

**SECAGEM DE TORAS DE CLONES  
DE *Eucalyptus* EMPREGADOS NA  
PRODUÇÃO DE CARVÃO**

**RAPHAEL NOGUEIRA REZENDE**

**2009**

**RAPHAEL NOGUEIRA REZENDE**

**SECAGEM DE TORAS DE CLONES DE *Eucalyptus*  
EMPREGADOS NA PRODUÇÃO DE CARVÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. José Tarcísio Lima

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos  
Técnicos da Biblioteca Central da UFLA**

Rezende, Raphael Nogueira.

Secagem de toras de clones de *Eucalyptus* empregados na produção de carvão / Raphael Nogueira Rezende. – Lavras : UFLA, 2009.

178 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: José Tarcisio Lima.

Bibliografia.

1. Eucalipto. 2. Clone. 3. Carvão vegetal. 4. Madeira. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.38

**RAPHAEL NOGUEIRA REZENDE**

**SECAGEM DE TORAS DE CLONES DE *Eucalyptus*  
EMPREGADOS NA PRODUÇÃO DE CARVÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 9 de outubro de 2009.

Hélder Bolognani Andrade

V&M Florestal

Prof. José Reinaldo Moreira da Silva

UFLA

Alfredo Napoli

CIRAD

Prof. José Tarcísio Lima  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

**DEDICO...**

A toda minha família e amigos. Em especial, a Juninho, Luana e meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por permitir minha existência.

Aos meus pais, pelo respeito, amor, carinho e apoio dados ao longo de toda a minha vida.

Ao meu irmão Juninho, Dora e também à Cecília, pela amizade e incentivo.

A Luana, por fazer parte da minha vida e me acompanhar em todas as horas.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao setor de Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade oferecida, pela convivência e ensinamentos indispensáveis a este trabalho.

Ao professor Tarcísio, pelo desafio lançado, por sua orientação, por seus ensinamentos, amizade e colaboração, que muito contribuíram para o meu aprendizado e a realização deste trabalho.

Aos professores José Reinaldo, Paulo Trugilho e Alfredo, pela coorientação e colaboração.

Ao Edy, pela “coorientação”, fornecendo toda ajuda possível e presteza.

Aos colegas de projeto, em especial Carlão, Renato, Rogério e Érica.

Aos colegas Pablo, Otávio, Bola e Tião, pela amizade e apoio.

Aos funcionários da Serraria, Carlos, Zé Fazenda e Vico, por toda a ajuda possível.

À V&M Florestal, pela concessão da bolsa de estudos, material de pesquisa e todo apoio necessário.

Ao pessoal da V&M, em especial ao Luiz, Túlio, Léo Chagas, Élder, Pereira, Lado e Ângelo.

Ao André, por toda a força e ajuda nas incansáveis horas de trabalho.

A todos aqueles que um dia contribuíram para que eu chegasse até aqui.

## APRESENTAÇÃO GERAL

Este trabalho faz parte de um acordo de cooperação técnica e científica firmado entre a Universidade Federal de Lavras, o Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento – CIRAD/França e a empresa V&M Florestal Ltda., pertencente ao grupo Vallourec & Mannesman Tubes.

O objetivo principal desse acordo foi estudar a otimização da produção de carvão vegetal em todas as suas variáveis, processo, qualidade da madeira e controle de qualidade da matéria-prima e desenvolver técnicas de avaliação do carvão vegetal, confiáveis para aplicações na indústria siderúrgica.

Em um primeiro momento, esse acordo de cooperação contou com a participação de dois estudantes de doutorado, três de mestrado e cinco de iniciação científica, coordenados por professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira da UFLA e por um pesquisador do CIRAD/França.

Esse acordo de cooperação internacional entre universidade brasileira, centro de pesquisa internacional e empresa franco-brasileira resultou no desenvolvimento de cinco subprojetos que são relacionados a seguir:

- Subprojeto 1: Estudo da relação entre as propriedades mecânicas da madeira e do carvão vegetal;
- Subprojeto 2: Estudo das propriedades químicas da madeira e seu impacto na qualidade do carvão vegetal;
- Subprojeto 3: Estudos para otimização de corte de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal;
- Subprojeto 4: Estudo da avaliação da secagem de madeira no campo para a carbonização;

- Subprojeto 5: Aplicação do NIRS para avaliação das propriedades da madeira e do carvão vegetal.

Esta dissertação trata especificamente do subprojeto 4, cujo objetivo inicial foi avaliar a secagem e as condições de secagem de toras de clones de *Eucalyptus* utilizados na produção de carvão vegetal e está interligado ao subprojeto 3.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 O gênero <i>Eucalyptus</i> .....	4
2.2 O Setor Florestal Brasileiro.....	5
2.3 Água na madeira.....	6
2.3.1 Tipos de água na madeira.....	7
2.4 Movimentação de água na madeira.....	9
2.4.1 Movimento de água livre.....	10
2.4.2 Movimento de difusão.....	13
2.5 Secagem da madeira.....	17
2.5.1 Métodos de secagem.....	19
2.5.2 Importância da secagem.....	21
2.5.3 Fatores que afetam a secagem da madeira.....	22
2.5.3.1 Fatores inerentes à madeira.....	22
2.5.3.2 Fatores externos à secagem.....	24
2.5.4 Defeitos de secagem de toras para a carbonização.....	24
2.5.5 Secagem da madeira de <i>Eucalyptus</i> .....	27
2.6 Carbonização da madeira.....	32
2.7 Madeira x energia.....	33
2.8 Influência da umidade na madeira a ser carbonizada.....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.1 Secagem ao ar livre e em câmara de desumidificação de clone híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> (VM01) e de clone híbrido de <i>E. urophylla</i> (MN463), em Lavras, MG.....	45
3.2 Secagem de clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> (MN463) e clone de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> (VM01) em Paraopeba, MG e secagem de clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> (MN463) em Lavras, MG.....	52
3.3 Avaliação da variação diametral da umidade nas toras por baguetas.....	54
3.4 Avaliação da distribuição radial e longitudinal da umidade em toras dos clones de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 e de <i>E. urophylla</i> MN463 em câmara de desumidificação.....	55
3.5 Análise de regressão.....	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.1 Secagem ao ar livre.....	60

4.1.1 Secagem de clone híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> (VM01) em Lavras, MG.....	60
4.1.2 Secagem de clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> (MN463) em Lavras, MG.....	67
4.1.3 Secagem de clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> (MN463) em Paraopeba, MG.....	72
4.1.4 Secagem de clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> (MN463), em Lavras, MG .....	77
4.1.5 Secagem de clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> (VM01) e clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> (MN463) em Paraopeba, MG.....	83
4.2 Secagem controlada em câmara de desumidificação na UFLA.....	96
4.2.1 Secagem controlada de clone de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> (VM01).....	96
4.2.2 Secagem controlada de clone de <i>E. urophylla</i> (MN463).....	105
4.3 Avaliação de umidade diametral nas toras por baguetas .....	114
4.3.1 Umidade diametral em toras com casca e sem casca do clone de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01, após 80 dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG.....	114
4.3.2 Umidade diametral em toras com casca e sem casca do clone de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01, após sessenta dias de secagem controlada em câmara de desumidificação da UFLA.....	117
4.3.3 Umidade diametral para toras sem casca do clone de <i>E. urophylla</i> MN463, após noventa dias de secagem ao ar livre, em Paraopeba, MG.....	120
4.3.4 Umidade diametral para uma tora sem casca do clone de <i>E. urophylla</i> MN463, após cinquenta dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG.....	123
4.4 Distribuição da umidade em toras dos clones de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 e de <i>E. urophylla</i> MN463 .....	124
4.4.1 Distribuição da umidade em toras do clone de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 .....	124
4.4.2 Distribuição da umidade em toras do clone de <i>E. urophylla</i> MN463 .....	128
5 CONCLUSÕES .....	132
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	134
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
ANEXOS .....	148

## RESUMO

REZENDE, Raphael Nogueira. **Secagem de toras de clones de *Eucalyptus* empregados na produção de carvão**. 2009. 178 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

A secagem de toras de *Eucalyptus* é uma importante etapa do processo de carbonização. Seu controle é relevante no rendimento e na qualidade do carvão produzido. Seguindo-se o corte das árvores, as toras são empilhadas nas margens das estradas ou nos pátios da planta de carbonização e são carbonizadas após 90 dias de secagem ao ar livre. O objetivo deste trabalho foi avaliar a secagem de toras de clones de *Eucalyptus* utilizados na produção de carvão, ao ar livre e em câmara de desumidificação. Para isso, pilhas de secagem foram instaladas em Lavras, MG e em Paraopeba, MG. A secagem em câmara de desumidificação ocorreu na Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira do DCF/UFLA. Foram utilizadas toras dos clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01) e de *Eucalyptus urophylla* (MN463), ambos com oito anos de idade. A umidade inicial das toras foi determinada e o acompanhamento da secagem foi realizado por pesagens periódicas. As maiores taxas de secagem foram observadas nas três semanas iniciais. A presença da casca retardou a secagem das toras. O tempo médio de secagem ao ar livre em Lavras para as toras do clone VM01 atingirem 50% de umidade foi de 200 dias. As toras do clone MN463 necessitaram de 90 dias de secagem ao ar livre em Lavras para atingirem uma umidade média de 57%. O tempo médio de secagem ao ar livre em Paraopeba para as toras do clone MN463 alcançarem 52% e para as toras do clone VM01 atingirem 44% foi de 80 dias. Após 120 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação a umidade média das toras do clone VM01 foi de 30% e do clone MN463 foi 27%. O clone MN463 secou mais rápido que o clone VM01. Toras de maiores diâmetros demoraram mais para secar que as toras de menores diâmetros. A distribuição da umidade através do diâmetro foi heterogênea, com maiores valores observados na região interna. Para a distribuição de umidade ao longo de uma tora, os maiores valores de foram observados na região central da tora.

Palavras-chave: secagem, toras, *Eucalyptus*, carvão.

---

\* Comitê Orientador: José Tarcísio Lima - UFLA (Orientador), Alfredo Napoli-CIRAD, Paulo Fernando Trugilho – UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA.

## ABSTRACT

REZENDE, Raphael Nogueira. **Drying of *Eucalyptus* clones logs employed in charcoal production**. 2009. 178 p. Dissertation (Master in Wood Science and Technology) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

*Eucalyptus* logs drying is an important phase in the carbonization process. Its control is relevant to the yield and quality of the charcoal. Following the cut of trees, the logs are piled on the roadside or courtyards in the carbonization plant and are carbonized after about 90 days of air drying. The objective of this study was to evaluate both air and dehumidification drying of *Eucalyptus* clones logs used for charcoal production. For this, drying piles were installed in Lavras, MG and Paraopeba, MG. The drying in dehumidification chamber occurred at the Experimental Unit of Sawmill and Wood Drying, DCF/UFLA. Logs of the *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* clone (VM01) and *Eucalyptus urophylla* clone (MN463), with eight years of age were used. The initial moisture content of logs was determined and the drying monitoring was carried out by periodic weighing. The highest drying rates were observed in the initial three weeks. The presence of bark retarded the drying of the logs. The average time of air drying in Lavras for the VM01 clone logs reach 50% moisture was 200 days. The logs of MN463 clone required 90 days of air drying in Lavras to reach 57% average moisture. The average time of air drying in Paraopeba for the MN463 clone logs reach 52% moisture and the VM01 clone logs reach 44% was 80 days. After 120 days of drying controlled in the dehumidification chamber the average moisture of the logs of VM01 clone was 30% and MN463 clone was 27%. The MN463 clone dried faster than the VM01 clone. Logs of larger diameters have dried more slowly than the logs of smaller diameters. The distribution of moisture across the diameter was heterogeneous, with highest values observed in the inner region. For the distribution of moisture along the log, the highest values were observed in the central region of the log.

Keywords: drying, logs, *Eucalyptus*, charcoal.

---

\* Guidance Committee: José Tarcísio Lima - UFLA (Major Professor), Alfredo Napoli – CIRAD, Paulo Fernando Trugilho – UFLA and José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de carvão vegetal do mundo. Em 2005, produziu 9,5 milhões de toneladas, o que corresponde a 25% da produção mundial (Associação Mineira de Silvicultura - AMS, 2008). Minas Gerais destaca-se como o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do Brasil, em razão de possuir hoje o maior parque siderúrgico da América Latina e o maior alto-forno a carvão vegetal do mundo. O estado produz cerca de 80% do carvão nacional e consome 66% do total produzido no país (AMS, 2008; Pereira & Santos, 2008).

Diversos setores da economia utilizam o carvão vegetal como matéria prima. O setor residencial consome 8% do total de carvão produzido e o setor comercial (pizzarias, churrascarias e padarias) consome apenas 1%. Já o setor industrial de ferro-gusa, aço, ferro-liga e cimento consome aproximadamente 90% desse carvão (AMS, 2008). Empresas do ramo utilizam em larga escala o carvão como termorredutor na produção de aço, como é o caso da V&M Florestal, que tem capacidade nominal de 1,2 milhões m<sup>3</sup> de carvão de *Eucalyptus* por ano.

As propriedades do carvão vegetal estão intimamente ligadas aos parâmetros do processo de produção e da matéria-prima que lhe deu origem. Cada minério exige um redutor com certas propriedades, sendo o conhecimento dessas propriedades e seu controle de grande utilidade na fabricação e escolha de carvão vegetal a ser utilizado.

A variabilidade nas propriedades da madeira exerce um papel decisivo sobre a qualidade do carvão vegetal. Algumas características intrínsecas à madeira, como teor de lignina, densidade básica, dimensão das peças e umidade influenciam na qualidade do carvão.

Qualquer material lenhoso recém-abatido apresenta considerável quantidade de água que, para a produção de carvão vegetal, deve ser em parte removida por meio da secagem. A secagem da madeira é uma importante etapa no processo de carbonização e seu controle é decisivo no rendimento e na qualidade do carvão produzido.

A presença de água na madeira implica em uma redução do poder calorífico, em função da alta energia para aquecer e evaporar a umidade da madeira. Além disso, nos fornos de carbonização, essa energia é gerada pela queima de parte da madeira a ser carbonizada.

Uma madeira úmida influencia fortemente o controle do processo, como a temperatura e a velocidade de aquecimento, havendo necessidade de constantes reajustes no sistema (Ladeira, 1992, citado por Cotta, 1996). A produção de carvão com madeira úmida gera um carvão friável e quebradiço e eleva o teor de finos durante o manuseio e o transporte do carvão. Uma madeira com maior teor de umidade afeta o rendimento da carbonização; em um forno com aproveitamento de gases para secagem o rendimento gravimétrico aumentou de 28% para 40%, reduzindo-se a umidade da madeira de *Eucalyptus* de 30% para 18% (Fávero et al., 2007). A madeira enforada deve ter, portanto, a menor umidade possível, mas nem sempre está suficientemente seca para a carbonização.

Embora, na literatura, sejam encontrados vários estudos relacionados à secagem da madeira no Brasil, tais esforços se concentram mais na secagem artificial e ao ar livre da madeira serrada. Tratando-se de secagem ao ar livre da madeira para fins energéticos, estudos ainda são raros ou não publicados.

Haja vista a importância que o controle da secagem tem sobre processo de carbonização, torna-se cada vez mais necessária a realização de estudos relacionados à secagem de toras destinadas à carbonização.

Neste contexto, este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar a secagem ao ar livre e as condições de secagem de toras de dois clones de *Eucalyptus* utilizados na produção de carvão vegetal; avaliar a secagem controlada em câmara de desumidificação e avaliar a distribuição radial e longitudinal da umidade nas toras dos clones.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* é nativo da Austrália e pertence à família Myrtaceae. Possui cerca de 800 espécies, além de um grande número de variedades e híbridos, cuja maioria foi descrita no trabalho de Blake, em 1934 (Andrade, 1961; Lima, 1993; Boland et al., 1994; Coppen, 2002).

Acredita-se que a introdução deste gênero no Brasil tenha sido feita por Frederico de Albuquerque, no Rio Grande do Sul, em 1868 (Andrade, 1961).

Entretanto, o primeiro cientista brasileiro a estudar e a cultivar *Eucalyptus* foi Edmundo Navarro de Andrade, que trabalhou na Companhia Paulista de Estradas de Ferro, com o objetivo de utilizar as árvores plantadas para alimentar as caldeiras das locomotivas e para a produção de moirões, dormentes e postes.

Atualmente, no Brasil, espécies do gênero *Eucalyptus* têm sido plantadas em grandes áreas e bastante utilizadas com múltiplos fins industriais.

