13.5
	M. da praia	16.6	16.6	17.4	16.6	15.7	14.5	14.5	15.1	15.4	15.7	15.3	16.3
<b>Nampula</b>	Nampula	14.1	14.4	14.7	14.5	13.4	13.2	13.0	11.8	10.7	10.3	10.8	12.8
	I. de Moç.	15.3	15.6	15.2	15.0	14.7	14.2	14.5	14.2	14.4	14.1	14.1	14.9
	Angoche	15.3	15.6	16.3	16.3	17.9	17.6	17.6	16.8	15.4	14.1	14.1	14.9

Humidade de equilíbrio média mensal da madeira determinada, a partir das médias mensais de temperatura e humidade relativa dos últimos 30 anos fornecidas pelo INAM.

Da tabela, pode se notar que a humidade de equilíbrio da madeira varia ao longo do ano, dentro dum mesmo local. Essa variação não é homogénea dentro da área de estudo. Na zona sul do país, com excepção da província de Maputo onde os valores mais altos registam-se entre os meses de Fevereiro e Abril, e os distritos de Chókwè e

Bilene, onde esses valores registam-se entre Março e Maio e Junho a Agosto respectivamente, nos restantes locais, esses valores ocorrem na sua maioria entre Maio e Julho. Pode-se afirmar que, para os locais em questão, os períodos acima referidos não são favoráveis para secagem ao ar de madeira, pois o processo será lento, e a madeira tenderá a apresentar, após a secagem, teores de humidade superiores aos ideais. Nessas condições, se a madeira seca em qualquer um desses lugares vier a ser utilizada na manufactura de produtos destinados à comercialização em locais mais secos, como por exemplo Tete, pode ser necessário efectuar a secagem artificial. Essa necessidade será mais acentuada se os produtos destinarem-se à exportação, de modo a garantir a sua qualidade.

No centro do país, a humidade de equilíbrio mensal máxima ocorre entre os meses de Janeiro e Março nas cidades de Tete, Chimoio e Catandica, Junho e Julho na província de Zambeze e entre julho e Agosto na cidade da Beira, na província de Sofala. Na zona norte do país, o período de maior humidade de equilíbrio ocorre entre os meses de Janeiro e Março, excepto na cidade de Nampula e Angoche, onde as máximas ocorrem entre Fevereiro e Abril e entre Maio e Julho respectivamente.

A tabela 3 apresenta os valores da humidade de equilíbrio máxima, mínima e média, estimadas para as diferentes regiões de Moçambique. Estes valores foram calculados com base em dados da tabela 2. Os valores da humidade de equilíbrio higroscópico encontram-se representados na coluna das médias, e correspondem à media dos valores extremos de humidade média mensal de cada local, de acordo com o referido por Galvão e Jankowsky (1985).

**Tabela 3.** Humidade de Equilíbrio Higroscópico (%) máxima, mínima e média

Província	Local	Humidade de equilíbrio (%)			Média
		Máxima	Mínima	Amplitude de variação	
Inhambane	Inhambane	15.9	14.2	1.7	15,1
	Vilanculos	18.1	14.6	3.5	16,4
Gaza	Xai-xai	16.3	13.7	2.6	15,0
	Chókwè	14.9	12.6	2.3	13,8
	Chibuto	14.7	11.7	3.0	13,2
	Manjacaze	16.2	13.1	3.1	14,7
Maputo	Praia de Bilene	14.4	12.9	1.5	13,7
	Maputo	15.7	14.1	1.6	14,9
	Manhiça	15.3	13.0	2.3	14,2
	Changalane	13.8	11.7	2.1	12,8
Zambézia	Umbeluzi	13.8	12.2	1.6	13,0
	Quelimane	16.5	13.5	3.0	15,0
Tete	Mocuba	16.2	10.2	6.0	13,2
	Tete	12.9	8.7	4.2	10,8
Manica	Chimoio	15.8	11.6	4.2	13,7
	Catandica	14.5	10.5	4.0	12,5
Sofala	Beira	15.9	14.4	1.5	15,2
Niassa	Lichinga	17.7	10.5	7.2	14,1
	Cuamba	14.1	8.0	6.1	11,1
C. Delgado	Pemba	18.2	14.8	3.4	16,5
	Montepuez	15.7	10.2	5.5	13,0
	M. da praia	17.4	14.5	2.9	16,0
Nampula	Nampula	14.7	10.3	4.4	12,5
	Ilha de Moç.	15.6	14.1	1.5	14,9
	Angoche	17.9	14.1	3.8	16,0

De acordo com esta tabela, pode se notar facilmente que a humidade de equilíbrio higroscópico varia de local para local, facto que coaduna com as afirmações de Penã e Peris (1996).

A humidade de equilíbrio higroscópico mais alta do país regista-se na cidade de Pemba, no valor de 16.5% e a mais baixa na cidade de Tete, no valor de 10.8%. Isto pode ser explicado em parte, por a cidade de Pemba localizar-se na costa e portanto apresentar maiores médias mensais de humidade relativa em relação aos demais locais do país, de acordo com os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia. A humidade relativa é referida por Stamm (1964); Browning (1967); Skaar (1972); Dinwoodie (1981); USDA (1987); Skaar (1988) e Tsoumis (1991), como o principal factor que influencia a humidade de equilíbrio higroscópico da madeira e como tendo uma influência directa, isto é, com a sua elevação implicando o aumento da humidade de equilíbrio higroscópico. A cidade de Tete possui os valores mais baixos de humidade relativa e por outro lado, Tete é a cidade mais quente, apresentado as mais elevadas temperaturas do país. De acordo com Skaar (1988), a elevação da temperatura da atmosfera contendo um dado vapor de água diminui a humidade relativa e baixos valores de humidade relativa implicam baixos valores de humidade de equilíbrio higroscópico.

Confrontando os valores da tabela 2 e 3, nota-se claramente que a humidade de equilíbrio higroscópico varia no espaço e no tempo, devido (i) às condições climáticas que são específicas para cada região, (ii) pelas flutuações da temperatura e humidade relativa do ar, que ocorrem dentro duma região ao longo do tempo. Esta constatação vai ao encontro das afirmações de Jankowsky *et al.* (1986).

#### **4.2. Humidade de equilíbrio higroscópico das zonas costeiras e das zonas do interior**

A humidade de equilíbrio higroscópico para cada local considerado neste estudo encontra-se apresentada na tabela 3. Porém, devido aos constrangimentos que isso pode trazer para a indústria de processamento de madeira, sobretudo no que diz respeito à elaboração de programas de secagem, urge a necessidade de se dividir esse universo em duas grandes zonas – Zonas costeiras e Zonas do interior, e estas por sua vez, subdivididas de acordo com a sua condição do clima. Os locais foram agrupados de acordo com a sua amplitude de variação na humidade de equilíbrio. O outro factor

considerado foi a homogeneidade das humidades mínimas e máximas determinadas e apresentadas na tabela 3. Este agrupamento permite a determinação duma humidade de equilíbrio higroscópico mais representativa e praticável para as zonas em questão.

A humidade de equilíbrio higroscópico proposta para as zonas costeiras encontra-se apresentada na tabela 4, e para as zonas do interior e intermédia, na tabela 5.