A cultura do eucalipto vem se destacando como uma das principais representantes do setor florestal brasileiro, devido à sua adaptação às condições edafoclimáticas do Brasil, rápido crescimento, tecnologia de produção, desenvolvimento de práticas silviculturais eficientes, melhoramento genético e técnicas que permitem um melhor aproveitamento de sua madeira. Campinhos Júnior (2001) afirma, ainda, que suas espécies ocorrem em populações nativas existentes e protegidas nas suas regiões de origem, sendo, assim, fontes de material genético; sua maturação é precoce e tem boa forma; diferentes espécies podem ser cruzadas para produção de híbridos vigorosos e madeiras com novas características; é possível clonar híbridos e várias espécies e podem produzir madeira para diversas finalidades, como, por exemplo, fibras, painéis, madeira serrada e energia.

Atualmente, as florestas plantadas com eucalipto são uma das grandes fontes de matéria-prima florestal e apresentam um diferencial de competitividade para cada uma das indústrias do setor.

## **2.2 O Setor Florestal Brasileiro**

O Brasil possui uma área reflorestada com *Pinus* e *Eucalyptus* em torno de 6.126.000 hectares, dos quais 4.259.000 são plantados com o gênero *Eucalyptus* e 1.868.000 com *Pinus* (Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF, 2009).

Minas Gerais é o estado que apresenta a maior extensão de áreas plantadas com *Eucalyptus*, totalizando 1.278.212 hectares (ABRAF, 2009), e a tendência, a médio e a longo prazo, é que esta área expanda ainda mais.

Em 2007, o setor florestal brasileiro se mostrou competente para disputar no mercado internacional e o país apresentou reais condições para aumentar a sua participação. Contribuiu com 3,5% no Produto Interno Bruto (PIB) total brasileiro, com exportações em torno de 3,4 bilhões de dólares. Registrou um faturamento de 27,8 bilhões de dólares oriundos de produtos de origem florestal e recolheu impostos da ordem de 4,2 bilhões de dólares. O setor empregou, direta e indiretamente, 6,5 milhões de pessoas, o que corresponde a 7,4% da população economicamente ativa do país (ABRAF, 2008). Na balança comercial do agronegócio, as exportações florestais foram superadas apenas pelos complexos soja e carnes (Pereira & Santos, 2008).

Já em 2008, o setor florestal brasileiro viveu bons e maus momentos. Durante o primeiro semestre, várias foram as iniciativas dadas ao setor, o que possibilitou um desejável crescimento e propostas de grandes investimentos. Nos últimos meses do ano, a crise internacional atingiu a economia brasileira e freou o bom momento do setor, trazendo consigo ameaças e inúmeras

dificuldades, impossibilitando-o de repetir o mesmo desempenho dos anos anteriores (ABRAF, 2009).

A crise provocou redução nas vendas de celulose, painéis de madeira reconstituída, móveis, carvão vegetal e aço, adiando ou até mesmo suspendendo vários investimentos (ABRAF, 2009). Entretanto, acredita-se que o ciclo de crescimento observado nos períodos anteriores permita aos diversos segmentos do setor florestal brasileiro se organizarem, adotando estratégias para se prepararem para a expansão, após a superação dos impasses ocasionados pela crise mundial.

Na visão dos analistas econômicos, o setor tem condições de retomar o seu crescimento, embora em ritmo mais lento, pois o Brasil é um país de caráter florestal, onde a madeira é item relevante na pauta de produção, e vem sendo utilizada em grande escala na produção de papel, celulose, móveis, painéis e carvão vegetal (ABRAF, 2009).

### **2.3 Água na madeira**

A madeira pode ser definida como um material biológico, heterogêneo, anisotrópico, higroscópico, formado por diferentes tipos de células que desempenham funções vitais à árvore, como sustentação, condução de líquidos, transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas. Os processos envolvidos no crescimento e no desenvolvimento de uma árvore estão relacionados ao movimento de água das raízes às folhas e ao transporte da energia produzida pela fotossíntese às regiões de crescimento da árvore (Burger & Richter, 1991).

As árvores absorvem água e sais minerais do solo, que circulam pelo xilema e deslocam-se até as folhas, constituindo a seiva bruta. Das folhas em direção às raízes circula pelo floema a seiva elaborada, constituída de água e produtos gerados pela fotossíntese (Galvão & Jankowsky, 1985).

### 2.3.1 Tipos de água na madeira

De acordo com Klitzke (2003), três tipos de água existem na madeira:

- a) água livre ou de capilaridade;
- b) água de adesão ou de impregnação;
- c) água de constituição.

Na Figura 1 estão apresentadas os tipos de água na madeira (água livre e água de adesão).

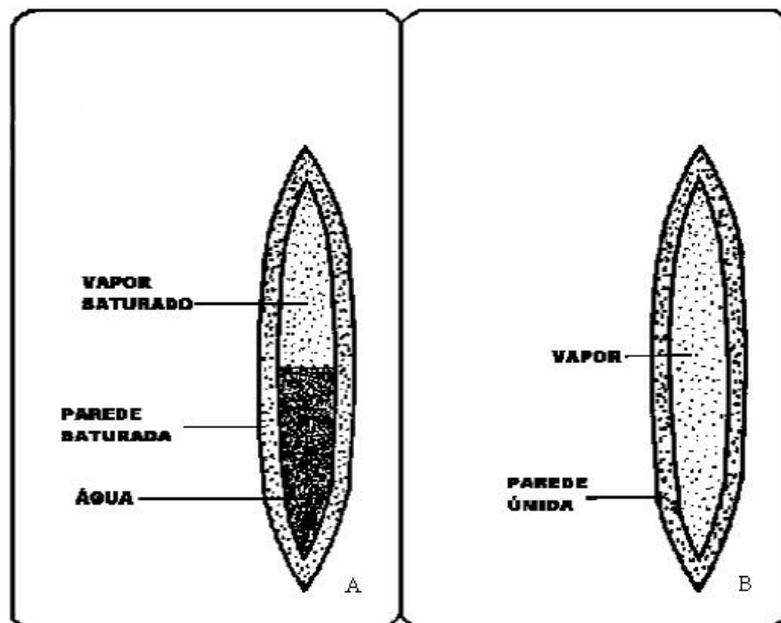


FIGURA 1 Tipos de água na madeira: água livre (A) e água de adesão (B).

Fonte: Autor Desconhecido

Segundo Skaar (1972), a água livre ou de capilaridade é a água que ocupa as cavidades das células e espaços intercelulares, incluindo também vasos e canais resiníferos, retida por fracas ligações capilares.

Sua retirada, quando conduzida corretamente, ocasiona apenas uma redução de peso na madeira, ocorrendo quando a madeira se encontra EM teores de umidade entre o ponto de saturação das fibras (PSF) e o máximo teor de umidade (Kollmann, 1959, citado por Mellado, 2007; Durlo, 1992).

O PSF refere-se a um ponto de umidade que, normalmente, varia de 25% a 35% (Skaar, 1972), com valor médio de 28%, em que a água está presente nas paredes das fibras, mas lumes e espaços intercelulares estão vazios.

De acordo com Ponce & Watai (1985), o PSF é de grande importância para a tecnologia da madeira. A partir desse ponto e até a completa secagem das fibras, mudanças significativas ocorrem nas propriedades físicas e mecânicas da madeira. Abaixo deste ponto, uma maior energia é necessária para remover a água existente, uma vez que a ligação água-madeira é mantida por ligações mais fortes e a atração entre elas tem de ser vencida.

Logo que a árvore é abatida, a madeira perde facilmente sua água livre por evaporação, sem que sofra qualquer contração. Após a saída da água livre, a madeira vai perdendo mais lentamente a água de adesão, até que a umidade da madeira entre em equilíbrio com condições externas de umidade relativa do ar e temperatura. Este ponto é conhecido como umidade de equilíbrio da madeira, em que a madeira não perde nem retém água do ambiente. Oscilações nas condições externas do ambiente acarretam oscilações proporcionais na umidade da madeira (Skaar, 1972; Ponce & Watai, 1985).

A água de adesão refere-se à água contida nas paredes celulares (Galvão & Jankowsky, 1985), sendo retida pela madeira em uma relação mais forte que a água livre.

De acordo com Klitzke (2003), existe uma teoria de que água de adesão é constituída por hidrogênios fixados aos grupos hidroxilas da celulose e hemiceluloses por ligações de hidrogênio. Parte da água de adesão está ligada às moléculas de celulose por ligações de valência secundária (Stein, 2003).

A água de adesão, por ser mantida por ligações mais fortes, portanto, só é removida da madeira após a eliminação da água livre (ligações mais fracas).

Já a água de constituição é aquela que se encontra quimicamente combinada com as substâncias orgânicas da parede celular. Sabe-se que essa ligação é tão íntima que só é interrompida com a alteração completa da composição química da madeira ou o rompimento da parede celular (Skaar, 1972). Trata-se da água que faz parte da constituição química da própria madeira. Removendo-se a água de constituição, o ponto de 0% de umidade ou absolutamente seco pode ser atingido, o que, na prática, é de maior complexidade.

#### **2.4 Movimentação de água na madeira**

A movimentação de água na madeira está diretamente envolvida com o processo de secagem. A água, geralmente, se movimenta das zonas de alta umidade para zonas de baixa umidade, sendo fundamental para tal movimentação a existência de gradientes de umidade e condições externas de temperatura, umidade relativa e velocidade de circulação do ar.

O movimento de água, seja qual for o tipo, ocorre praticamente em qualquer direção, tanto no sentido longitudinal como no sentido transversal.

A movimentação longitudinal é de 10 a 15 vezes mais rápida do que a lateral e a movimentação radial é mais rápida do que na direção tangencial. Embora mais rápida no sentido longitudinal, a água sempre busca o menor caminho para sair, ou seja, transversalmente à grã (Mellado, 2007).

A água desloca-se mais rapidamente no alburno do que no cerne, uma vez que o cerne está parcialmente bloqueado por extrativos, e mais rapidamente em madeiras de baixa que de alta densidade. A densidade está diretamente relacionada aos caracteres anatômicos da madeira; madeiras mais densas podem apresentar menor frequência de poros e de menores diâmetros, maior espessura

de parede celular e maior proporção de tecidos prosenquimáticos, dentre outros (Klitzke, 2003).

A água livre movimenta-se de forma relativamente simples de ser compreendida quanto aos aspectos físicos e matemáticos. Já a movimentação da água de adesão e a do vapor d'água, que ocorrem por difusão, são processos mais complexos, em que os fluxos de umidade e gradiente são variáveis no tempo e no espaço (Klitzke, 2003). A difusão é um processo mais lento, no qual ocorrem, simultaneamente, a difusão de vapor através das cavidades celulares e a difusão de água adsorvida nas paredes celulares da madeira (Kollmann & Côté, 1968).

#### **2.4.1 Movimento de água livre**

O movimento da água livre ou capilar é o movimento de umidade acima do ponto de saturação das fibras, baseado na ação de forças capilares. A água move-se no estado líquido através das cavidades celulares presentes na madeira do interior para a superfície, por meio diferenças de tensão de capilaridade, baseado na lei de Hagen-Poiseuille (Kollmann & Côté, 1968).

Em um capilar, como é o caso dos vasos na madeira, o movimento de água livre é definido pelas diferenças de tensão e forças existentes na superfície do menisco dentro deste capilar (Mellado, 2007).

Considerando-se um menisco balanceado (côncavo) e outro não balanceado (plano), a pressão de vapor sobre o primeiro é menor que a pressão exercida sobre o segundo, existindo um movimento da água livre em função do gradiente de pressão gerado pela evaporação da água na superfície e condensação na inferior, como mostra a Figura 2.

Esta tensão “T”, em um menisco balanceado dentro de um capilar de raio “r”, pode ser determinada por meio da Equação 1:

$$T = H \times \rho = 2\sigma/r \quad (1)$$

em que:

T: tensão capilar ( $\text{g/cm}^2$ )

H: altura em que o líquido sobe no capilar (cm)

$\rho$ : densidade do líquido ( $\text{g/cm}^3$ )

$\sigma$ : tensão superficial do líquido ( $\text{g/cm}$ )

r: raio do capilar (cm).

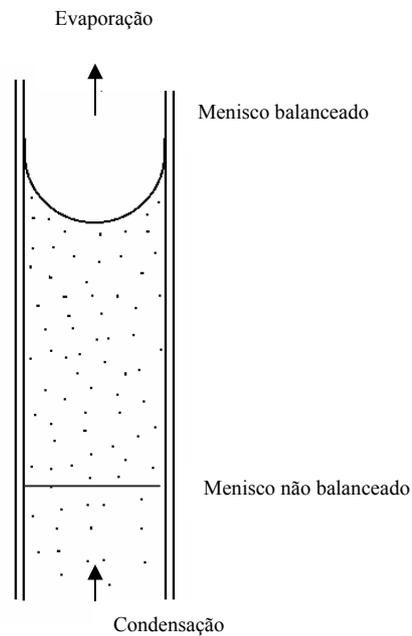


FIGURA 2 Fluxo de líquido em um capilar.

Fonte: Adaptado de Kollmann & Côté (1968)

A tensão capilar é diretamente proporcional à tensão superficial da interface ar-água e inversamente proporcional ao raio da curvatura. Segundo Siau (1971), o fluxo através dos capilares é uma função do raio do capilar à quarta potência.

O fluxo capilar é maior no sentido longitudinal que no sentido transversal, possuindo este último um menor número de pontoações e possível presença de substâncias que possam obstruir a livre passagem da água (Garbe, 2008).

As leis que modelam as forças capilares consideram que quanto maior o raio do capilar, menor é a tensão capilar, o que resulta numa redução do fluxo. O fluxo capilar é afetado pela permeabilidade da madeira, sendo inversamente proporcional a esta propriedade.

A permeabilidade possui relevante importância na movimentação da água capilar por ser uma condição relacionada às aberturas das pontoações nas paredes das células da madeira e do transporte de água na árvore. Cavalcante (1991) define a permeabilidade como a medida da facilidade de escoamento de um fluido através de um material poroso, governado pela lei de Darcy (Equação 2), sendo:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times \Delta P} = \frac{V \times L}{t \times A \times \Delta P} \quad (2)$$

em que:

K – permeabilidade (cm<sup>2</sup> /atm.s);

Q – razão do escoamento (cm<sup>3</sup>/s);

L – distância em que é medido o fluxo (cm);

A – área da seção do material perpendicular à direção do fluxo (cm<sup>2</sup>);

ΔP – diferencial de pressão (atm);

V = volume do líquido escoado através da madeira (cm<sup>3</sup>);

t = tempo de escoamento do líquido (s).

De acordo com a equação, pode-se dizer que a permeabilidade é numericamente igual à taxa de fluxo através de um cubo unitário de um sólido poroso com pressão diferencial unitária entre duas faces opostas (Siau, 1971).

O mesmo autor afirma que, se as membranas das pontoações estiverem obstruídas ou incrustadas ou se estiverem aspiradas, a madeira assume uma estrutura de célula fechada, com a permeabilidade e o fluxo capilar bem próximos de zero. A permeabilidade também decresce quando se aumenta o comprimento da peça de madeira, possivelmente em função da maior distância e tempo necessário ao escoamento da água na madeira.

A temperatura da madeira é outro fator limitante ao movimento capilar, pois, em temperaturas mais altas a viscosidade da água é reduzida, provocando um movimento mais rápido da água livre.

Stamm (1964) aponta que a existência de bolhas de ar no interior das células, o aumento do diâmetro das pontoações e o aumento da temperatura favorecem o movimento de água livre.

Siau (1971) afirma que a movimentação e a posterior remoção da água livre são limitantes durante a secagem. Baixas temperaturas devem ser frequentemente utilizadas durante as etapas iniciais da secagem, devido ao risco de defeitos associados à rápida remoção da água, como rachaduras superficiais, endurecimento superficial e colapso.

#### **2.4.2 Movimento de difusão**

O fenômeno da difusão de água na madeira ocorre abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF) e envolve o movimento de vapor d'água nas cavidades celulares, pontoações, placas de perfuração, espaços intercelulares, devido a um gradiente de pressão de vapor (umidade relativa) e o movimento da água adsorvida através das paredes celulares, por um gradiente de umidade, podendo, ainda, haver uma combinação de ambos (Mellado, 2007).

O movimento de água abaixo do ponto de saturação das fibras, quando considerado em estado constante, é governado pela primeira Lei de Fick (Equação 3), que estabelece que o fluxo de umidade é proporcional ao gradiente

de concentração na direção do fluxo. O sinal negativo da equação significa que a difusão ocorre na direção de diminuição da concentração.

$$J = -D \times \frac{\partial n}{\partial x} \quad (3)$$

em que:

$J$  = densidade de corrente de partículas (número efetivo de partículas que atravessam na unidade de tempo uma área unitária perpendicular à direção de difusão);

$D$  = coeficiente de difusão ( $\text{cm}^2/\text{s}$ );

$\frac{\partial n}{\partial x}$  = gradiente de concentração, “ $n$ ” é a concentração em  $\text{g}/\text{cm}^3$  e “ $x$ ”

é distância do movimento perpendicular à superfície ( $\text{cm}$ ).

Na Figura 3 está representada a difusão com base na primeira lei de Fick. A concentração varia com a posição ao longo do eixo  $x$ .

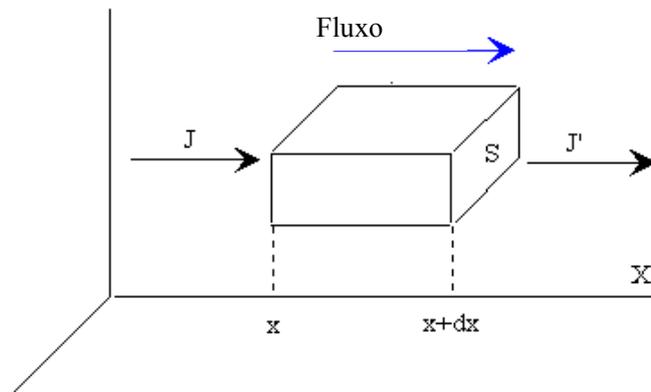


FIGURA 3 Fluxo de matéria por difusão em um sólido.

Fonte: Adaptado de Santana (2006)

No entanto, o fluxo por difusão na madeira é considerado um fluxo variável no espaço e no tempo, sendo governado pela segunda Lei de Fick, que representa a velocidade de alteração da concentração de uma determinada substância em função do tempo e o deslocamento (Siau, 1971). A segunda lei de Fick está representada pela Equação 4:

$$\frac{dm}{dt} = Dg \frac{d^2M}{dx^2} \quad (4)$$

em que:

$\frac{dm}{dt}$  = quantidade de umidade removida (m) na unidade de tempo (t);

$Dg$  = coeficiente de difusão médio (cm<sup>2</sup>/s);

$\frac{d^2M}{dx^2}$  = variação da umidade na distância (x)

De acordo com Bramhall (1976), o processo de difusão é muito importante na secagem de madeira. Em espécies pouco permeáveis, nas quais o fluxo capilar é dificultado, a secagem ocorre predominantemente por difusão.

No movimento de vapor d'água, as moléculas movimentam-se de forma desorganizada em todas as direções, desde uma região de alta concentração para uma região de baixa concentração, diminuindo assim o gradiente de concentração existente entre elas. A própria movimentação e a velocidade desse movimento são proporcionais ao gradiente de pressão de vapor existente entre duas regiões (Cech & Pfaff, 1977).

Esse gradiente de umidade entre as paredes mais externas e internas das células se desenvolve à medida que a umidade começa a evaporar das paredes das células próximas à superfície da peça, absorvendo estas últimas a umidade

das paredes mais úmidas, resultando num fluxo de água das células internas da madeira para as externas.

De acordo com Hart (1966) e Klitzke (2003), a água adsorvida evapora devido a um gradiente de umidade, atravessa as cavidades celulares por gradiente de pressão de vapor, condensa-se para atravessar a parede, até o momento em que atinge a superfície da madeira.

A passagem da água adsorvida através das paredes celulares deve-se ao pulo molecular ao acaso, em que as moléculas pulam de um local para outro, quando a força de atração e o trabalho de abrir a estrutura forem superiores à força exercida pelo local de origem da molécula (Skaar, 1972; Klitzke, 2003).

A difusão da água adsorvida é um processo sensivelmente mais lento que o processo de difusão de vapor. Ao ser deslocada desde o centro da madeira até a superfície, grande parte dessa umidade passa através das paredes celulares por difusão, que evapora dentro das cavidades celulares e passa, por sua vez, através do lume, pelo mecanismo de difusão de vapor. Na continuidade da sua migração para a sua superfície, a água no estado de vapor nos lumes é adsorvida por outra parede celular, passando através dela por difusão de água adsorvida e assim sucessivamente, até atingir a superfície da peça (Mellado, 2007).

A difusão de vapor de água é de 10 a 1.000 vezes maior que a difusão da água adsorvida. Entretanto, a difusão de vapor de água em temperaturas abaixo do ponto de ebulição tem menor contribuição no processo de secagem devido ao pequeno número de aberturas que ligam as células entre si. Apesar da facilidade de difusão do vapor, a maior parte deste movimento para o total de água movimentada pode ser desprezada nas condições normais de secagem (Hart, 1966; Klitzke, 2003).

A difusão na madeira é afetada por diversos fatores, como umidade da madeira, temperatura, pontoações e espessura de parede celular.

A difusão transversal aumenta com a umidade da madeira em qualquer temperatura, enquanto a difusão longitudinal diminui com o aumento da umidade em todas as temperaturas (Mellado, 2007).

A difusão na madeira aumenta de forma exponencial em relação à umidade até o PSF, sendo, acima deste ponto, praticamente constante. Aumenta também com o acréscimo da temperatura, sendo mais pronunciada entre 5% e 10% de umidade (Kirk et al., 1985; Liu et al., 2001).

De acordo com Stamm (1964), as pontoações e suas membranas não influenciam significativamente a difusão, exceto em madeiras densas com umidades muito baixas, nas quais a difusão é menos pronunciada e as paredes celulares são espessas.

## **2.5 Secagem da madeira**

A madeira é um material higroscópico e mantém relações dinâmicas com a umidade do ambiente. Em função da sua umidade e da umidade relativa do ambiente, ela pode ceder ou reter água do meio. O processo de secagem está diretamente envolvido com a movimentação de umidade na madeira (Mellado, 2007).

A secagem da madeira é o balanço dinâmico entre a transferência de calor do ar para a madeira, superfície de evaporação da madeira, difusão da umidade através da madeira e a vazão de água livre (Hart, 1966; Klitzke, 2003).

Durante a secagem, é necessário o fornecimento de calor, de forma natural ou artificial, para evaporar a umidade do material e um meio que retenha essa umidade para remover o vapor d'água formado na superfície do material a ser seco. O processo de fornecimento de calor para o material úmido promoverá a evaporação da água do material e a transferência de massa arrastará o vapor formado (Carneiro, 2001).

Na secagem, primeiramente ,ocorre a evaporação da água próximo à superfície, criando uma atração capilar da água livre nas cavidades celulares. Em função de um gradiente de umidade, a água no interior da madeira movimenta-se das zonas de alta umidade para as de menor umidade. O ar exterior circula sobre a madeira úmida, seca sua superfície e, assim, a umidade move-se a partir do interior da madeira (Forest Products Laboratory, 1999).

Rosen (1983) e Santos (2003) dividem a secagem da madeira em três estágios distintos, caracterizados pela variação na taxa da perda de umidade, como mostrado na Figura 4.

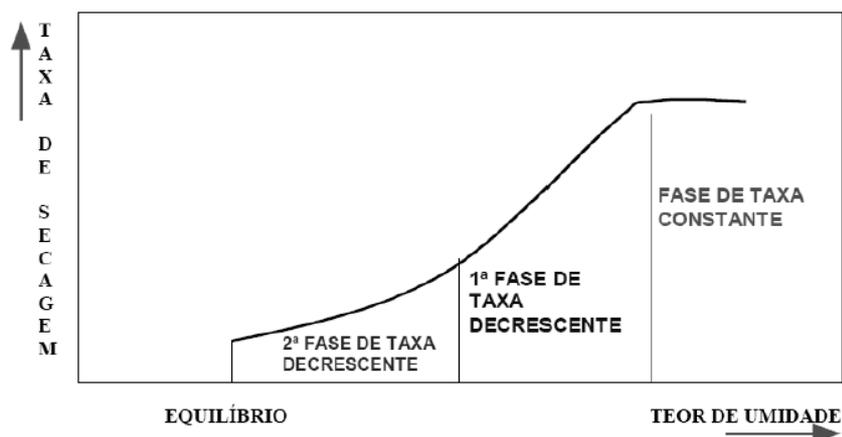


FIGURA 4 Curva característica de secagem para materiais porosos.

Fonte: Rosen (1983) e Santos (2003)

No primeiro estágio ocorre uma taxa de secagem constante, com movimentação da água livre até a superfície, provocada por forças de capilaridade e pela superfície ocorre o deslocamento de uma corrente de ar. A energia da corrente de ar é transferida para a superfície da madeira, promovendo a vaporização da água existente que, no estado de vapor, é transferida para a corrente de ar.

Parte da energia recebida pela superfície provocará o aumento da temperatura nessa região, iniciando a transferência de calor para o centro da peça.

No momento em que a água livre é impedida de alcançar a superfície da madeira, o teor de umidade nesta região atinge o PSF, caracterizando o início da primeira fase de taxa decrescente. A madeira atinge um teor de umidade e a linha de evaporação da água se desloca em direção ao centro. A vaporização da água presente na superfície gerará um gradiente de umidade, principalmente em espessura, dando início à movimentação da água do interior à superfície por difusão.

No estágio final (segunda fase de taxa decrescente), iniciado quando a linha de evaporação de água se restringe ao centro da peça, não há mais água livre no material e a taxa de secagem é regulada pelas características do material, até que o teor de umidade de equilíbrio seja alcançado.

### **2.5.1 Métodos de secagem**

Klitzke (2003) afirma que, de acordo com a temperatura, a secagem pode ser classificada em:

- a) secagem natural ou ar livre: ocorre à temperatura ambiente;
- b) secagem a baixas temperaturas em câmara (desumidificação): processa-se de 30° a 50°C;
- c) secagem convencional: ocorre na faixa de 50° a 100°C;
- d) secagem a altas temperaturas: ocorre de 100° a 180°C.

Para o presente trabalho será dada ênfase maior aos métodos à baixa temperatura e ao ar livre.

A secagem natural ou ao ar livre consiste em expor a madeira à ação dos fatores climáticos de um determinado local. Devido às condições climáticas

favoráveis do Brasil, esse tipo de secagem é bastante utilizado, como pré-secagem ou secagem definitiva, dependendo do uso final da madeira.

Segundo Santini (1992), a secagem ao ar livre é um método que exige um investimento relativamente baixo e longo tempo de secagem. Umidade relativa do ar, temperatura, velocidade e direção dos ventos predominantes, localização do pátio de secagem, modo de empilhamento da madeira, distância entre o solo e a madeira, inclinação do terreno, presença de vegetação ou barreiras e drenagem do local são fatores que afetam a velocidade de secagem da madeira. Por se tratar de um processo limitado às variações climáticas do local, seu controle é dificultado.

Segundo Bauer (1985), a secagem ao ar livre é mais ativa nas épocas do ano em que a temperatura é mais elevada e a umidade relativa do ar mais baixa; sua eficiência e velocidade dependem ainda da circulação do vento no interior e entre as pilhas de madeira.

Segundo Jankowsky (1990), este processo é bastante rápido no início, quando a madeira apresenta umidade elevada. Para Ponce & Watai (1985), uma madeira pode ter sua umidade reduzida em mais de 50% nas três semanas iniciais de secagem ao ar livre, reduzindo-se a taxa de secagem nas semanas subsequentes. Quando a umidade da madeira aproxima-se da umidade de equilíbrio, dependendo da temperatura e da umidade relativa do ambiente, a secagem ao ar livre pode se tornar bastante lenta.

A secagem a baixas temperaturas ou em câmara de desumidificação surgiu na década de 1960 e é um dos métodos mais modernos de secagem da madeira, ainda pouco empregado no Brasil e processa-se em temperaturas inferiores a 50°C. A madeira é colocada em uma câmara fechada em pilhas. O ar quente e seco circula através da pilha, à pressão normal, evaporando a água da madeira. O ar quente e seco perde calor e ganha umidade e torna-se úmido e frio, sendo enviado ao desumidificador. No desumidificador, o ar frio e úmido

entra em contato com aletas frias da bomba de calor e é esfriado até atingir o ponto de orvalho.

Segundo Santini (1992), o desumidificador é o equipamento mais importante neste processo de secagem, pois tem a função de retirar a umidade do ar circulante na câmara. A maior parte da umidade do ar é condensada e, assim, o ar frio e seco é reaquecido (utilizando-se o calor recuperado no processo de refrigeração ou através de resistência elétrica ou serpentinas). O ar aquecido e seco entra novamente na câmara, passa através das pilhas, repetindo-se o ciclo.

A secagem a baixas temperaturas tem como finalidade, normalmente, reduzir o conteúdo de umidade da madeira desde o estado verde até uma taxa de 20% a 30% de umidade, retirando toda água livre nela existente (Tomaselli & Klitzke, 2000), sendo mais indicada para madeiras de difícil secagem, com maior propensão a defeitos (ex: eucalipto, imbuia). É um método que pode ser utilizado na simulação da secagem ao ar livre com condições climáticas controladas e o tempo de secagem é variável com a espécie, sendo mais rápido que ao ar livre.

### **2.5.2 Importância da secagem**

De modo geral, a importância da secagem da madeira para a carbonização resume-se a alguns pontos, como:

- a) promove a redução da massa da madeira, reduzindo os custos de transporte e mão-de-obra com o seu manuseio;
- b) a menor umidade da madeira reflete em menor energia gasta para secagem e início da carbonização dentro dos fornos e, conseqüentemente, quantidades menores de madeira consumidas;
- c) reduz o tempo de carbonização e reduz perdas de rendimento gravimétrico.

O longo tempo de secagem, quando realizada ao ar livre, pode ser um fator negativo. Outro aspecto negativo a se ressaltar refere-se à ineficácia do processo, em função da rápida perda de umidade superficial e da lenta translocação da umidade do interior para a superfície, o que pode causar problemas de endurecimento superficial e colapso.

### **2.5.3 Fatores que afetam a secagem da madeira**

A secagem da madeira é afetada por fatores internos e externos. Os fatores internos são aqueles inerentes à madeira e os externos são relacionados ao ambiente de secagem, como temperatura, umidade relativa, velocidade de circulação do ar e ocorrência de chuvas.

#### **2.5.3.1 Fatores inerentes à madeira**

A velocidade de secagem é variável de acordo com a espécie. Determinadas espécies secam mais facilmente em temperaturas mais brandas, enquanto outras carecem de temperaturas mais elevadas e programas de secagem mais bem elaborados e complexos.

A secagem é afetada pelos componentes anatômicos da madeira, como células traqueais, parenquimáticas, prosenquimáticas, pontoações, proporção de cerne e alburno.

O sistema traqueal é responsável, na árvore viva, pela condução de água e sais minerais e é representado pelos traqueídes e vasos nas coníferas e folhosas. Espessura de parede dos traqueídes e vasos, diâmetro dos vasos, número de pontoações afetam a secagem.

As células parenquimáticas são células de reserva e com abundância de pontoações simples, com paredes geralmente mais finas, o que torna a secagem mais rápida.

As células prosenquimáticas são aquelas relacionadas à sustentação do vegetal e apresentam parede celular mais espessa e diminutas pontoações, afetando a velocidade de secagem.

Pontoações são pontos de descontinuidade deixados entre células adjacentes durante a formação da parede celular e envolvidas na translocação radial da água na árvore (Burguer & Richter, 1991). O tipo, o diâmetro e o número de pontoações existentes na madeira podem tornar um processo de secagem mais lento ou mais rápido.

A massa específica é uma das mais importantes propriedades físicas da madeira. Madeiras de maior massa específica contem menos espaços vazios, dificultando a secagem.

A proporção de cerne e alburno existente na madeira pode influenciar a velocidade de secagem da madeira. O alburno, por se tratar de células vivas na condução de líquidos, apresenta alta umidade. Já o cerne não apresenta conteúdos elevados de umidade devido à presença de substâncias fenólicas contidas em suas células.

A permeabilidade é outro fator importante na secagem da madeira. A permeabilidade do alburno nas folhosas é maior que a do cerne, exceto quando os vasos estão obstruídos por tiloses. Geralmente, madeiras mais permeáveis secam mais facilmente.

A umidade da madeira é outro fator a ser considerado na secagem. Maior umidade inicial na madeira torna a secagem da madeira mais lenta.

As dimensões das peças que serão secas podem ser citadas como influentes em um processo de secagem. Peças de maiores dimensões tornarão mais lenta a saída de água do interior para as zonas superficiais da madeira (Klitzke, 2003).