**Tabela 4:** Humidade de Equilíbrio Higroscópico das zonas costeiras considerados neste estudo.

Local	Máximo	Mínimo	Amplitude	HEM
Pemba	18.2	14.8	3.4	16.5
Vilaculos	18.1	14.6	3.5	16.4
Angoche	17.9	14.1	3.8	16.0
M Praia	17.4	14.5	2.9	16.0
Beira	15.9	14.4	1.5	15.2
Inhabane	15.9	14.2	1.7	15.1
Quelimane	16.5	13.5	3.0	15.0
Xai-xai	16.3	13.7	2.6	15.0
Maputo	15.7	14.1	1.6	14.9
I Moç.	15.6	14.1	1.5	14.9
Manjakaze	16.2	13.1	3.1	14.7
Manhiça	15.3	13.0	2.3	14.2
P Bilene	14.4	12.9	1.5	13.7
<b>Z. costeira</b>	<b>18.2</b>	<b>12.9</b>	<b>5.3</b>	<b>15.5</b>

**Tabela 5:** HEH das zonas do interior e intermédia incluídos neste estudo.

Local	Máximo	Mínimo	Amplitude de variação	HEM
Mocuba	16.2	10.2	6.0	13.2
Chibuto	14.7	11.7	3.0	13.2
Montepuez	15.7	10.2	5.5	13.0
Nampula	14.7	10.3	4.4	12.5
Changalane	13.8	11.7	2.1	12.8
Umbeluzi	13.8	12.2	1.6	13.0
Chimoio	15.8	11.6	4.2	13.7
Catandica	14.5	10.5	4.0	12.5
Chókwè	14.9	12.6	2.3	13.8
<b>Zona costeira</b>	<b>16.2</b>	<b>10.2</b>	<b>6.0</b>	<b>13.2</b>

A humidade de equilíbrio proposta para as zonas costeiras é por aproximação de 15.0% (tabela 4), e aproximadamente 13% para as zonas do interior e intermédia. Isto significa que utilizando-se peças de madeira com teor de humidade equilibrado com o local de aplicação, isto é, secas aproximadamente a 15% para os locais apresentados na tabela 4, e a 13% para os da tabela 5, reduz-se as futuras variações dimensionais, quando em uso.

Pelos dados das tabelas 4 e 5, verifica-se que a humidade de equilíbrio higroscópico determinado para os agrupamentos, tanto num como no outro caso, não diferem tanto daquilo que são as humidades de equilíbrio estimadas para cada local individual, o que oferece uma segurança de que os valores estimados para a zona como um todo funcionaram.

**Tabela 6:** HEH das zonas de interior incluídos neste estudo.

Local	Máx	Mín	Amplitude de variação	HEM
Lichinga	17.7	10.5	7.2	14.1
Cuamba	14.1	8.0	6.1	11.1
Tete	12.9	8.7	4.2	10.8
<b>Zonas do interior</b>	<b>14.1</b>	<b>8.0</b>	<b>6.1</b>	<b>11.1</b>

Para as zonas do interior estima-se uma humidade de equilíbrio higroscópico de 11.0%, para Tete e Cuamba. A cidade de Lichinga apresenta uma amplitude de variação mais alta que os restantes locais tomados em consideração neste estudo, o que interpreta-se como a cidade com uma condição de clima mais heterogénea sendo por isso excluída nas análises.

Lichinga, cidade com maior amplitude de variação, apesar de apresentar uma humidade de equilíbrio média individual de cerca de 14%, pode ser agrupado aos locais da tabela 5 e secar-se igualmente madeira a ser usada neste ponto do país a 13% de humidade. Entretanto, Lichinga apresenta a maior amplitude de variação, superior a 7%, indicando que naquela cidade são maiores as possibilidades de um mau desempenho da madeira mesmo devidamente seca. Kollmann e Cotê (1984), afirma que, as médias do teor de humidade são menos importantes do que a amplitude de variação de humidade permitida para cada peça individual.

Com base na discussão destes resultados na tabela 7 propõe-se definitivamente a HEH a ser considerada nas diferentes regiões do país.

Tabela 7: HEH de madeira para as diferentes regiões de estudo.

Zona	Local	HEH do local			Média	HEH da zona
		Max	Min	AV		
Z. costeira	Pemba	18.2	14.8	3.4	16.5	
	Vilaculos	18.1	14.6	3.5	16.4	
	Angoche	17.9	14.1	3.8	16.0	
	M Praia	17.4	14.5	2.9	16.0	
	Beira	15.9	14.4	1.5	15.2	
	Inhabane	15.9	14.2	1.7	15.1	
	Quelimane	16.5	13.5	3.0	15.0	15%
	Xai-xai	16.3	13.7	2.6	15.0	
	Maputo	15.7	14.1	1.6	14.9	
	I Moç.	15.6	14.1	1.5	14.9	
	Manjakaze	16.2	13.1	3.1	14.7	
	Manhiça	15.3	13.0	2.3	14.2	
	P Bilene	14.4	12.9	1.5	13.7	
Z interior e intermédia	Mocuba	16.2	10.2	6.0	13.2	
	Chibuto	14.7	11.7	3.0	13.2	
	Montepuez	15.7	10.2	5.5	13.0	
	Nampula	14.7	10.3	4.4	12.5	13%
	Lichinga	17.7	10.5	7.2	14.1	
	Changalane	13.8	11.7	2.1	12.8	
	Chókwè	14.9	12.6	2.3	13.8	
	Umbeluzi	13.8	12.2	1.6	13.0	
	Chimoio	15.8	11.6	4.2	13.7	
	Catandica	14.5	10.5	4.0	12.5	
Cuamba	14.1	8.0	6.1	11.1	11%	
Tete	12.9	8.7	4.2	10.8		

Os resultados destas tabelas podem ser analisados sob os aspectos da diferença entre os valores máximo e mínimo, e em relação ao valor médio. Por exemplo, tomando em consideração a tabela 4, nota-se que a amplitude na variação da humidade de equilíbrio é relativamente pequena, com a Ilha de Moçambique e distrito de Bilene apresentando a menor variação (1,5%) e o distrito de Angoche a maior (3,8%), em relação a outros locais. Essa condição de clima mais homogéneo é favorável para a utilização da madeira em produtos manufacturados, pois irá acarretar uma variação dimensional reduzida. Como consequência, serão menores os inconvenientes da alteração nas dimensões da madeira e melhor o comportamento geral dos produtos manufacturados. A mesma análise pode-se efectuar em relação às restantes tabelas.

Galvão (1975), na estimativa da humidade de equilíbrio em diferentes cidades do Brasil, encontrou valores médios de HEH variando de 12.2% (em Piracicaba) a 18.6% (em Belém) e amplitudes na variação de humidade de equilíbrio que variam de 1.5% (em Salvador) a 7.2% (em Goiânia).

É conveniente ainda ressaltar que a madeira deve ser processada quando se encontra nos valores médios de humidade de equilíbrio estimados. De nada adianta apenas secar madeira até o valor indicado e depois deixá-la longos períodos exposta as condições ambientais que podem levar o material a uma humidade diferente da desejada.

#### **4.3. Praticabilidade dos resultados**

Para melhor elucidar a praticabilidade dos resultados acima, vamos considerar, por exemplo, uma peça de qualquer espécie de madeira, de 10x10cm de dimensões nos planos radial e tangencial respectivamente e com 25% de humidade.

Tomando em consideração as espécies indicadas na tabela 8, pode-se verificar que quando a referida peça de madeira for colocada por exemplo em Vilanculos, com uma humidade de equilíbrio proposta de cerca de 15%, ela irá ceder humidade ao meio, e como consequência irá retrair tanto no sentido tangencial como no radial, de acordo com o indicado na tabela. Se isto acontecer em peças de madeira, por exemplo de mobiliário, implicará perda de complementaridade, podendo levar ao desencaixe das peças, e portanto à perda de qualidade do mobiliário, de acordo com o referido por Penã e Peris (1996).