### **2.5.3.2 Fatores externos à secagem**

O ambiente onde a madeira se encontra tem grande influência sobre a velocidade de secagem da madeira. Fatores como temperatura, umidade relativa do ar, circulação de ar e precipitação podem ser citados como fatores externos que afetam a secagem da madeira (Rosso, 2006). Normalmente, quanto mais alta é a temperatura em que se processa a secagem, mais rápida é a taxa de secagem.

A umidade relativa do ar é a relação percentual entre a quantidade de vapor d'água contido no ar e a quantidade máxima que poderia conter, para um mesmo volume e à mesma temperatura. A redução na umidade relativa do ar resulta num aumento da velocidade de secagem.

A velocidade de circulação do ar na superfície da madeira tem a função de remover as nuvens de umidade próximas à madeira em processo de secagem e transferir o calor do ar por condução.

As chuvas também afetam a velocidade de secagem e, como, geralmente, são acompanhadas de alta umidade relativa do ar, a madeira é umedecida. Para avaliar seus efeitos na secagem da madeira, deve-se atentar para a duração e a intensidade da chuva e da velocidade dos ventos (Klitzke, 2003; Stein, 2003).

Maiores detalhes podem ser obtidos nas obras de Klitzke (2003) e Stein (2003).

### **2.5.4 Defeitos de secagem de toras para a carbonização**

Durante a secagem da madeira é comum o desenvolvimento de tensões internas e deformações que provocam alterações na estrutura da madeira. Essas alterações são conhecidas como defeitos de secagem e podem ser consequência do próprio processo de secagem ou decorrentes das características da madeira (Santos, 2002).

Alterações na cor da madeira, empenamentos, colapso, endurecimento superficial, rachaduras superficiais e rachaduras de topo são exemplos de defeitos ocasionados pela secagem da madeira (Ponce & Watai, 1985).

Um defeito de secagem pode ser limitador à determinada utilização ou reduzir o volume, a qualidade e o valor agregado da madeira, bem como pode estar presente e não afetar significativamente a sua utilização (Santos, 2002).

Em toras que são utilizadas para a produção de carvão vegetal, os defeitos de secagem mais comumente observados são rachaduras de topo e rachaduras superficiais. Acredita-se que essas rachaduras não ocasionam um efeito significativo na qualidade do carvão vegetal.

Segundo Mellado (2007), quando a madeira seca muito rapidamente, exemplo típico da secagem ao ar livre de toras para a carbonização, gradientes de umidade excessivos são formados, causando uma contração desigual e, conseqüentemente, produzindo rachaduras na madeira.

De acordo com Santini (1992), conceituam-se rachaduras como as separações dos elementos constituintes da madeira no sentido longitudinal da grã, provocadas pelas tensões internas de crescimento liberadas após o abate e agravadas pelo processo de secagem.

Segundo Galvão & Jankowsky (1985), as rachaduras são conseqüências da diferença de retração radial e tangencial e diferenças de umidade entre regiões contíguas de uma peça de madeira.

Jankowsky (1990) afirma que, na secagem da madeira, podem aparecer rachaduras, quando as condições de secagem são mais severas, como, por exemplo, em dias de baixa umidade relativa.

A baixa umidade provoca a rápida secagem das camadas superficiais, enquanto as camadas internas ainda estão úmidas. Como as camadas internas impedem as superficiais de se retraírem, surgem tensões que, se forem superiores à resistência da madeira à tração perpendicular às fibras, provocam o

rompimento dos tecidos lenhosos, o que normalmente ocorre nos tecidos que compõem os raios (tecidos parenquimáticos de reduzida resistência mecânica).

Segundo Garcia (1995), citado por Lima (2005), para toras em processo de secagem, a região próxima à casca tende a contrair-se longitudinalmente enquanto a região central da tora, sob compressão, tende a expandir-se. Dessa maneira, as faces das extremidades das toras tendem à forma convexa e as rachaduras começam a se manifestar.

Hillis & Brown (1984), citados por Lima (2005), afirmam que a maioria dessas rachaduras se manifesta na primeira semana de secagem da árvore (após o abate).

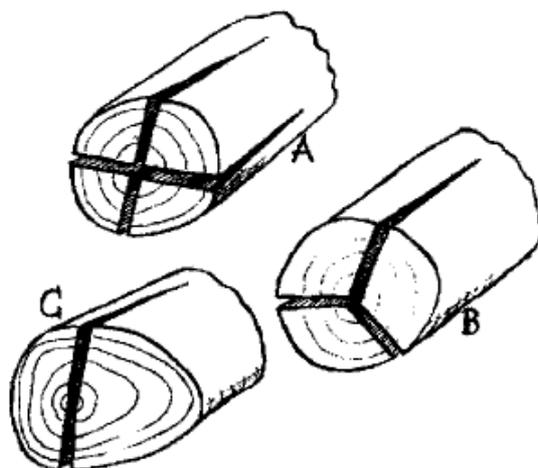


FIGURA 5 Rachaduras de topo em toras.

Fonte: Mattheck & Walther (1991), citados por Lima (2005)

Purnell (1988), citado por Lima et al. (2002), estudou a variação das rachaduras de topo de toras entre procedências de *Eucalyptus* e observou que, após dois dias da derrubada da árvore, elas não eram muito extensas e, quando avaliadas seis semanas depois, mostraram-se significativamente aumentadas. O

mesmo autor também observou que há uma tendência de redução dessas rachaduras da base ao topo da árvore para o gênero *Eucalyptus*.

Barros (2006), analisando rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus grandis* com 11 anos de idade secando ao ar livre, observou que, após um período de 30 a 60 dias de secagem, as rachaduras aumentaram consideravelmente em todas as regiões da pilha.

Além das rachaduras, pode ocorrer ainda um defeito conhecido como endurecimento superficial ou encruamento que, ao contrário das primeiras, pode influenciar negativamente o processo de carbonização. Esse defeito é causado pelos esforços de tração e compressão que ocorrem na madeira durante a secagem. Uma secagem muito rápida e desuniforme nos estágios iniciais fará com que as camadas superficiais atinjam rapidamente baixos valores de umidade, que ficam sob esforços de tração, enquanto a parte central ainda com umidade elevada, permanece sob esforços de compressão, afetando a movimentação de água das regiões internas para as mais externas da madeira (Galvão & Jankowsky, 1985; Rosso, 2006). O resultado é uma madeira com a superfície seca e com centro relativamente úmido, o que, para o processo de carbonização, deve ser minimizado ou evitado.

### **2.5.5 Secagem da madeira de *Eucalyptus***

De forma geral, a secagem da madeira de eucalipto pode ser considerada lenta e de grande complexidade.

Em determinadas espécies do gênero *Eucalyptus*, a movimentação de água das partes internas para as zonas superficiais da madeira é fortemente influenciada pelos elevados gradientes de umidade na madeira e pela própria constituição anatômica.

Os elementos de vaso, fibras, parênquima radial e longitudinal que compõem a estrutura anatômica da madeira dos eucaliptos apresentam variações

dentro e entre diferentes grupos de espécies, sendo fatores relevantes na secagem da madeira de eucalipto.

Em termos de anatomia, a ocorrência de pontoações de pequeno diâmetro, presença de tilose, baixa frequência de vasos, pequena largura de vasos, etc. afetam a permeabilidade da madeira, dificultando o deslocamento de água.

Seguindo uma classificação anatômica para madeira de *Eucalyptus* como as realizadas por Tomazello Filho (1985) e Alzate (2004), é possível avaliar quais são os caracteres mais influentes na secagem do eucalipto. Tiloses, quando presentes, implicam na obstrução do lume dos vasos, reduzindo-se a permeabilidade e a velocidade de secagem. Os vasos dispersos, pouco numerosos, com pequenos diâmetros a médios, predominantemente solitários e porosidade difusa contribuem para uma secagem mais complexa e lenta.

De acordo com Raven et al. (2001), em madeira com porosidade difusa, a água movimenta-se com velocidade dez vezes menor que em outra com porosidade em anel (maior variação na largura dos poros).

As placas de perfuração simples, embora mais eficientes (água flui mais livremente), são menos seguras quando comparadas às pontoações das coníferas, pois, nas placas, uma bolha de ar pode obstruir o fluxo por toda a extensão do vaso.

As pontoações em abundância são muito pequenas em diâmetro, dificultando ainda mais a secagem. As paredes das fibras são de delgadas a médias, minimizando os efeitos negativos da anatomia na velocidade da secagem. Os raios são numerosos, mas extremamente baixos e muito finos, resultando em uma velocidade de secagem mais lenta.

A saída de água pode ser ainda reduzida quando a madeira estiver com casca, já que esta possui suberina, impermeável a líquidos e gases. A espessura

da casca, a estrutura e a deiscência também podem ser influentes (Latorre & Henriques, 2008).

Santos (2002) afirma que, além da estrutura anatômica peculiar, a variação nos padrões de distribuição da umidade na direção radial e longitudinal da madeira de eucalipto é um dos principais fatores responsáveis pela dificuldade de secagem de madeiras do gênero e pela propensão ao aparecimento dos defeitos inerentes ao processo de secagem.

A madeira de eucalipto tem como característica uma variação acentuada nos padrões de distribuição da umidade ao longo do tronco e no sentido radial.

As informações relativas à distribuição da umidade no interior da madeira, além da grande importância para a secagem, são úteis na segregação de toras de umidade mais uniformes, de modo a facilitar a secagem, tanto no que diz respeito à minimização de defeitos quanto à obtenção de menor variabilidade em torno da umidade média pretendida (Oliveira et al., 2005). Os mesmos autores afirmaram que espécies como *E. citriodora* e *E. paniculata* se destacam por uma nítida e uniforme distribuição da umidade ao longo do tronco e na direção radial. Nestas duas espécies, o gradiente de umidade entre as regiões internas e superficiais raramente é superior a 20%. Já para *E. grandis* e *E. urophylla*, esse diferencial de umidade pode atingir 80% (Figura 6).

Carmo (1996), estudando a umidade de madeiras de *E. citriodora*, *E. pilularis*, *E. cloeziana* e *E. grandis*, com 21 anos de idade, apresentaram valores máximos de umidade de 52%, 58%, 54% e 70%, respectivamente.

Oliveira et al. (2005), trabalhando com diferentes espécies de eucalipto aos 16 anos de idade, encontraram teores médios de umidade que variaram de 63% (*Eucalyptus citriodora*, de densidade básica 0,730 g/cm<sup>3</sup>) a 102% (*Eucalyptus grandis*, de densidade básica 0,490 g/cm<sup>3</sup>). Nas madeiras mais densas (0,720 g/cm<sup>3</sup>), os teores de umidade foram mais baixos, como em *E. paniculata* e *E. cloeziana*, respectivamente 62% e 64%. Valores intermediários

de umidade foram encontrados para o *E. tereticornis* e *E. pilularis* (77% e 86%) de densidade básica 0,660 e 0,600 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, e mais elevados em *E. urophylla* e *E. grandis*, cujos valores de densidade básica são de 0,540 e 0,490 g/cm<sup>3</sup> e umidade são 96% e 102%, respectivamente. Os mesmos autores também avaliaram a distribuição de umidade longitudinal e radial em árvores de eucalipto após o corte, como mostrado nas Figuras 6 e 7.

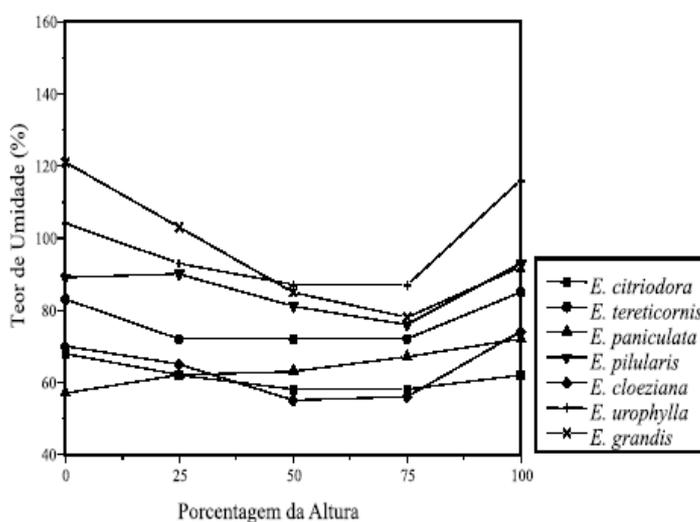


FIGURA 6 Variação longitudinal da umidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*.

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2005)

Observando a variação de umidade da madeira ao longo do tronco, Oliveira et al. (2005) afirmaram que a base da árvore (toras de maiores diâmetros) tende a apresentar maior umidade, reduzindo-se até a metade da altura, e com aumento a partir do terço superior e no topo, com teor de umidade próximo ao da base da árvore (exceção para o *E. tereticornis* e *E. paniculata*).

A madeira de *E. grandis* foi a que apresentou as maiores variações: 120% de umidade na base, reduzindo para 80% a 75% de altura, elevando-se

novamente para 90% no topo do tronco. A madeira de *E. urophylla* apresentou variação de teor de umidade da madeira ligeiramente maior no topo da árvore, com variação semelhante ao de *E. grandis*. Em *E. tereticornis*, o teor de umidade da madeira decresceu da base até um quarto da altura, atingindo o valor mais elevado na extremidade do tronco. Em *E. paniculata*, o teor de umidade mostrou-se crescente a partir da base até o ápice do tronco, com variação de, aproximadamente, 20%.

A variação de umidade no sentido medula-casca, para diferentes posições no tronco da árvore de *Eucalyptus urophylla*, pode ser observada no gráfico da Figura 7.

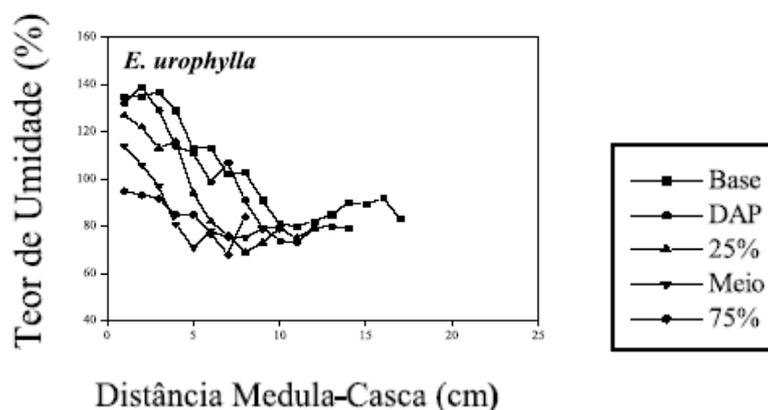


FIGURA 7 Variação do teor de umidade na direção medula-casca e ao longo do tronco, para sete espécies de *Eucalyptus urophylla*.  
Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2005)

Estes autores observaram que a distribuição de umidade radial em *Eucalyptus urophylla* não segue um padrão uniforme. O gradiente de umidade entre a região mais interna e a externa foi de 80%. Para espécies como *E. citriodora* e *E. paniculata*, o gradiente foi de 20%. Em *E. grandis*, também foi de 80% e, em *E. tereticornis* e *E. pilularis*, de 60%. As espécies analisadas

apresentaram tendência de queda de umidade a partir da medula, estabilizando-se após e sofrendo um ligeiro acréscimo na região periférica do alburno.

Carmo (1996) verificou que as umidades mais elevadas da madeira ocorrem na base do tronco das árvores e próximo à medula, com diminuição nos sentidos longitudinal e radial, com a ressalva de que o teor de água indica um valor mínimo no cerne mais externo, elevando-se novamente no alburno. Como por exemplo, em árvores de *E. camaldulensis*, na região basal do tronco, o maior teor de umidade foi observado na região da medula, próximo de 103%.

## **2.6 Carbonização da madeira**

Trugilho (2006) define a carbonização da madeira como o processo de decomposição térmica da madeira, na ausência ou na presença controlada de O<sub>2</sub> (ar), deixando como resíduo sólido o carvão vegetal. É um exemplo típico de combustão incompleta e muitos fenômenos físico-químicos e reações complexas ocorrem durante o processo.

Segundo Raad (2004), o processo de carbonização consiste no aquecimento da madeira a temperaturas superiores a 200°C, na presença controlada de oxigênio, provocando alterações em seus componentes, combustão de parte da madeira e geração de calor para transformação da madeira em carvão, acompanhados da liberação de vapor d'água, líquidos orgânicos e gases não condensáveis.

O carvão vegetal é portanto, um produto da carbonização. É o resíduo sólido, poroso, de fácil combustão, capaz de gerar calor, remanescente após a decomposição térmica da madeira.