**Tabela 8:** Coeficientes de retracção e dimensões finais atingidas pela peça em ambiente de 15% e 11% de HEH

Espécie	Coeficiente de retracção		Dimensões finais		Variação dimensional	
	Ct	Cr	dft (cm)	dfr (cm)	t (mm)	r (mm)
Ambiente de 15% de humidade de equilíbrio higroscópico						
Chanfuta	0.18	0.17	9.83	9.84	1.73	1.63
Mecrusse	0.36	0.32	9.65	9.69	3.46	3.07
Mucarala	0.28	0.19	9.73	9.82	2.69	1.82
Messassa	0.29	0.23	9.72	9.78	2.78	2.21
Monzo	0.31	0.13	9.70	9.88	2.98	1.25
Ebano african	0.37	0.24	9.64	9.77	3.55	2.30
Missanda	0.30	0.22	9.71	9.79	2.88	2.11
Muimbe	0.35	0.24	9.66	9.77	3.36	2.30
Umbaua	0.25	0.16	9.76	9.85	2.40	1.54
Tule	0.25	0.16	9.76	9.85	2.40	1.54
Jambire	0.32	0.20	9.69	9.81	3.07	1.92
Umbila	0.21	0.13	9.80	9.88	2.02	1.25
Meguza	0.26	0.17	9.75	9.84	2.50	1.63
Sândalo africa	0.34	0.17	9.67	9.84	3.26	1.63
Pau ferro	0.38	0.24	9.64	9.77	3.65	2.30
Seringueira	0.23	0.14	9.78	9.87	2.21	1.34
Canho	0.19	0.14	9.82	9.87	1.82	1.34
Metonha	0.27	0.15	9.74	9.86	2.59	1.44
Ambiente de 11% de humidade de equilíbrio higroscópico						
Chanfuta	0.18	0.17	9.75	9.76	2.50	2.36
Mecrusse	0.36	0.32	9.50	9.56	5.00	4.45
Mucarala	0.28	0.19	9.61	9.74	3.89	2.64
Messassa	0.29	0.23	9.60	9.68	4.03	3.20
Monzo	0.31	0.13	9.57	9.82	4.31	1.81
Ebano african	0.37	0.24	9.49	9.67	5.14	3.34
Missanda	0.30	0.22	9.58	9.69	4.17	3.06
Muimbe	0.35	0.24	9.51	9.67	4.86	3.34
Umbaua	0.25	0.16	9.65	9.78	3.48	2.22
Tule	0.25	0.16	9.65	9.78	3.48	2.22
Jambire	0.32	0.20	9.56	9.72	4.45	2.78
Umbila	0.21	0.13	9.71	9.82	2.92	1.81
Meguza	0.26	0.17	9.64	9.76	3.61	2.36
Sândalo africa	0.34	0.17	9.53	9.76	4.73	2.36
Pau ferro	0.38	0.24	9.47	9.67	5.28	3.34
Seringueira	0.23	0.14	9.68	9.81	3.20	1.95
Canho	0.19	0.14	9.74	9.81	2.64	1.95
Metonha	0.27	0.15	9.62	9.79	3.75	2.09

Ct = coeficiente de retracção tangencial Cr = coeficiente de retracção radial dft = dimensão final atingida no plano tangencial dfr = dimensão final atingida no plano radial t = plano tangencial e r = plano radial.

A tabela 8 permite verificar que quanto menor for a humidade de equilíbrio higroscópico do local de exposição, maior será a retracção da madeira e por conseguinte maiores serão os inconvenientes causados pela perda de humidade. Analisando-se a tabela pode se concluir que ao colocar as madeiras anteriormente referidas em ambientes mais secos como por exemplo a cidade de Tete a diminuição das suas dimensões é ainda maior. Este facto mostra a importância que tem o conhecimento da humidade de equilíbrio higroscópico do local do futuro emprego da madeira.

Em um mesmo local algumas espécies serão afectadas mais do que as outras dependendo dos seus coeficientes de retracção. Reparando ainda para a tabela 8, nota-se que diferentes espécies apresentam diferentes coeficientes de retracção e por conseguinte diferentes valores de retracção (variação dimensional), que são tanto maior quanto maior forem os referidos coeficientes. Pode se verificar ainda que a espécie *Azelia quansensis* (chanfuta) é a menos retráctil no plano tangencial, isto é, a madeira com uma estabilidade dimensional relativamente superior às demais. Por outro lado, o Pau ferro é a espécie de madeira mais retráctil. Isto mostra que para ter-se sucessos na utilização da madeira em termos de estabilidade dimensional não basta apenas conhecer a humidade de equilíbrio do local de uso, mas sim é importante também conhecer as qualificações da madeira para este efeito. Daqui pode se afirmar que o uso de espécies de madeira menos retrácteis, ou seja, madeira com relativa estabilidade dimensional, em locais com maior amplitude de variação de humidade de equilíbrio (locais com condição do clima heterogéneo), como por exemplo Lichinga, pode ser uma maneira de reduzir a possibilidade dum mau desempenho da madeira nestes locais.

A tabela 9 mostra o que pode acontecer com uma madeira seca para a região costeira (15% HEH) quando usada em uma zona do interior de 11% de HEH. A tabela permite

verificar que a referida madeira retrai e dependendo da espécie de madeira em questão, a variação dimensional pode ser ainda maior, o que é realmente grave quando a qualidade é realmente desejada. Esta situação pode ser ainda bastante indesejável para locais mais secos, com HEH mais baixos.

**Tabela 9:** Retracção e dimensão final atingida na direcção tangencial por uma peça de madeira com 15% de humidade em ambiente de 11% de HEH

Espécie	Ct	Rt (cm)	dft (cm)	Variação dimensional (mm)
Chanfuta	0.18	0.01	9.92	0.77
Mecrusse	0.36	0.02	9.85	1.55
Mucarala	0.28	0.01	9.88	1.20
Messassa	0.29	0.01	9.88	1.25
Monzo	0.31	0.01	9.87	1.33
Ebano africano	0.37	0.02	9.84	1.59
Missanda	0.30	0.01	9.87	1.29
Muimbe	0.35	0.02	9.85	1.51
Umbaua	0.25	0.01	9.89	1.08
Tule	0.25	0.01	9.89	1.08
Jambire	0.32	0.01	9.86	1.38
Umbila	0.21	0.01	9.91	0.90
Meguza	0.26	0.01	9.89	1.12
Sândalo africano	0.34	0.01	9.85	1.46
Pau ferro	0.38	0.02	9.84	1.63
Seringueira	0.23	0.01	9.90	0.99
Canho	0.19	0.01	9.92	0.82
Metonha	0.27	0.01	9.88	1.16

A humidade de equilíbrio higroscópico representa a humidade a que devemos secar a madeira, para que não haja variação das suas dimensões nos locais de uso, em virtude das trocas de humidade com o meio. Neste caso, teoricamente, para o efeito, recomendar-se-ia que a madeira fosse seca até aqueles valores de humidade apresentados na tabela 8, para a sua utilização em cada um daqueles lugares. Porém, Galvão e Jankowsky (1985), afirmam que para que a madeira seja usada de forma racional, garantindo a sua estabilidade nos locais de uso, é necessário que seja seca até 0.5% a 2.0% menor ou maior que a humidade final desejada, dependendo do tempo que a madeira irá levar a espera de ser processada, das condições ambientais, bem como da espécie em causa.

Uma madeira seca deste modo, durante o armazenamento, manufactura e uso, o seu conteúdo de humidade irá aumentar e distribuir-se uniformemente na madeira porém, nunca ultrapassará o valor desejado (Kollmann e Coté, 1984).

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. Conclusões

Com base na análise dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- 1) Há considerável variação da humidade de equilíbrio higroscópico da madeira em Moçambique, em função da região do país.
- 2) As zonas costeiras apresentam numa forma geral, maior humidade de equilíbrio higroscópico do que as zonas do interior.
- 3) Para efeitos práticos de secagem de madeira para as principais cidades e municípios devem ser considerados três valores da HEH (11, 13 e 15%) de acordo com as zonas referidas na tabela 8.
- 4) A magnitude da variação dimensional da madeira é proporcional à diferença de humidade entre a madeira e o meio.
- 5) A utilização correcta da madeira carece de uma secagem artificial em algumas cidades e municípios do país onde os valores de HEH propostos são baixos, principalmente para espécies com altos coeficientes de retracção.