De acordo com Medeiros & Rezende (1983), o processo de carbonização pode ser dividido em quatro fases:

a) abaixo de 200°C: secagem e início da decomposição térmica da madeira;

b) de 200° a 280°C: predominância de reações endotérmicas, com a liberação de ácido acético, metanol, água, CO<sub>2</sub>, etc.;

c) de 280° a 500°C: predominância reações exotérmicas, com a liberação dos gases combustíveis (CO, CH<sub>4</sub>, etc.) e alcatrões ;

d) acima de 500°C: o carvão já é bem estável e apenas pequenas quantidades de voláteis, principalmente o H<sub>2</sub>, são liberadas.

Raad (2004) descreve o processo em função da temperatura da seguinte forma:

a) temperaturas abaixo de 100°C: a madeira perde a água livre;

b) temperaturas de 105° a 200°C: a madeira perde água de adesão e constituição; a decomposição dos componentes da madeira é estável em períodos não prolongados de exposição de calor nestas temperaturas;

c) temperaturas entre 200° e 270°C: produtos voláteis da decomposição da madeira são desprendidos, tais como ácido acético, metanol, alcatrão e gases não condensáveis, como o CO, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>;

d) temperaturas acima de 270°C: elevando-se a temperatura, as reações químicas são mais complexas e, acima de 270°C, a decomposição da madeira é mais intensa, com liberação de calor (reações exotérmicas).

Não somente as condições relacionadas às fases da carbonização são fundamentais para o controle do processo. Sendo a madeira uma matéria-prima, o conhecimento de suas propriedades é de suma importância para a otimização do processo de produção.

## **2.7 Madeira x energia**

A madeira é a fonte primária de energia que, por meio da queima direta ou indireta, pode ser convertida em carvão vegetal, que, tradicionalmente, é utilizado como termorreductor na indústria siderúrgica (Mendes et al., 1982).

Cada minério exige um redutor com certas propriedades. O conhecimento dessas propriedades e seu controle são de grande utilidade na fabricação e na escolha de carvão vegetal a ser utilizado. As propriedades do carvão vegetal estão intimamente ligadas aos parâmetros do processo de produção e da madeira que lhe deu origem. A qualidade do carvão vegetal vai depender de inúmeros fatores, tais como composição química, densidade básica, dimensão das peças de madeira e umidade da madeira (Mendes et al., 1982).

## **2.8 Influência da umidade na madeira a ser carbonizada**

Qualquer material lenhoso recém-abatido apresenta consideráveis quantidades de água, a qual, para a produção de carvão vegetal, deve ser em parte removida por meio de secagem.

A umidade da madeira influencia fortemente o controle da carbonização, pois pode afetar o poder calorífico da madeira, o tempo de carbonização, a friabilidade do carvão e o rendimento gravimétrico.

Um teor de umidade variável pode dificultar o controle do processo de carbonização, havendo necessidade de constantes reajustes no sistema (Ladeira, 1992, citado por Cotta, 1996).

Quando a madeira não está suficientemente seca para a carbonização ou quando o centro da peça estiver muito úmido e a periferia muito seca, toda a termodinâmica do processo é afetada. Nos fornos, as zonas mais externas da tora sofrerão aquecimento, enquanto as regiões mais internas não apresentarão a mesma taxa de aquecimento. Quanto mais úmida estiver a madeira, maior a energia necessária para seu aquecimento inicial.

Segundo Carneiro (2007), a presença de água na madeira implica em redução do poder calorífico, em função da energia necessária para evaporá-la.

TABELA 1 Influência da umidade no poder calorífico.

Umidade (%)	Energia disponível PCI(kJ/kg)	Energia para secar (kJ)	PCI (kJ/kg)
0	20500	-	20500
20	16000	490	15510
50	10000	1220	8780
80	4000	1950	2050

Fonte: Carneiro (2007).

Viana et al. (2006) afirmam que a energia para aquecer e evaporar a umidade da madeira é alta e nos fornos de queima interna. Essa energia é gerada pela queima de parte da madeira a ser carbonizada e quanto maior a umidade, maior será a energia necessária para a secagem e menor o rendimento da carbonização. Os mesmos autores citam experimentos realizados com *Eucalyptus camaldulensis* em forno de rabo quente, em que a produção aumentou 12% com a redução da umidade de 48% para 25%.

Cunha et al. (1989), trabalhando com diferentes espécies para a geração de energia, observaram que quanto maior o teor de umidade da madeira, menor é o poder de combustão, resultado do processo de evaporação da água que absorve energia no decorrer da queima.

Valente & Lelles (1986) afirmam que a produção de carvão com madeira úmida gera um carvão quebradiço, elevando o teor de finos durante o manuseio e transporte do carvão. Cotta (1996) também aponta que a friabilidade do carvão é influenciada pela umidade da madeira. Madeira com umidade elevada na região central dará origem a carvão fendilhado, com maior predisposição à geração de finos, ocasionado pelo aumento da pressão de vapor durante a

transformação madeira-carvão. As trincas e fissuras internas do carvão constituem-se em zonas de concentração de tensão e, segundo Tarkow (1978), tais concentrações de tensão podem ser atribuídas à impermeabilidade do cerne de eucalipto. Quando uma peça de madeira seca, o alburno seca rapidamente e a umidade do cerne é retirada com dificuldade devido à menor permeabilidade. Nessas condições, a pressão de vapor dos gases aumenta no interior das fibras, podendo ocorrer ruptura celular das fibras com o desenvolvimento das trincas.

Numazawa (2001) mostra que a presença de maior umidade na madeira impede o sobreaquecimento e diminui a taxa de aquecimento. Durante o aquecimento, a água contida na madeira se transforma em vapor, aumentando a pressão até o rompimento da estrutura da madeira, gerando carvão com mais trincas.

Experiências realizadas com *Eucalyptus grandis* na Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC (1982), com diferentes teores de umidade, carbonizado nas mesmas condições, mostraram que quanto maior o teor de umidade da madeira maior é a quantidade de finos gerados (Mendes et al., 1982).

TABELA 2 Porcentagem de finos gerados de carvão vegetal, em função da umidade da madeira carbonizada.

Umidade da madeira (%)	% finos abaixo de 13 mm
<20	11,2
20-30	13,5
>30	15,5

Fonte: Mendes et al. (1982)

Madeira mais úmida nos fornos de carbonização, em função da vaporização da água, acarreta maior consumo de energia com a queima madeira, fragilizando ou fragmentando o carvão e reduzindo a produtividade dos fornos, uma vez que a secagem requer tempo e aumenta o tempo de carbonização (Juvillar, 1979). O mesmo autor afirma que, para ser introduzida nos fornos de carbonização, a madeira deve possuir a menor umidade possível, de modo a reduzir a quantidade de carga queimada para a secagem.

Mendes et al. (1982) considera que para que haja um bom rendimento do forno, a umidade da madeira deve estar em torno de 30%. Valente & Lelles (1986) indicam que a madeira deve entrar nos fornos de carbonização com umidade base seca entre 20% e 30%. Já Farinhaque (1981) considera que a umidade deve estar abaixo de 25%, pois a umidade acima de 25% reduz acentuadamente a quantidade de calorías, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape, além da formação de crostas de fuligem no interior da câmara de combustão.

Nas empresas produtoras de carvão, a madeira, normalmente, é desganhada, traçada e, geralmente, descascada no campo, secando ao ar livre durante 90 dias em pilhas no próprio talhão ou em áreas próximas aos fornos de carbonização. Na V&M Florestal, após o corte, a madeira é cortada e descascada e permanece 90 dias no campo, desejando-se que atinja 30% de umidade para ser enfiada. Mesmo após três meses de secagem, a umidade da madeira pode estar acima de 35% (Juvillar, 1979; Vital et al., 1985).

Vital et al. (1985), estudando a secagem de toras de *E. grandis* aos 5 anos de idade, observaram que a redução de umidade em função do tempo é afetada pela posição na pilha e diâmetro das toras. Observaram que toras sem casca atingiram 23,4% de umidade média após 175 dias de secagem ao ar livre e as toras com casca, no mesmo tempo, atingiram 32,4%, assumindo-se uma umidade inicial de 129%. A presença de casca teve maior influência na perda de

umidade em relação à madeira sem casca nas quatro primeiras semanas de secagem. As toras com diâmetro superior a 12 cm apresentaram umidade superior a 50% após os 175 dias de secagem, enquanto as toras de menores diâmetros apresentaram umidade entre 16% e 27%. Em função da posição das toras nas pilhas, observaram que a umidade das toras na região inferior das pilhas variou de 20% a 56%; na região central da pilha, a umidade variou de 19% a 44% e, na região superior, de 16% a 43%.

O gráfico da Figura 8 apresenta os dados da secagem com casca e sem casca, durante 175 dias.

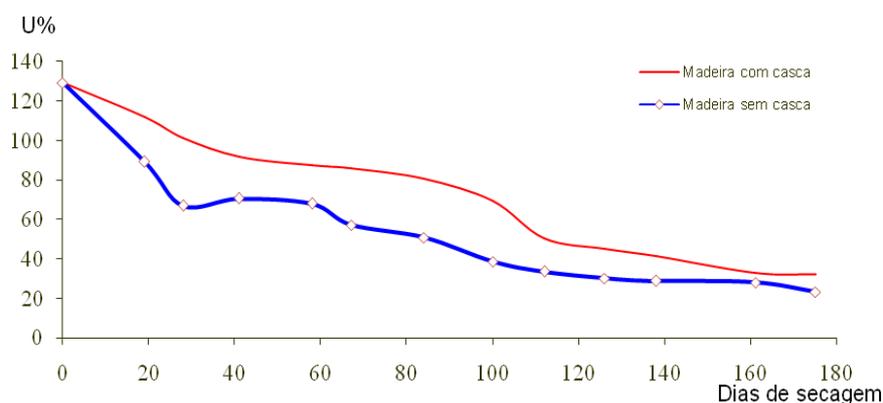


FIGURA 8 Curvas de secagem de toras de *Eucalyptus grandis*, durante 175 dias.

Fonte: Adaptado de Vital et al. (1985)

Seixas et al. (2005), estudando o balanço energético e econômico do descascamento de toras de *Eucalyptus grandis* aos oito anos de idade, observaram que, após 182 dias de secagem, a umidade média passou de 132% para 49% de toras com casca e de 108% para 38% de toras sem casca. As curvas de secagem do estudo estão representadas na Figura 9.

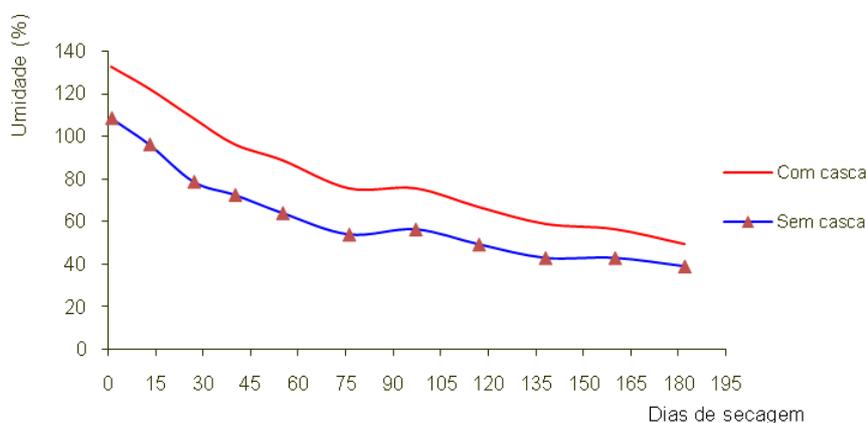


FIGURA 9 Curvas de secagem de toras de *Eucalyptus grandis*, durante 182 dias. Fonte: Adaptado de Seixas et al. (2005)

Gatto et al. (2003), trabalhando com toras de *Eucalyptus* spp destinadas à carbonização secando ao ar livre durante 80 dias, no Rio Grande do Sul, observaram que o teor de umidade não variou significativamente entre as diferentes posições de amostragem das toras para controle de umidade (região inferior, central e superior da pilha), sendo especificamente influenciado pelo tempo de exposição das toras às condições ambientais. Ao final do período de secagem, a umidade das toras encontrava-se bem superior ao ponto de saturação das fibras, em torno de 70%, representando maior custo de transporte da madeira e menor rendimento gravimétrico.

Ferreira et al. (1983), pesquisando a variação do teor de umidade de toras de eucalipto empilhadas, concluíram que existe variação no teor de umidade da madeira ao longo das alturas das pilhas, sendo maior quanto mais próxima ao solo. A madeira situada na parte superior das pilhas seca mais rapidamente quando comparada à madeira situada nas camadas mais baixas. As maiores taxas de secagem foram verificadas na primeira semana após o abate, tendendo a valores constantes a partir da terceira semana de secagem.

Barros (2006), avaliando a secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis* com 11 anos de idade, com comprimento de 2,30 m e sem casca, em Santa Maria, RS, observou que a umidade média das toras atingiu 70% após 30 dias de exposição às condições ambientais, partindo de uma umidade inicial de 106%. Após 60 dias de secagem, a umidade média aproximou-se de 40%, tendendo, a partir daí, a taxas de secagem mais ou menos constantes. As curvas de secagem das toras estão representadas na Figura 10.

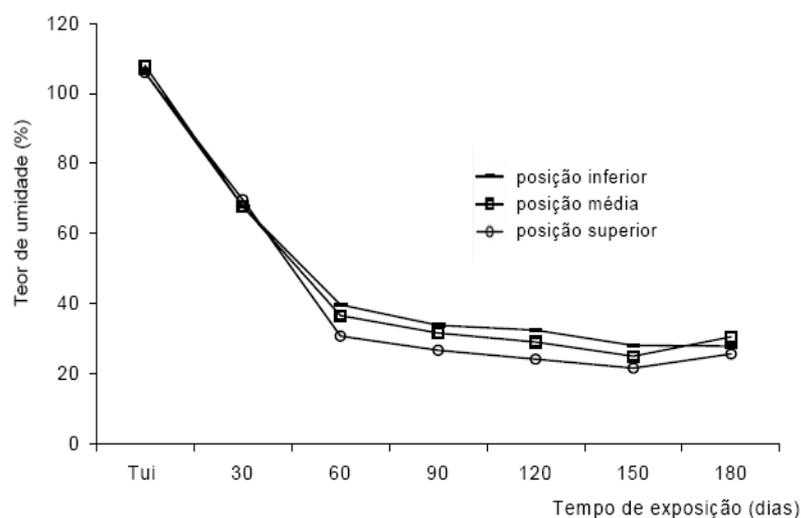


FIGURA 10 Secagem de toras sem casca de *E. grandis* com 2,30 m, durante 180 dias, para diferentes posições nas pilhas.  
Fonte: Barros (2006).

O mesmo autor observou também que a secagem ao ar livre é influenciada pela época do ano em que ocorre, devendo atentar-se para o clima da região onde a secagem está sendo realizada. Em seus experimentos, concluiu que a umidade de toras secando no verão atingiu certo grau de estabilidade em um período de noventa dias, enquanto pilhas instaladas no inverno atingiram

estabilidade a partir de 120 dias de exposição. A umidade de equilíbrio variou de 10,6% (dezembro) a 19,4% (junho) e a média anual foi de 14,8%.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi subdividido em experimentos de secagem ao ar livre e secagem controlada em câmara de desumidificação (Tabela 3).

A madeira utilizada nos experimentos foi proveniente de um plantio florestal pertencente à V&M Florestal Ltda., localizada na Fazenda Itapoã, município de Paraopeba, MG, com altitudes entre 730 m e 750 m. Segundo a classificação de Köepen, o clima da região é do tipo “Aw”, caracterizado como subtropical úmido, com verão chuvoso e estação seca de abril a setembro, com temperatura média anual de 20,9°C e precipitação média anual de 1.236 mm (Ribeiro & Walter, 1998). A temperatura média máxima anual atinge 28,0°C e a temperatura mínima, 15,9°C.

Dois clones empregados na produção de carvão vegetal foram utilizados: um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01) e outro clone híbrido de *E. urophylla* (MN463), ambos com oito anos de idade, plantados em um espaçamento de 3,0 m x 3,0 m.

TABELA 3 Experimentos realizados para cada clone, local, número de árvores abatidas e toras utilizadas, dimensões das toras, número de pilhas formadas e período de acompanhamento da secagem.