## 5.2. Recomendações

As humidades de equilíbrio estimadas a partir da equação de Simpson (1971) e dos dados do INAM prestam-se à utilização prática. Contudo é conveniente o desenvolvimento de estudos com espécies de madeiras comumente utilizadas em Moçambique, de modo a determinar os valores práticos de HEH para cada uma delas, assim sua relação com os valores teóricos.

Recomenda-se também o uso dos resultados obtidos neste trabalho para a secagem da madeira na indústria, e para o controle de humidade pelas indústrias utilizadoras de madeira, como por exemplo carpintarias.

O estudo da influência prática da HEH na utilização de madeira , especialmente de espécies com altos valores de retracção, em cidades com grande amplitude de variação de humidade de equilíbrio higroscópico, como Lichinga, Cuamba e Mocuba.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Browning, B. L. (1967). *Methods of wood chemistry*. Interscience Publishers. New York. 384p.
2. Bunster, J. H. (1995). *52 Madeiras de Moçambique*. UEM/FAEF/DEF. Maputo. 80p.
3. Burger, L.M & Richter, H.G. (1991). *Anatomia da madeira*. NOBEL. GTZ. 141p
4. Carvalho, A. (1970). *Técnica de Secagem de Madeiras ao ar*. Instituto Nacional de Investigação Industrial. 257p.
5. Carvalho, A. (1989). *Embalagens de madeira para produtos alimentares*. Universidade de Trás-os-Montes. 215p.
6. Cheremisinoff, N. P. (1980). *Wood for energy production*. Ann ABBOR Science. 152p.
7. De Melo, J. R. (1999). *Secagem de madeiras*. Teoria e prática de secagem artificial de madeiras. Estação Florestal Nacional - Portugal. 382p.
8. Dinwoodie, J. M. (1981). *Timber its nature and behaviour*. Van Nostrand Reinhold. New York. 190p.
9. De Sampaio, O. L. (1981). *Perguntas e Respostas em Secagem de madeiras*. Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo. 36p.
10. Galvão, A.P.M. (1975). *Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil*. IPEF, Piracicaba, (11): (53 – 65)pp.

11. Galvão, A.P.M e Jankowsky, I. P. (1985). *Secagem racional da madeira*. Livraria Nobel S. A. 112p.
12. Jankowsky, I.P e Galvão, A.P.M. (1979). *Influência do teor de extractivos na umidade de equilíbrio da Madeira*. IPEF, São Paulo, (18): (1 – 33)pp.
13. Jankowsky, I.P; Brandão, A.T.O; De Oliveira, H; Lima, J.C e Milano, S. (1986). *Estimativas da umidade de equilíbrio para cidades da região sul do Brasil*. IPEF, São Paulo, (32): (61-64)pp.
14. Nikitin, N. I (1966). *The chemistry of cellulose and wood*. Academy of science of the USSR; Institute of high molecular compounds. Israel. 691p.
15. Panshin, A. J and De Zeew, C. (1980). *Textbook of wood technology*. Structure, Identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada. Fourth edition. Mc Graw – Hill Publishing Company. New york. 722p.
16. Penã, V.S e Peris, F.J.J (1996). *Tecnologia de la Madeira*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. (251 – 257)pp.
17. Kollmann, F.F.P and Côté, W.A. (1984). *Principles of wood science and technology: Solid wood*. Vol. 1. Springer-Verlag. Berlin. 592p
18. Rietz, R. C. (1978). *Storage of Lumber*. USDA, Agriculture Handbook. 531. Madison. 63p.
19. Silva, J e Oliveira, J.T.S (2003). *Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de Eucalyptus saligna Sm, em diferentes condições de umidade relativa do ar*. Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV. In: Revista Árvore, vol 27, no 2.

20. Sjöström, E. (1993). *Wood chemistry. Fundamentals and applications*. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, INC, San Diego. 293p.
21. Skaar, C. (1972). *Water in wood*. Syracuse, Syracuse University Press. New York. 218p.
22. Skaar, C. (1988). *Wood – Water Relations*. Springer-Verlag. Berlin. 283p.
23. Stamm, A. J. (1964). *Wood and cellulose science*. The Reinhold Press Company. New York. 549p.
- ) 24. Tsoumis, G. (1991). *Science and technology of wood*. Structure, properties, utilization. Van Nostrand Reinhold. New York. 494p.
- ) 25. USDA. (1974). *Wood handbook: wood as an engineering material*. Revised edition. U. S. Forest Products Laboratory. No 72. Washington. (Cap. 3.14 e 16)
26. USDA. (1987). *Wood handbook: wood as an engineering material*. Revised edition. U. S. Forest Products Laboratory. No 72. Washington. 466p.
27. USDA. (1999). *Air Drying of Lumber*. USDA, Forest Service. Madison. 62p.

## 7. ANEXOS

Anexo 1: Valores normais de temperatura (°C) e humidade relativa (%) média mensal de 30 anos de diferentes regiões de estudo.