Experimento	Clone	Local (MG)	Nº de árvores	Nº de toras	Comprimento das toras (m)	Nº de pilhas	Período (2009)
Secagem ao ar livre	VM01	Lavras	4	18 toras com casca e 18 toras sem casca	1,88	1	Janeiro a julho
	MN463	Lavras	10	44 toras sem casca	1,88	1	Fevereiro a julho
	MN463	Paraopeba	10	30 toras sem casca por pilha	3,60	2	Março a setembro
	MN463	Lavras	4	22 toras com casca e 22 toras sem casca	1,88	1	Maió a setembro
	VM01 e MN463	Paraopeba	20 / clone	Por clone: 30 toras sem casca por pilha e 30 toras com casca por pilha	3,60	Por clone: 2 pilhas com casca e 2 pilhas sem casca	Junho a setembro
Secagem em câmara de desumidificação	VM01	Lavras	6	26 toras com casca e 34 toras sem casca	1,88	1	Janeiro a maio
	MN463	Lavras	6	36 toras com casca e 32 toras sem casca	1,88	1	Maió a setembro

Em todos os experimentos de secagem (ao ar livre e em câmara de desumidificação), toras foram pesadas periodicamente para controle de umidade (Tabela 4), localizadas em diferentes regiões da pilha.

TABELA 4 Frequência de pesagem de toras e número de toras controladoras de umidade para cada experimento.

Experimento	Clone	Local (MG)	Período (2009)	Frequência de pesagem	Controle de umidade
Secagem ao ar livre	VM01	Lavras	Janeiro a julho (200 dias)	Nas 3 semanas iniciais: 1 pesagem/semana Da 4ª a 6ª semana: 1 pesagem/quinzena A partir da 6ª semana: 1 pesagem/mês	Toras de 1 caule com casca e de 1 caule sem casca
	MN463	Lavras	Fevereiro a julho (153 dias)	Nas 3 semanas iniciais: 1 pesagem/semana Da 4ª a 6ª semana: 1 pesagem/quinzena A partir da 6ª semana: 1 pesagem/mês	Toras de 4 caules
	MN463	Paraopeba	Março a setembro (188 dias)	Nas 2 semanas iniciais: 3 pesagens/semana Da 3ª a 6ª semana: 1 pesagem/semana A partir da 6ª semana: 1 pesagem/mês	Toras de 2 caules/pilha
	MN463	Lavras	Maio a setembro (90 dias)	Nas 2 semanas iniciais: 1 pesagem/semana Da 4ª a 6ª semana: 1 pesagem/quinzena A partir da 6ª semana: 1 pesagem/mês	Toras de 1 caule com casca e toras de 1 caule sem casca
	VM01 e MN463	Paraopeba	Junho a setembro (80 dias)	Durante 6 semanas : 1 pesagem/semana Após 6ª semana: 1 pesagem/quinzena	Toras de 2 caules/pilha
Secagem em câmara de desumidificação	VM01	Lavras	Janeiro a maio (120 dias)	Pesagem semanal	Toras de 1 caule com casca e de
	MN463	Lavras	Maio a setembro (120 dias)		1 caule sem casca

A avaliação de defeitos para as toras em secagem ao ar livre e em câmara de desumidificação foi realizada atentando-se para o surgimento de rachaduras de topo (Figura 11), nas semanas iniciais de secagem e no fim do período de acompanhamento da secagem. Mediu-se a largura da maior

rachadura em cada extremidade das toras, com paquímetro digital de precisão 0,01 mm.



FIGURA 11 Rachadura de topo nas toras.

### **3.1 Secagem ao ar livre e em câmara de desumidificação do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01) e do clone híbrido de *E. urophylla* (MN463), em Lavras, MG**

As metodologias adotadas para os experimentos de secagem ao ar livre dos clones VM01 e MN463, em Lavras, MG (secagem iniciando-se em janeiro e maio respectivamente) e secagem em câmara de desumidificação dos mesmos clones no mesmo período, foram semelhantes.

As árvores foram abatidas e o caule de cada árvore foi seccionado em toras de 4,0 m de comprimento. As toras foram enviadas com casca à Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras DCF/UFLA, onde foram identificadas e separadas em dois grupos. Metade da carga de toras permaneceu com casca e o restante foi descascado manualmente. De cada tora de 4,0 m, cortaram-se 10 cm em cada extremidade, ficando esta com 3,80m de

comprimento. No centro, foi retirado um disco com 3,0 cm de espessura, sendo assim cada tora de 4,0 m transformada em duas novas toras (“tora da base” e “tora do topo”), de comprimento aproximado de 1,88 m. O topo das toras foi parafinado para evitar a secagem pelas extremidades. Cada disco foi seccionado em quatro cunhas, sendo duas cunhas opostas para a determinação da umidade e duas para a determinação da densidade básica (Figura 12).

A determinação da umidade e da densidade básica foi realizada conforme a Norma NBR11941/2003, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003). Admitiram-se a umidade e densidade de cada disco à umidade e densidade de duas toras (tora da base e tora do topo). Adotou-se a umidade média das cunhas de cada disco como umidade inicial de cada tora, conforme metodologia adotada por Rasmussen (1961) e Calonego et al. (2006).

Todas as toras foram pesadas individualmente em balança mecânica de capacidade de 300 kg e precisão de 0,2 kg. A partir dos valores de umidade dos discos e massa inicial das toras, estimou-se a massa seca das toras.

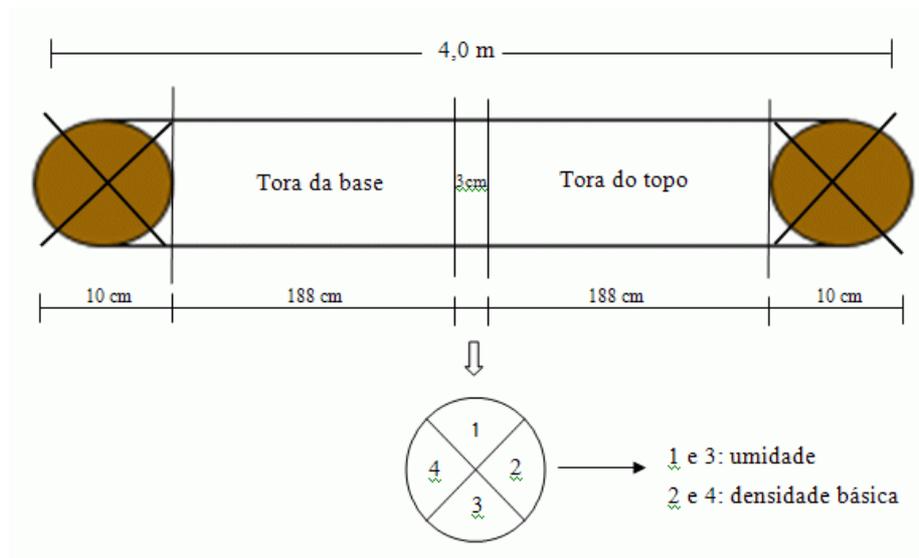


FIGURA 12 Metodologia adotada para os experimentos de secagem ao ar livre e em câmara de desumidificação dos clones VM01 e MN463, em Lavras, MG.

A cubagem rigorosa das toras foi realizada segundo o método de Smalian (Equação 5).

$$V = \frac{g^1 - g^2}{2} \times L \quad (5)$$

em que:

V = volume da tora (m<sup>3</sup>);

g<sup>1</sup> = área seccional da extremidade de maior diâmetro da tora (m<sup>2</sup>);

g<sup>2</sup> = área seccional da extremidade de menor diâmetro da tora (m<sup>2</sup>);

L = comprimento da tora (m).

O máximo teor de umidade foi determinado para cada caule, com base na Equação 6 (Smith, 1954, citado por Skaar, 1972).

$$MTU\% = \frac{Dr - Db}{Dr \times Db} \times 100 \quad (6)$$

em que:

MTU = máximo teor de umidade (%);

Dr= densidade da parede celular (g/cm<sup>3</sup>);

Db= densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>).

Segundo Kellog & Wangaard (1969), citados por Skaar (1972), a densidade da parede celular é de, aproximadamente, 1,54 g/cm<sup>3</sup>.

A pilha de secagem ao ar livre foi montada na Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira (UEDSM) do DCF/UFLA. A pilha de toras foi disposta em formato retangular, com casca e sem casca, alternada sobre duas travessas suporte de 15 cm de espessura, orientada perpendicularmente à direção dos ventos (Figura 13).



FIGURA 13 Pilha de secagem ao ar livre de toras de MN463 com casca e sem casca instalada em Lavras, MG.

Toras controladoras de umidade foram pesadas durante a secagem (Tabela 4) e, a partir dos dados de massa úmida das toras e massa seca estimada, calculou-se a umidade de cada tora ao longo do tempo. A umidade média de um mesmo caule foi obtida pela média aritmética da umidade de suas toras.

A pilha de secagem montada na câmara de desumidificação da UEDSM do DCF/UFLA foi composta por toras com casca e sem casca, dispostas de forma alternada, adequando-se às dimensões da câmara e, durante o período de secagem, toras foram pesadas para controle da perda de umidade (Tabela 4).

A câmara de desumidificação apresenta dimensões internas de 1,33 m x 1,92 m x 2,85 m (largura x altura x comprimento) e está apresentada na Figura 14. O princípio de secagem é baseado na entrada e passagem de ar quente e seco através da pilha de madeira, saída do ar frio e úmido, condensação da umidade, aquecimento do ar em resistência elétrica e o retorno do ar quente e seco para a câmara, repetindo-se o ciclo (Figura 15). A câmara possui um sistema de controle de umidade, realizado por meio de oito sensores. Quatro sensores foram cravados em toras com casca e os outros quatro em toras sem casca, distribuídos em diferentes posições da pilha (Baraúna, 2007). As condições ambientais de temperatura e umidade relativa ajustadas para a câmara de desumidificação foram as médias anuais coletadas pela estação climatológica de Sete Lagoas (Brasil, 1992; Guimarães et al., 2009), cidade próxima à Paraopeba, cujas variáveis climáticas são semelhantes. A temperatura ajustada foi de 21°C e a umidade relativa de 72%.



FIGURA 14 Câmara de desumidificação utilizada.  
Fonte: Baraúna (2007)

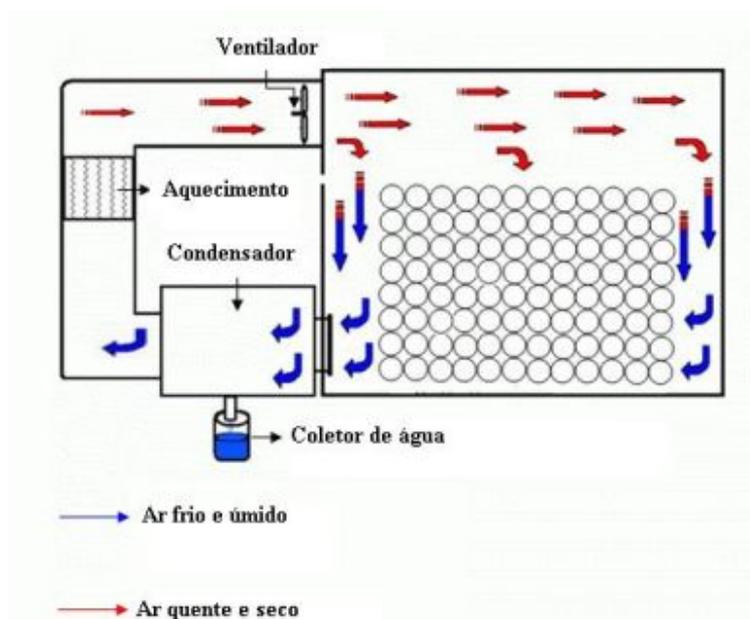


FIGURA 15 Princípio de secagem na câmara de desumidificação.  
Fonte: Adaptado de Baraúna (2007)

A massa de água removida durante a secagem na câmara foi estimada, baseando-se na umidade média das toras com casca e sem casca, a partir da Equação 7 (Oliveira, 1981, citado por Ponce & Watai, 1985).

$$MAR = \frac{Db \times V \times (U_i - U_f)}{100} \quad (7)$$

em que

MAR = massa de água removida durante a secagem (kg);

Db = densidade básica (kg/m<sup>3</sup>);

V = volume de madeira (m<sup>3</sup>);

U<sub>i</sub> = umidade inicial média (%);

U<sub>f</sub> = umidade final média (%).

Conectado à câmara, uma caixa d'água coletou o volume de água removido e condensado e este foi medido semanalmente (Figura 16). Tal valor fornece apenas uma ideia da quantidade de água removida durante a secagem, uma vez que sofre influência das condições externas e internas, como teor umidade ambiente, precipitação, água no reservatório do termômetro de bulbo úmido da câmara.



FIGURA 16 Caixa d'água conectada à câmara (A) e medição do volume de água removido e condensado durante a secagem(B).

### **3.2 Secagem do clone de *Eucalyptus urophylla* (MN463) e do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01) em Paraopeba, MG e secagem de clone de *Eucalyptus urophylla* (MN463) em Lavras, MG**

Os experimentos de secagem ao ar livre do clone MN463, em Lavras (início em fevereiro), do clone MN463, em Paraopeba (início em março) e dos clones VM01 e MN463, em Paraopeba (início em junho), foram realizados seguindo basicamente a mesma metodologia, variando apenas no comprimento das toras e formato das pilhas de secagem.

Para a secagem do clone MN463 em Lavras, as árvores foram abatidas e o caule de cada árvore foi seccionado em toras com comprimentos de 2,90 m a 3,20 m e enviadas à Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira (UEDSM) do DCF/UFLA, onde foram identificadas e descascadas manualmente. Os topos das toras de 2,90 m a 3,20 m foram cortados, transformando-as em toras de 1,88 m. O topo das toras foi parafinado para se evitar a secagem pelas extremidades. Já para os clones VM01 e MN463 em Paraopeba, o caule de cada árvore foi seccionado em toras de 3,60 m de comprimento.

Em cada extremidade da tora, foi retirado um disco com 3,0 cm de espessura, sendo seccionado em quatro cunhas (duas cunhas opostas para a determinação da umidade e as demais para determinação da densidade básica).

A umidade e a densidade básica foram obtidas conforme a Norma NBR11941/2003 (ABNT, 2003). Admitiu-se a umidade média de dois discos de uma mesma tora como a umidade inicial da mesma.

As toras foram pesadas, obtendo-se sua massa inicial. A partir dos valores de umidade dos discos e massa inicial das toras, estimou-se a massa seca das toras.

A cubagem rigorosa das toras foi realizada pelo método de Smalian (Equação 5). O máximo teor de umidade foi determinado pela Equação 6.

A pilha de secagem do clone MN463 em Lavras, foi formada por 15 toras de comprimento e 3 toras de altura, dispostas sobre duas travessas e perpendicular aos ventos. Em Paraopeba, cada pilha foi formada por 6 toras de comprimento e 5 toras de altura, distanciada da pilha adjacente em 1,20 m e disposta sobre duas travessas, perpendicular à direção dos ventos.

Toras controladoras de umidade foram pesadas periodicamente (Tabela 4), obtendo-se a umidade de cada tora ao longo do tempo. Pela média aritmética das toras controladoras de umidade, obteve-se a umidade média de cada caule.

Para a secagem em Paraopeba, as toras controladoras de umidade estavam localizadas na região central, como mostrado na Figura 17.

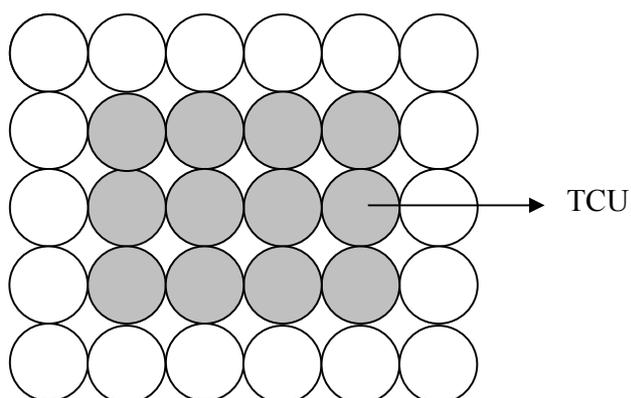


FIGURA 17 Esquema de uma pilha de secagem ao ar livre montada em Paraopeba, MG e toras controladoras de umidade (TCU).

As pilhas de secagem dos clones VM01 e MN463 instaladas em Paraopeba (início em junho) estão apresentadas na Figura 18.



FIGURA 18 Pilhas de secagem ao ar livre de toras com casca e sem casca dos clones de *Eucalyptus* VM01 e MN463, em Paraopeba, MG.

### 3.3 Avaliação da variação diametral da umidade nas toras por baguetas

A avaliação da variação diametral de umidade nas toras foi realizada mediante a retirada de baguetas de toras secando ao ar livre em Lavras e em câmara de desumidificação e de toras secando ao ar livre em Paraopeba.