Provincia	Região	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
		T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)	T°C	Hr (%)
Inhambane	Vilanculos	26.8	75	27.0	77	26.4	77	24.8	76	22.8	78	20.9	79	20.2	78	21.0	78	22.4	75	23.5	74	24.9	76	26.1	75
		27.4	77	27.3	79	26.8	79	24.9	80	22.6	81	20.6	84	20.0	85	21.0	82	23.0	79	24.4	77	26.1	77	27.0	76
Gaza	Xai-xai	26.7	76	26.4	78	25.8	78	24.0	79	21.7	79	19.3	80	18.9	80	20.3	77	22.2	74	23.5	72	25.0	74	26.2	74
		26.5	73	26.7	76	26.0	76	24.0	76	22.4	76	18.0	75	19.2	74	20.0	72	22.5	69	24.6	68	26.0	70	27.0	70
Maputo	Praia de Bilene	27.0	69	26.6	72	26.0	73	24.5	73	22.0	74	19.7	75	19.9	74	21.0	71	23.6	66	24.9	64	25.7	65	26.8	66
		26.5	74	26.4	76	25.6	76	23.6	77	21.5	77	19.5	78	19.0	80	20.4	77	22.4	75	24.0	40	25.2	71	26.0	72
Zambézia	Umbeluzi	24.8	73	24.6	73	24.0	73	23.7	71	21.9	70	20.2	74	20.2	74	20.9	74	22.0	72	23.8	71	24.2	69	24.9	74
		26.1	78	26.2	79	25.6	79	24.1	78	22.2	76	19.9	73	19.9	74	20.5	74	21.7	76	22.6	77	24.0	78	25.5	78
Tete	Changalane	26.5	75	26.0	76	25.4	78	23.4	77	21.1	76	19.0	74	18.7	73	20.1	71	22.1	69	23.3	70	24.6	72	25.8	72
		26.9	71	26.7	72	26.0	73	24.1	71	21.7	69	19.3	65	19.0	63	20.7	64	22.5	64	23.6	67	24.9	69	26.3	70
Manica	Catandica <sup>e</sup>	26.9	71	26.8	73	26.1	73	24.1	71	21.4	71	18.8	70	18.6	70	20.4	67	22.2	66	23.4	66	24.9	68	26.0	69
		27.9	78	27.7	81	27.3	81	25.8	81	23.6	80	21.6	81	20.9	81	21.8	79	23.8	75	25.6	72	27.2	72	27.7	76
Sofala	Beira	27.2	76	27.3	78	26.5	79	25.2	79	22.8	78	20.8	80	20.3	80	21.9	73	24.6	63	27.1	57	27.9	61	27.4	72
		29.0	68	28.6	70	28.5	68	27.5	63	25.4	60	22.9	61	22.5	59	24.4	53	27.1	49	29.4	49	30.6	52	29.1	63
Niassa	Cuamba	24.2	77	23.9	79	23.3	79	21.6	76	19.8	72	17.8	71	17.3	68	18.9	65	21.3	63	22.6	67	24.0	68	24.1	74
		24.6	75	24.5	73	23.9	73	22.6	72	20.1	70	17.4	70	17.8	67	19.4	64	22.2	59	24.7	58	24.9	65	24.5	72
C. Delgado	Montepuez	27.8	76	27.6	78	27.1	78	25.5	78	23.3	78	21.5	77	20.9	79	21.6	79	23.4	77	24.8	75	26.4	75	27.1	76
		20.6	84	20.7	84	20.5	84	19.4	81	17.5	74	15.7	71	15.2	68	16.4	64	19.1	57	21.0	58	21.6	66	21.0	79
Nampula	Ilha de Moç. <sup>f</sup>	26.1	74	26.1	74	26.0	72	24.8	69	22.5	64	20.6	62	20.4	59	22.3	53	25.4	44	27.6	44	28.1	52	26.8	68
		27.0	84	26.9	84	26.7	86	26.0	83	24.7	79	23.3	76	22.6	77	22.9	78	23.9	78	25.4	77	26.6	79	27.1	82
Angoche	Mocimboa da praia	25.7	78	25.6	79	25.8	78	25.2	74	23.7	69	22.1	57	21.7	64	22.7	60	24.5	58	26.1	57	27.2	61	26.6	72
		27.5	82	27.5	82	27.3	84	26.7	82	25.5	79	24.0	75	23.3	75	23.6	77	24.2	78	25.4	79	26.7	78	27.4	81
Angoche	Nampula	26.3	74	26.0	75	25.8	76	24.7	75	23.1	71	23.1	70	20.9	69	22.1	64	24.0	59	25.7	57	27.0	60	26.7	69
		27.2	78	27.1	79	27.4	78	26.8	77	25.4	76	23.6	74	23.4	75	23.8	74	25.1	75	25.8	74	26.8	74	27.2	77
Angoche	Ilha de Moç. <sup>f</sup>	27.1	78	26.9	79	26.7	81	25.7	81	23.8	85	22.3	84	21.2	84	22.2	82	23.7	78	25.5	74	26.9	74	27.4	77
		27.1	78	26.9	79	26.7	81	25.7	81	23.8	85	22.3	84	21.2	84	22.2	82	23.7	78	25.5	74	26.9	74	27.4	77

Ano normal correspondente aos valores dados para as regiões da tabela acima: (1975 - 2004); a: (1951 - 1980) b: (1974 - 2003) c: (1971 - 2000) d: (1955 - 1984) e: (1949 - 1978) f: (1961 - 1990)

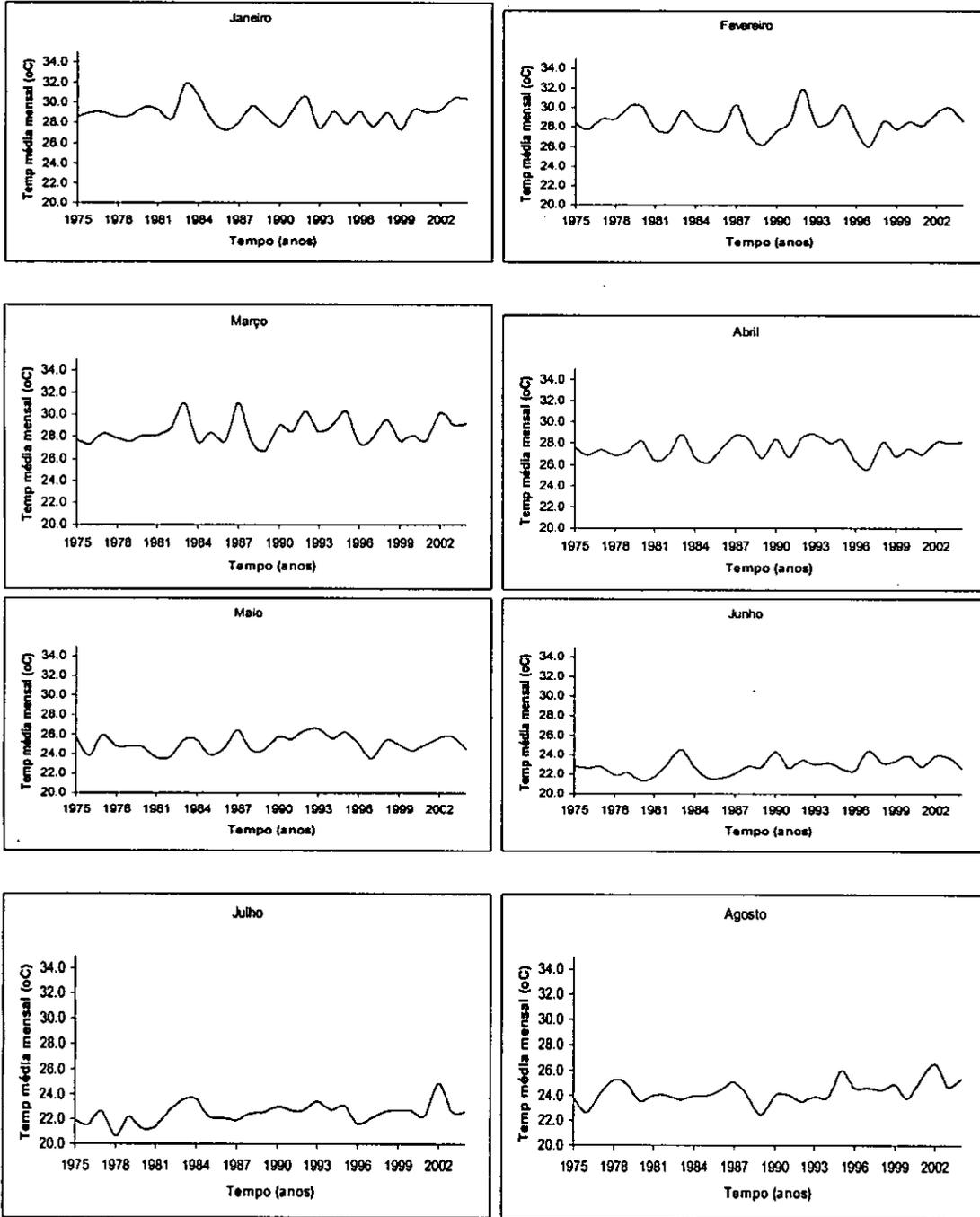
Anexo 2: Coeficiente de retracção das principais espécies madeiras usadas em Moçambique (Bunster, 1995)

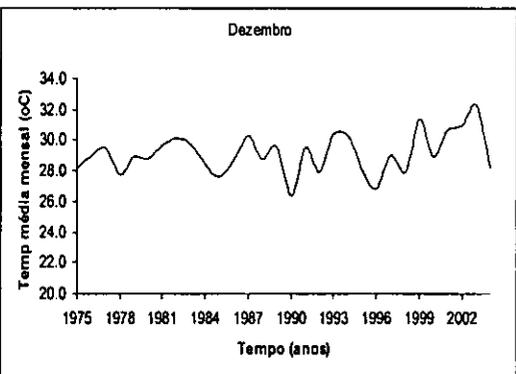
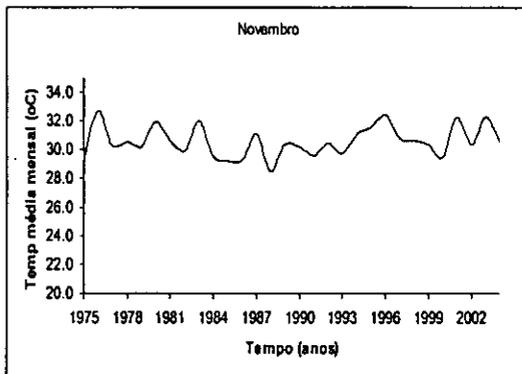
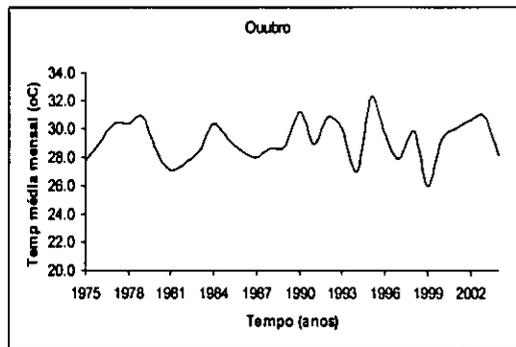
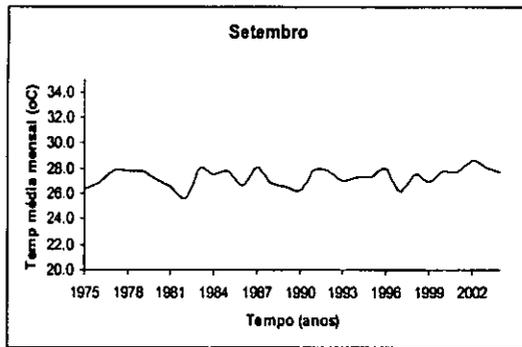
Nome científico	Espécie	Coeficiente de retracção		Usos
		N. comercial	Cr	
<i>Azelia quansensis</i>		Chanfuta	0.17	Mobiliário, decorações de interiores, carpintaria e construção civil
<i>Androstachys johnsonii</i>		Mecrusse	0.32	Parquet (principal uso), obras portuárias, torneados de marcenaria e guarnecimentos
<i>Burkea africana</i>		Mucarala	0.19	Pavimentos, construção civil, naval e carpintaria, contraplacados decorativos
<i>Brachystegia spiciformis</i>		Messassa	0.23	Usada para travessas, esteiro de minas, construção civil e marcenaria
<i>Combretum imberbe</i>		Monzo	0.13	Usa-se mais para parquet, objectos torneados e artesanato em geral
<i>Diospyros mespiliformis</i>		Ébano africano	0.24	Usada para carpintaria pesada, pavimentos e alguns trabalhos de marcenaria
<i>Frythrophium suaveolens</i>		Missanda	0.22	Construção civil pesada, travessas, vigas, obras portuárias, carroçarias e carpintaria
<i>Julbernardia globiflora</i>		Muimbe	0.24	Carpintaria, marcenaria e contraplacados de uso interno
<i>Khaya nyasica</i>		Umbaua	0.16	Indicada para folheados e contraplacados, marcenaria e carpintaria
<i>Milicia excelsa</i>		Tule	0.16	Utilizada em marcenaria, carpintaria. Vagões e carruagens, construção naval
<i>Millettia stuhlmannii</i>		Jambire	0.20	Aplica-se em marcenaria, decoração de interiores, parquet e folheados
<i>Pterocarpus angolensis</i>		Umbila	0.13	Excelente para marcenaria e carpintaria. Folheados decorativos, constr civil e naval
<i>Rhodognaphalon schumannianum</i>		Meguza	0.17	Para o uso interno em marcenaria, carpintaria leve. Embalagens e contraplacados
<i>Spirostachys africana</i>		Sândalo africano	0.17	Usada em obras de arte, marcenaria de luxo
<i>Swartzia madagascariensis</i>		Pau-ferro	0.24	Construção pesada, pavimentos, esculturas e trabalhos de torno
<i>Sclerocarya birrea</i>		Canho	0.14	Uso externo para formas de concreto, e no uso interno, para carpintaria ligeira, embalagens, contraplacados, brinquedos, palitos etc.
<i>Sterculia quinqueloba</i>		Metonha	0.15	Uso interno - construção leve, embalagens e marcenaria quando revestida de tinta.



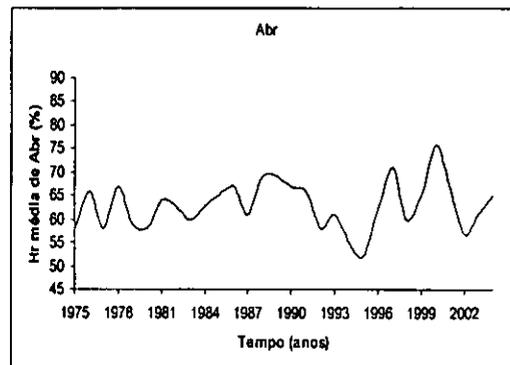
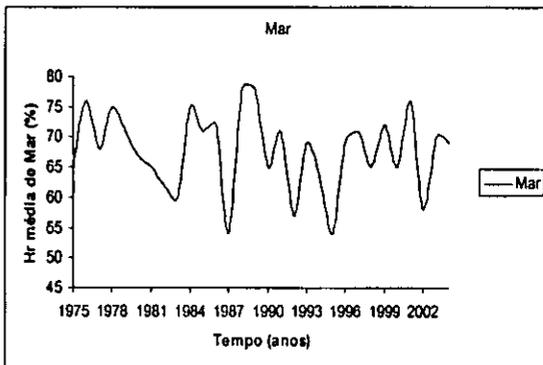
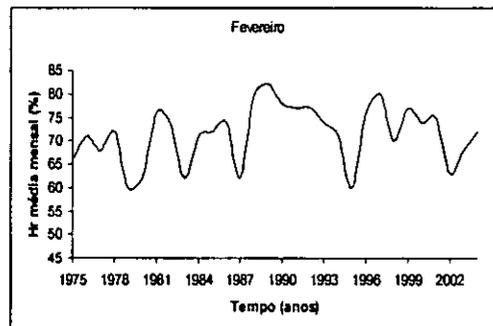
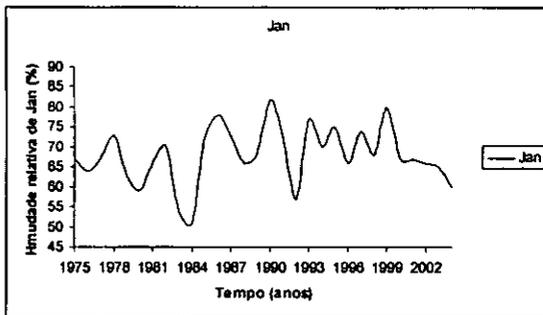
Anexo 3