A retirada de baguetas foi realizada com um trado motorizado da marca Tanaka<sup>®</sup>. As baguetas foram obtidas de toras com casca e sem casca, em diferentes posições nas pilhas de secagem. Cada bagueta foi dividida em seções próximas à periferia, intermediárias e centrais.

A umidade de cada seção foi determinada de acordo com a Norma NBR11941/2003 (ABNT, 2003). A umidade média de cada bagueta também foi calculada, sendo a massa úmida dada pelo somatório de massa úmida das seções e a massa seca pelo somatório de massa seca das seções.

O procedimento realizado na retirada de baguetas está ilustrado na Figura 19.



FIGURA 19 Retirada de bagueta com trado motorizado (A); bagueta (B e C); seções da bagueta (D).

### 3.4 Avaliação da distribuição radial e longitudinal da umidade em toras dos clones de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 e de *E. urophylla* MN463 em câmara de desumidificação

Para avaliar a distribuição radial e longitudinal da umidade foram utilizadas toras dos clones de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01) e de *E. urophylla* (MN463), que passaram por secagem em câmara de desumidificação da UFPA, em condições ambientais constantes, de janeiro a maio de 2009 e de

maio a setembro de 2009, respectivamente. A secagem foi finalizada quando a umidade média das toras atingiu 30%.

As toras com foram retiradas da estufa, pesadas e determinou-se a umidade de cada tora após 120 dias de secagem (método da pesagem). Após a pesagem, foram devidamente marcadas para os procedimentos necessários (método dos três discos e seções radiais, Figuras 20 e 21). De cada extremidade da tora de 1,88 m foram retirados 20 cm, ficando esta com 1,48 m. Três discos de 3,0 cm de espessura foram extraídos em três posições da tora: um próximo à base da tora, outro no centro e o terceiro disco próximo ao topo da tora. De cada disco foi cortada uma seção radial, na direção casca-medula-casca. Cada seção radial dividida em duas porções. Seccionou-se uma das porções em três amostras. A umidade de cada amostra foi determinada.

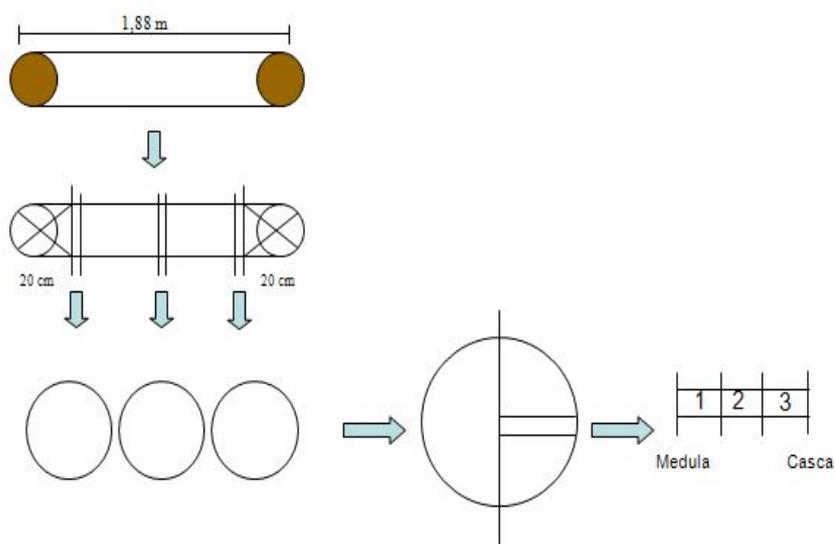


FIGURA 20 Esquema da metodologia utilizada para avaliação da distribuição radial e longitudinal da umidade em toras após secagem em câmara de desumidificação



FIGURA 21 Toras na câmara de desumidificação (A); seccionamento das toras (B) e identificação dos discos (C); identificação das seções radiais (D); seção radial (E); seção radial dividida em amostras (F).

A umidade dos discos e das toras foi determinada. Para o cálculo da umidade de cada disco, ponderou-se a umidade de cada amostra por um fator de área que cada uma representa. Os fatores de ponderação foram 0,1; 0,3 e 0,6, para as amostras central, intermediária e periférica, respectivamente. A umidade média de cada disco foi obtida pela soma da umidade das três amostras retiradas desse disco. A umidade de cada tora foi determinada pela média aritmética de umidade dos discos.

### 3.5 Análise de regressão

A análise estatística dos experimentos de secagem ao ar livre e em câmara de desumidificação correspondeu a uma análise de regressão, considerando-se nível de confiança de 99% ( $\alpha=0,01$ ) para análise de variância e de 90% para análise dos parâmetros da equação.

Para explicar a relação entre as variáveis nos diferentes experimentos, adotou-se um modelo matemático não linear (Equação 7) que relaciona variações de umidade em função do número de dias de secagem (Vital et al., 1985).

O modelo utilizado foi:

$$U = \beta_0 \times \beta_1^{dias} \times dias^{\beta_2} \quad (7)$$

em que

U = umidade (%) em “n” dias de secagem;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = parâmetros do modelo;

dias = número de dias de secagem.

O modelo foi linearizado, ficando da seguinte forma (Equação 8):

$$\ln U = \beta_0 + \beta_1 \times dias + \beta_2 \times \ln dias \quad (8)$$

em que

$\ln U$  = logaritmo natural da umidade, em porcentagem;

$\ln dias$  = logaritmo natural do número de dias de secagem;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = parâmetros do modelo linearizado.

O ajuste foi realizado no software estatístico StatGraphics 2.1<sup>®</sup>.

Para cada experimento foi obtido o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro padrão residual ( $Syx$ ), erro padrão percentual ( $Syx\%$ ), gráfico de distribuição de resíduos e gráfico de umidade real, em função da umidade estimada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Secagem ao ar livre

#### 4.1.1 Secagem do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01) em Lavras, MG

Os resultados de umidade inicial, densidade básica e máximo teor de umidade estão apresentados na Tabela 1A. Os valores médios de umidade inicial, densidade básica e máximo teor de umidade (MTU) de toras com casca foram, respectivamente, 111%, 0,507 g/cm<sup>3</sup> e 132%. Para toras sem casca, os resultados foram: 115%, 0,527 g/cm<sup>3</sup> e 125%. Os resultados para densidade estão de acordo com os encontrados na literatura para clones de *Eucalyptus urophylla* e *E. camaldulensis*. Evangelista (2007) encontrou valores entre 0,500 e 0,540 g/cm<sup>3</sup> para clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis*, com idade variando de 6 a 10 anos. Os resultados de umidade inicial e MTU são próximos, devido ao fato de a pesagem das toras e a determinação de umidade inicial terem sido realizadas dois dias após o corte das árvores.

Na Tabela 2A estão apresentadas as medidas de diâmetros tomadas em cada extremidade da tora, posição na pilha de secagem e volume. Os diâmetros das toras estavam compreendidos entre 11 e 22 cm, em média de 15,8 cm e desvio padrão de 2,2 cm. As toras foram dispostas em diferentes posições na pilha.

Na Figura 22 estão apresentadas as curvas de secagem ao ar livre em Lavras, MG, para toras com casca e sem casca do clone VM01, durante 200 dias.

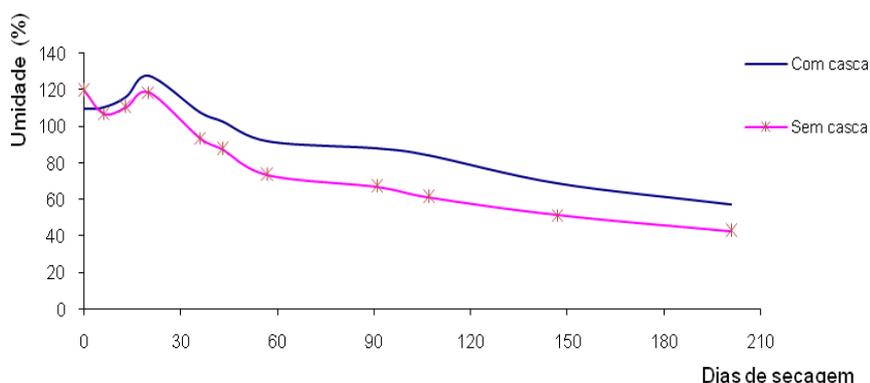


FIGURA 22 Curvas de secagem de toras com casca e sem casca para o clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante 200 dias, em Lavras, MG.

Analisando-se o gráfico da Figura 22, observa-se que a casca influenciou a secagem das toras. As toras com casca apresentaram maior umidade que as toras sem casca, no final do período de secagem. Raven et al. (2001) afirmam que a casca, por conter muita suberina, torna-se impermeável, afetando a saída de água. A espessura da casca, estrutura e deiscência também podem ser influentes (Latorre & Henriques, 2008).

De forma geral, observa-se que, na primeira semana de secagem, as toras com casca praticamente não perderam umidade, enquanto as toras sem casca tiveram sua umidade reduzida em 12%, atingindo 107%.

A forte ocorrência de chuvas no período (janeiro de 2009) influenciou a perda de umidade nas semanas iniciais. Na terceira semana de secagem, a umidade das toras com casca aumentou para 127% e a umidade das toras sem casca foi de 118%. Duas semanas após a ocorrência das chuvas, as toras com casca tiveram sua umidade reduzida em 19%, enquanto as toras sem casca perderam 25% de umidade. Após 60 dias de secagem ao ar livre, as toras com casca apresentaram umidade média de 92% e as toras sem casca, 74%. Ao final

de 90 dias de secagem ao ar livre, a umidade das toras com casca estava em torno de 88% e a das toras sem casca em, aproximadamente, 67%.

A diferença de umidade das toras com casca e sem casca é significativa ao final de 90 dias de secagem ao ar livre. Tal fato também foi observado por Vital et al. (1985). Trabalhando com secagem de toras de *Eucalyptus grandis* para a carbonização, no período de novembro a fevereiro, em Viçosa, MG, estes autores observaram que, após noventa dias de secagem, as toras com casca apresentavam umidade média de 80%, enquanto a umidade das toras sem casca era de 51%, partindo-se de uma umidade inicial de 129%. A redução total de umidade no período foi de 50% para a madeira com casca e 79% para a sem casca.

Normalmente, nas empresas de carvão, após a derrubada, desgalhamento e traçamento das árvores, as toras permanecem por noventa dias secando ao ar livre. Mesmo após três meses de secagem, a umidade das toras pode estar acima de 30% (Juvillar, 1979; Vital et al., 1985).

Após 150 dias, a umidade média das toras com casca foi de 69% e sem casca, de 51% (Figura 22). Ao final de duzentos dias de secagem ao ar livre, a umidade ainda encontrava-se elevada para toras com casca (57%) e sem casca (43%). A redução total de umidade em relação à umidade inicial após duzentos dias foi de 53% e 76%, para toras com casca e sem casca, respectivamente. Observa-se que as toras não adequaram-se à carbonização, necessitando de mais tempo para atingir valores próximos a 30%, os quais proporcionam bom rendimento no forno (Mendes et al., 1982).

A redução total de umidade em relação à umidade inicial para toras com casca e sem casca após duzentos dias (Figura 22) foi de 53% e 76%, respectivamente. Desta forma, recomenda-se para as empresas de carvão o descascamento das toras em função de uma maior velocidade de secagem.

Nas Figuras 23 e 24 estão apresentadas as curvas de secagem ao ar livre durante duzentos, para toras com casca e sem casca de duas classes de diâmetro do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01.

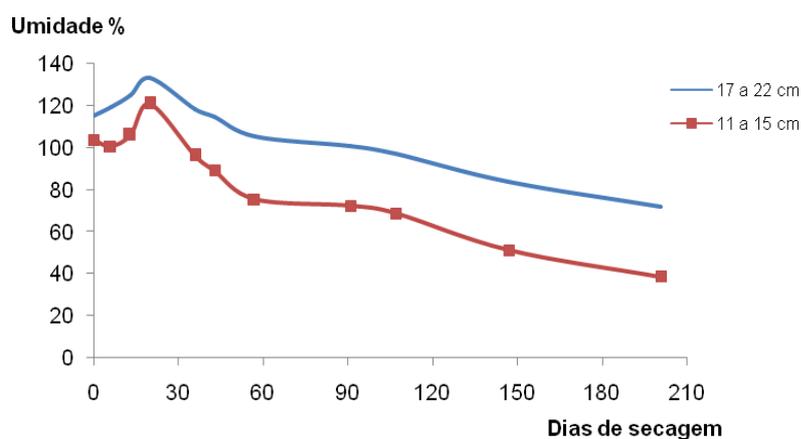


FIGURA 23 Curvas de secagem de toras com casca de duas classes de diâmetro do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante 200 dias ao ar livre, em Lavras, MG.

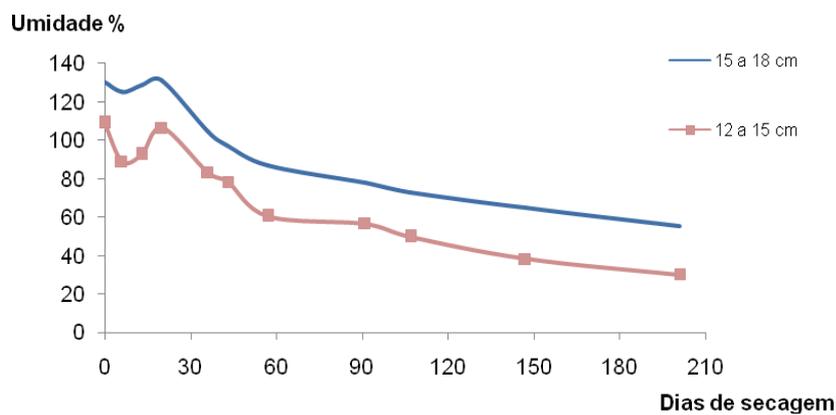


FIGURA 24 Curvas de secagem de toras sem casca de duas classes de diâmetro do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante 200 dias ao ar livre, em Lavras, MG.

Analisando os gráficos das Figuras 23 e 24, observa-se que a secagem é afetada pelo diâmetro das toras. De fato, é conhecido que a secagem da madeira é fortemente influenciada pela espessura ou a distância para a movimentação da água (Galvão & Jankowsky, 1985; Ponce & Watai, 1985).

As toras com casca de maiores diâmetros perdem água mais dificilmente que as toras com casca de menores diâmetros. Após 200 dias de secagem, as toras com casca da maior classe diamétrica apresentaram umidade média de 72%, enquanto as toras da menor classe estavam na faixa de 39% de umidade, com redução total de umidade em relação à inicial de 43% e 65%, respectivamente. Para as toras sem casca, após 200 dias, a umidade média das toras da classe de maiores diâmetros foi de 55% (redução total de umidade em relação à inicial de 75%) enquanto para a classe de menores diâmetros foi de 30% (redução de 79%). Com base nestes resultados é possível recomendar a secagem das toras agrupadas em classes diamétricas semelhantes, para uma secagem mais uniforme. Os valores para toras com casca após duzentos dias (Figura 23) estão acima dos encontrados por Vital et al. (1985) e, para as toras sem casca (Figura 24), estão próximos. Estes autores observaram, em *Eucalyptus grandis*, que toras de maiores diâmetros apresentavam umidade em torno de 55%, após 175 dias de secagem ao ar livre e, para as toras de menores diâmetros, a umidade variou de 16% a 27%.

Na Tabela 3A estão apresentadas as medidas de maior largura das rachaduras de topo nas duas extremidades (A e B) de todas as toras da pilha, no início e no fim da secagem. As rachaduras de topo apareceram nas toras com casca e sem casca após dez dias de secagem, confirmando o que Hillis & Brown (1984), citados por Lima (2005), afirmaram. A maioria dessas rachaduras se manifesta na primeira semana de secagem da árvore (após o abate).

Garcia (1995), citado por Jankowsky (1990) e Lima (2005), afirma que quando toras secam mais rapidamente, a região próxima à casca tende a contrair-

se longitudinalmente enquanto a região central da tora, sob compressão, tende a expandir-se. As faces das extremidades das toras tendem à forma convexa e as rachaduras começam a se manifestar.