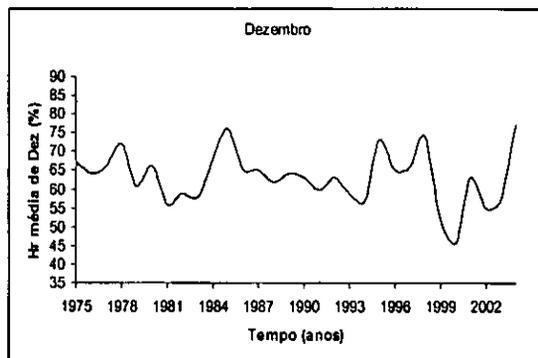
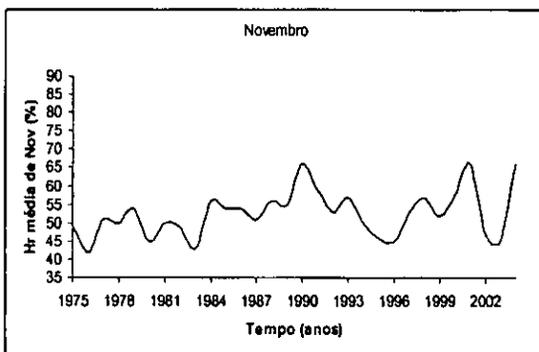
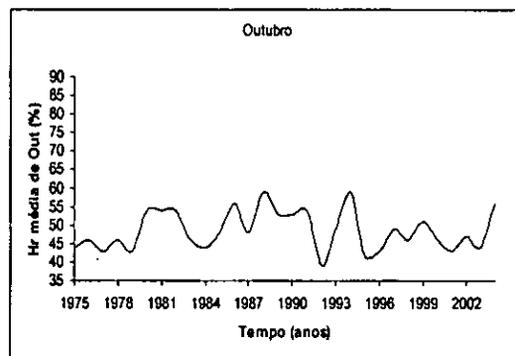
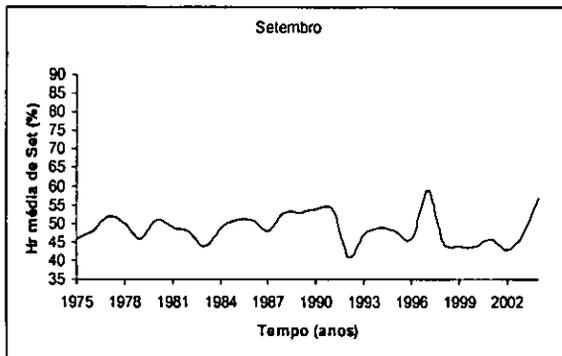
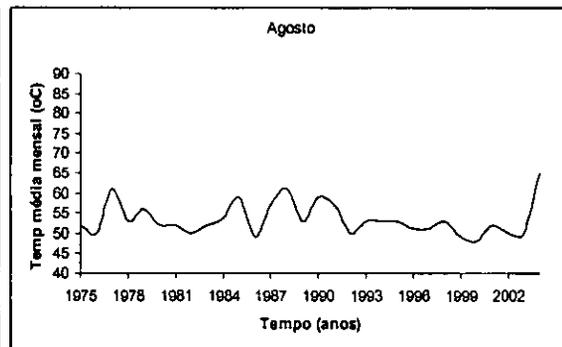
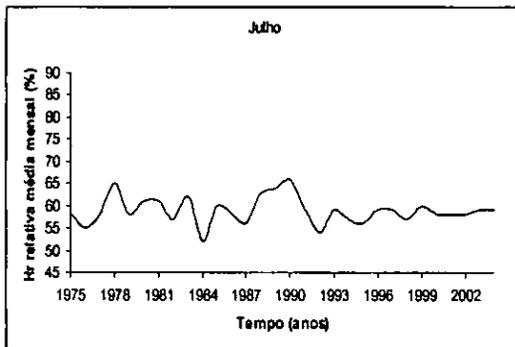
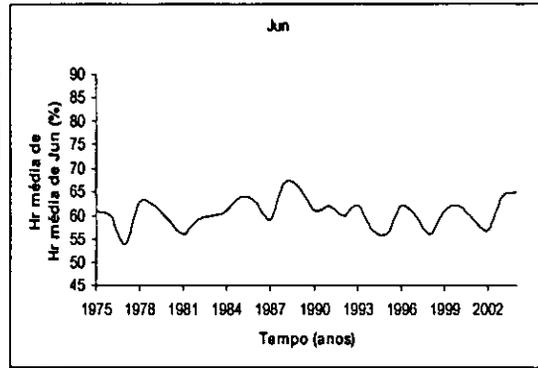
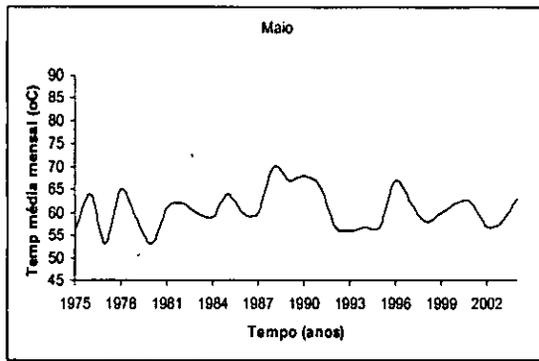
1. Gráficos de distribuição da temperatura média mensal da cidade de Tete no período de 1975 - 2004



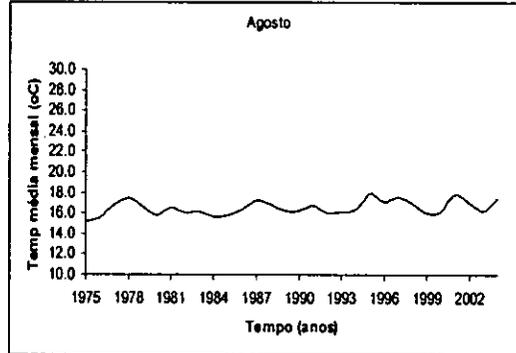
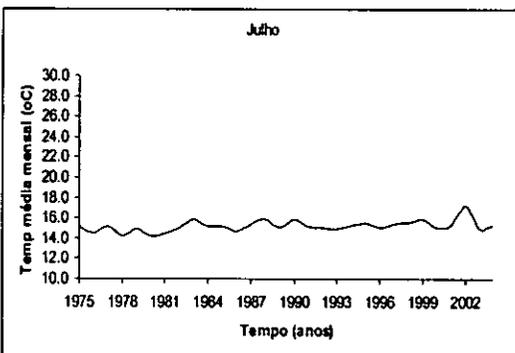
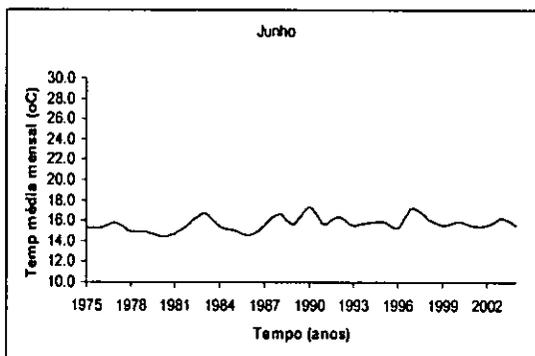
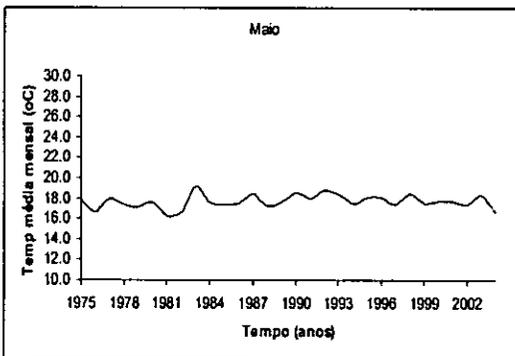
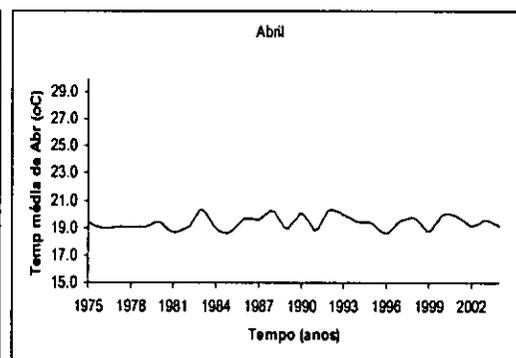
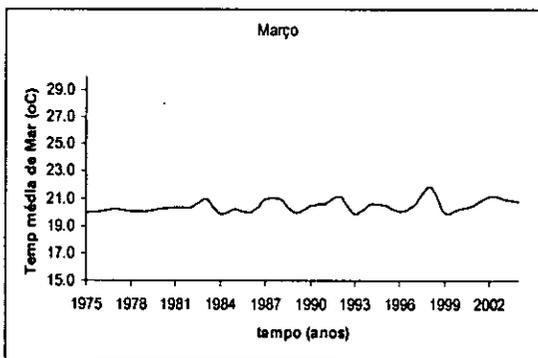
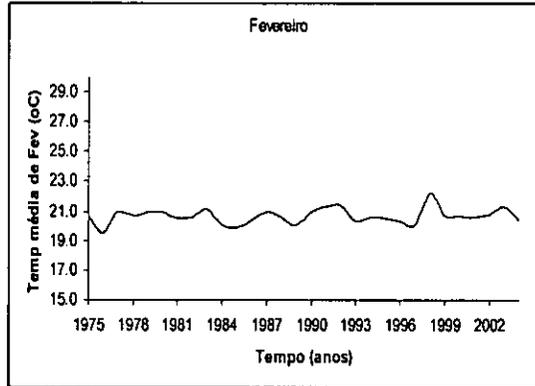
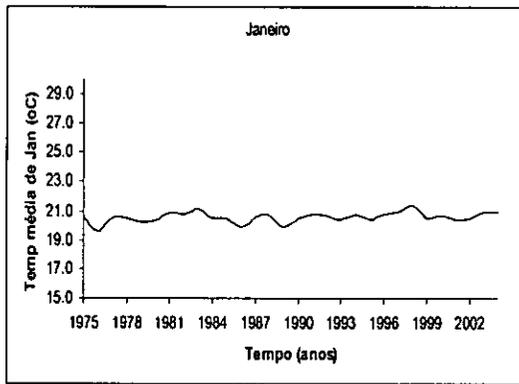


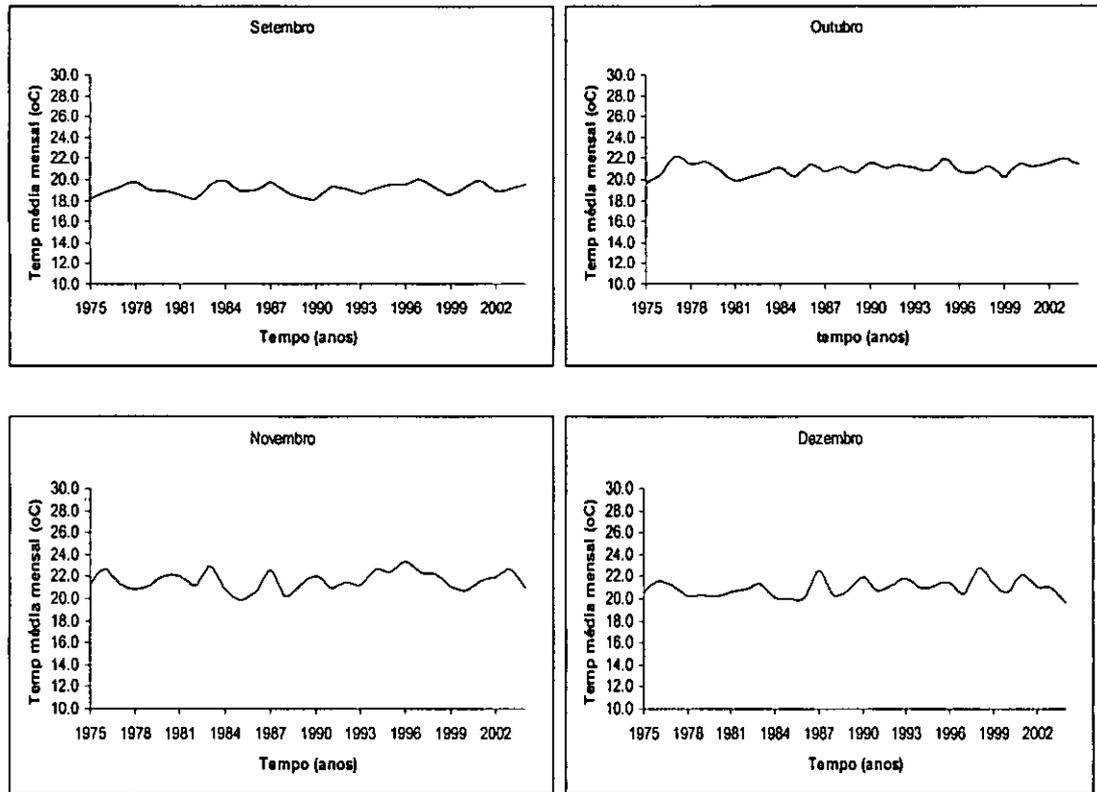
**2. Gráficos de distribuição da humidade relativa média mensal da cidade de Tete no período de 1975 – 2004**



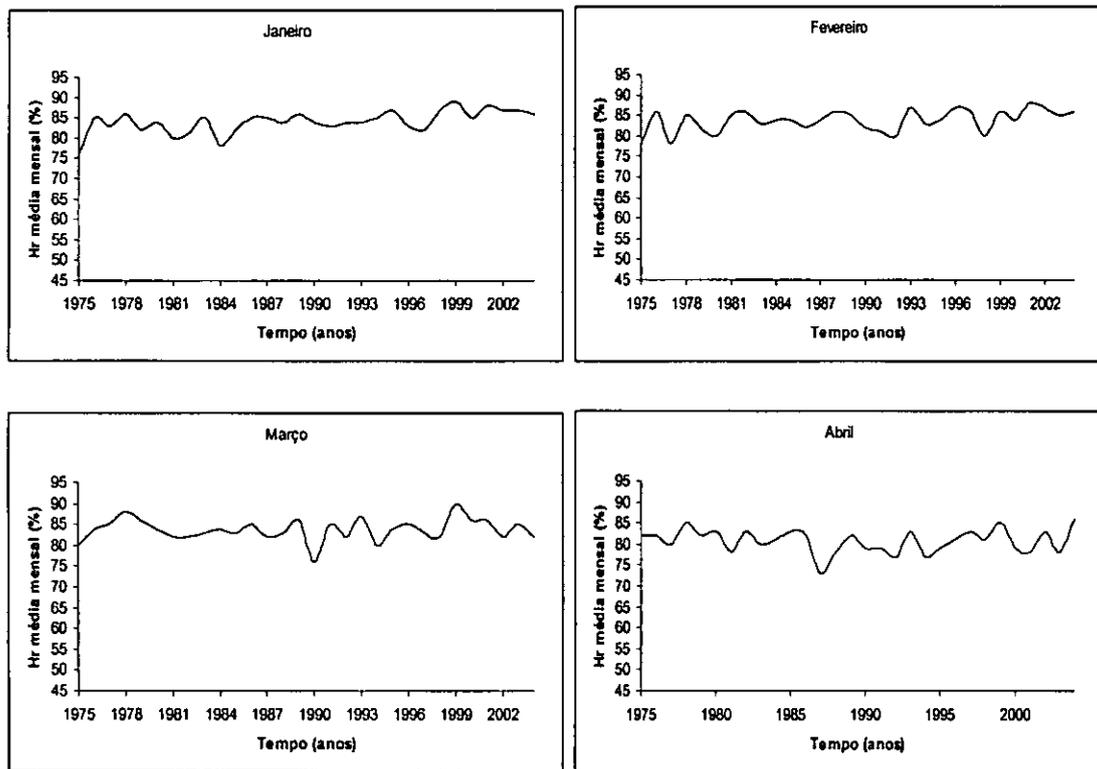


### 3. Gráficos de distribuição da temperatura média mensal da cidade de Lichinga no período de 1975 – 2004





4. Gráficos de distribuição de humidade relativa média mensal da cidade de Lichinga no período de 1975 – 2004



Humidade de equilíbrio higroscópico da madeira para diferentes regiões de Moçambique