As rachaduras de topo ocorreram em menores proporções nas toras com casca. Como as toras sem casca perdem água mais rapidamente, a tendência é que ocorram maiores rachaduras de topo nestas, quando comparadas às toras com casca. A maior rachadura para toras com casca no início da secagem foi de 2,52 mm, a mínima foi de 0,73 mm e a média de 1,39 mm. Para toras sem casca, a máxima foi 2,94 mm, a mínima foi de 0,41 mm e a média foi de 2,06 mm. Após 200 dias de secagem ao ar livre, as rachaduras aumentaram tanto para toras com casca quanto para sem casca. A máxima rachadura para toras com casca foi de 7,50 mm e, para toras sem casca, foi de 8,73 mm. A mínima para toras com casca foi de 1,12 mm e, para sem casca, foi de 1,15 mm. A média para toras com casca foi de 3,54 mm e, para sem casca, foi de 4,11 mm. Observa-se que, ao final da secagem, ocorreu aumento significativo das rachaduras. Barros (2006), analisando rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus grandis* com onze anos de idade secando ao ar livre, observou que, após um período de trinta a sessenta dias de secagem, as rachaduras aumentaram consideravelmente em todas as regiões da pilha.

A equação ajustada para estimativa da umidade de toras com casca e sem casca do clone VM01, em função do tempo de secagem ao ar livre em Lavras, é apresentada na Equação 9.

$$\ln u = 4,81799 - (0,00416489 \times \text{dias}) - (0,0196073 \times \ln \text{dias}) \quad (9)$$

O coeficiente de determinação foi de 83%, indicando que esse percentual de variação de umidade está sendo explicado pela Equação 9. A equação apresentou um erro padrão residual (Syx) de 9,66%, representando que, em média, os valores reais de umidade estão variando este percentual em relação aos valores estimados. O erro padrão residual percentual foi de 10,99%.

O comportamento da umidade real (%) em função da umidade estimada (%) está apresentado na Figura 25.

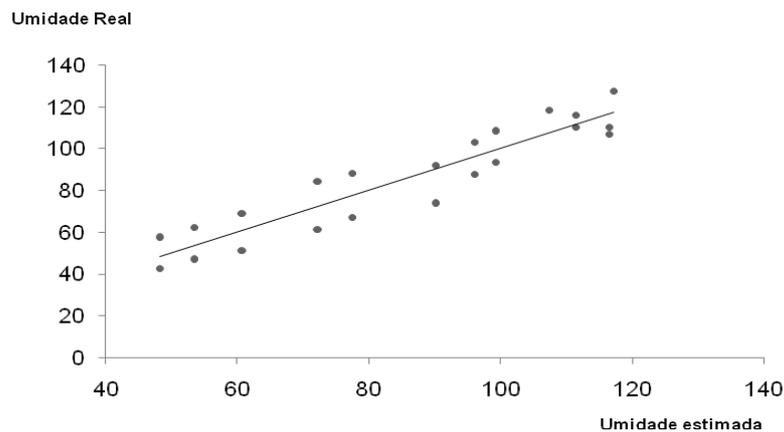


FIGURA 25 Comportamento da umidade real em função da umidade estimada para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01) secando ao ar livre, em Lavras, MG, durante duzentos dias.

A distribuição dos resíduos deste ajuste está apresentada na Figura 26.

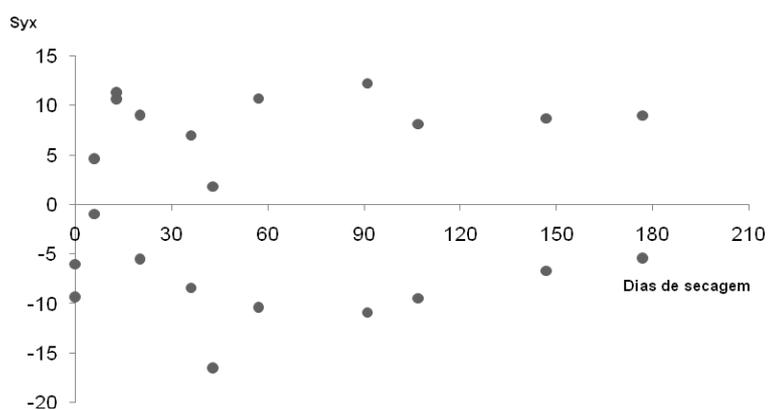


FIGURA 26 Distribuição dos resíduos em relação ao tempo de secagem ao ar livre para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01), em Lavras, MG, durante duzentos dias.

Analisando-se os gráficos das Figuras 25 e 26 observa-se que a distribuição dos valores residuais não foi dispersa. Utilizando-se o modelo de Vital et al. (1985) é possível obter boas estimativas de umidade em função do tempo de secagem. O ajuste, de forma geral, foi satisfatório.

#### **4.1.2 Secagem do clone de *Eucalyptus urophylla* (MN463) em Lavras, MG**

Os resultados de umidade inicial, densidade básica e máximo teor de umidade (MTU) para caules sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463 secando em Lavras, MG estão apresentados na Tabela 4A. A umidade inicial média foi de 123%, a densidade média foi de 0,480 g/cm<sup>3</sup> e o MTU médio foi de 143%. Os resultados encontrados para densidade estão próximos aos relatados por Ferreira (1994), que encontrou para, clones de *Eucalyptus urophylla*, densidade básica entre 0,480 g/cm<sup>3</sup> e 0,500 g/cm<sup>3</sup>. Gouvea et al. (1997) encontraram valores entre 0,530 g/cm<sup>3</sup> e 0,550 g/cm<sup>3</sup>, para o mesmo clone. Os valores de umidade inicial e MTU foram próximos; o controle da umidade teve início um dia após as árvores terem sido cortadas. Os valores de umidade inicial e MTU % para o clone MN463 são superiores aos do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01), em função de o primeiro ser menos denso (mais poroso) e poder conter maior quantidade de água.

Na Tabela 5A observam-se os valores de diâmetros, posição na pilha de secagem e volume das toras controladoras de umidade. Os diâmetros das toras estavam compreendidos entre 7,0 e 17,0 cm, com média de 12,2 cm e desvio de 2,3 cm.

Na Figura 27 está apresentada a curva de secagem ao ar livre, em Lavras, para toras sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 153 dias.

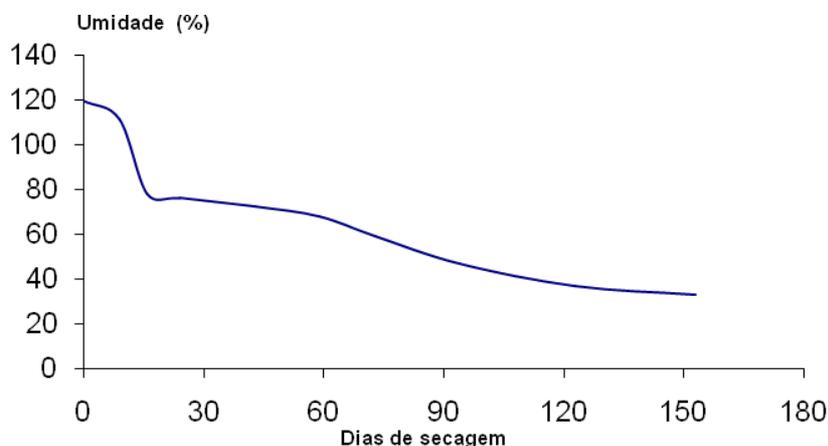


FIGURA 27 Curva de secagem ao ar livre de toras sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 153 dias, em Lavras, MG.

Analisando-se o gráfico da Figura 27, observa-se que a maior perda de umidade ocorreu nos primeiros 15 dias de secagem, semelhante ao afirmado por Ferreira et al. (1983), que trabalhou com a variação de umidade em toras de *Eucalyptus* estocadas em pátios industriais. As maiores taxas de secagem ocorrem na primeira semana de secagem, tendendo a valores constantes a partir da terceira semana. Neste experimento, na primeira semana, a perda de umidade foi, em média, de 8% e, na segunda semana, a perda foi próxima de 30%. Tal fato se deve à ocorrência de uma forte chuva no início da secagem.

A partir da terceira semana de secagem, a perda de umidade foi praticamente constante (em torno de 3% a 6% por semana). Aos 90 dias de secagem, a umidade da madeira foi de 46%, valor não desejável à carbonização. Farinhaque (1981) considera que esta umidade deve estar abaixo de 25%. A umidade média foi de 37%, após 120 dias. Ao final de 153 dias de secagem, a umidade da madeira foi de 33%, enquanto, para o clone VM01 sem casca secando no mesmo local, a umidade foi de 51%, nos mesmos 153 dias. Pode-se

dizer que o clone MN463 sem casca, comparado ao VM01 sem casca, sob as condições ambientais de Lavras, atinge menores níveis de umidade para um mesmo intervalo de tempo, devido possivelmente à menor densidade básica do clone MN463, mas devendo-se também avaliar e comparar a anatomia dos dois clones.

Na Figura 28 estão apresentadas as curvas de secagem ao ar livre, durante 153 dias, para toras sem casca de duas classes de diâmetro do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463.

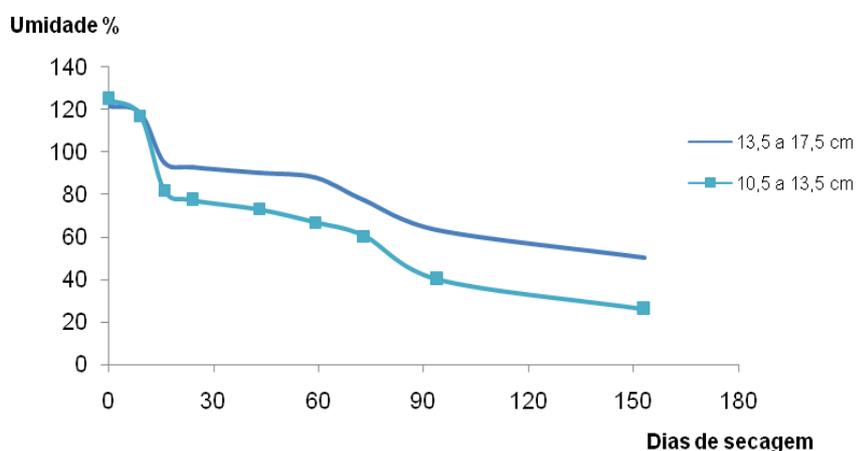


FIGURA 28 Curvas de secagem ao ar livre de toras sem casca de duas classes de diâmetro do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 153 dias, em Lavras, MG.

Analisando-se o gráfico da Figura 28, observa-se que as curvas de secagem para as duas classes de diâmetro apresentaram um comportamento padrão, mas a perda de umidade em relação ao tempo foi diferente. A maior perda de umidade foi observada nas semanas iniciais de secagem. As toras de maiores diâmetros demandaram maior tempo para atingir determinada umidade, comparadas a toras de menores diâmetros. A umidade média das toras da classe de maiores diâmetros foi de 50% e a de menores diâmetros foi 26%, após 153

dias de secagem, com redução total de umidade em relação à inicial de 71% e 98%, respectivamente. Estes valores estão próximos aos encontrados por Vital et al. (1985) para toras de *Eucalyptus grandis*. A umidade média de toras de diâmetro superior a 12,0 cm foi próxima de 55%, após 175 dias de secagem ao ar livre em Viçosa, MG e, para as toras de 4,0 a 12,0 cm, a umidade variou de 16% a 27%.

Na Tabela 6A estão apresentados os resultados de rachadura de topo no início e no fim da secagem. As rachaduras de topo apareceram nas toras após 7 dias de secagem ao ar livre. As maiores rachaduras foram encontradas nas toras de maior diâmetro, geralmente toras da base da árvore. Purnell (1988), citado por Lima et al. (2002), observou que há uma tendência de redução dessas rachaduras da base ao topo da árvore para o gênero *Eucalyptus*. Devido ao fato de as toras estarem descascadas, a saída de água é mais rápida e fácil, ocasionando maiores rachaduras.

A maior rachadura observada para as toras no início da secagem foi de 7,65 mm, a mínima de 1,16 mm e a média de 3,86 mm. Após 153 dias de secagem ao ar livre, aumentou a incidência de rachaduras. O valor máximo encontrado foi 13,58 mm e o mínimo, 1,22 mm. A largura média foi de 5,43 mm.

Comparando-se as rachaduras de topo das toras sem casca do clone VM01 com as do clone MN463, observou-se que, no segundo (menos denso), as rachaduras são mais pronunciadas.

A estimativa da umidade de toras sem casca do clone MN463 em função do tempo de secagem é apresentada pela Equação 10:

$$\ln u = 4,86388 - (0,00583776 \times \text{dias}) - (0,0992475 \times \ln \text{dias}) \quad (10)$$

O coeficiente de determinação indicou que 86% das variações de umidade foram explicadas pela Equação 10. O erro padrão residual foi de 9,57%, representando que, em média, os valores reais de umidade estão variando

em relação aos estimados neste percentual. O erro padrão residual percentual foi de 13,65%.

O comportamento da umidade real (%) em função da umidade estimada (%) e a distribuição dos resíduos estão representados nas Figuras 29 e 30.

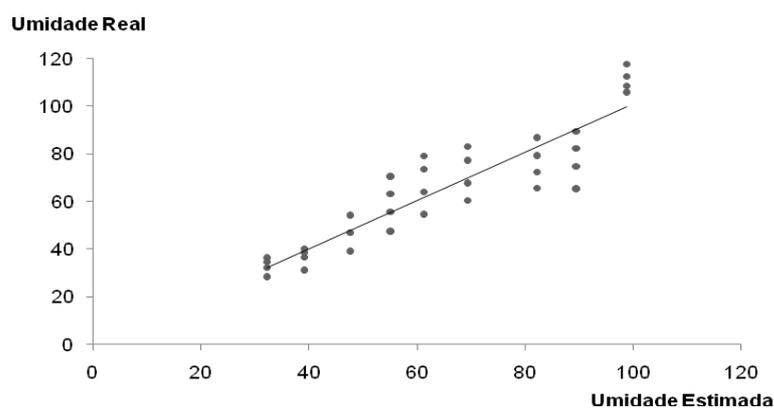


FIGURA 29 Comportamento da umidade real, em função da umidade estimada para toras sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 153 dias, em Lavras, MG.

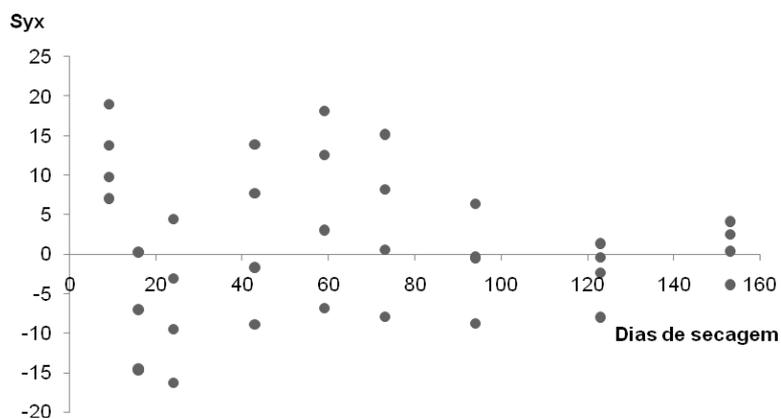


FIGURA 30 Distribuição dos resíduos em relação ao tempo de secagem, para toras sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 153 dias, em Lavras, MG.

Os valores residuais não foram muito dispersos. Com base nos gráficos das Figuras 29 e 30, erro padrão e  $R^2$ , observou-se que, utilizando o modelo de Vital et al. (1985) podem-se obter boas estimativas. De forma geral, o ajuste da equação foi bom.

#### **4.1.3 Secagem do clone de *Eucalyptus urophylla* (MN463) em Paraopeba, MG**

Os valores de umidade inicial, densidade básica e MTU médios foram de 122%, 0,489 g/cm<sup>3</sup> e 140%, respectivamente. Os valores por caule do clone MN463 sem casca secando em Paraopeba são encontrados na Tabela 7A.

Os resultados para densidade estão próximos aos encontrados por Ferreira (1994), de 0,480 a 0,500 g/cm<sup>3</sup> e por Evangelista (2007), que encontrou 0,450 a 0,500 g/cm<sup>3</sup>, para *Eucalyptus urophylla*.

A umidade inicial e o máximo teor de umidade foram próximos. Deve-se ressaltar, entretanto, que, mesmo dentro de um mesmo caule, a umidade não se encontra em seu máximo.

Os diâmetros das toras estavam compreendidos entre 4,0 e 17,0 cm, com média de 10,4 cm e desvio de 3,4 cm. As toras foram dispostas aleatoriamente nas diferentes posições da pilha. Os valores de diâmetro, posição na pilha e volume das toras controladoras de umidade estão apresentados na Tabela 8A.

Na Figura 31 está apresentada a curva de secagem ao ar livre em Paraopeba, para toras sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 188 dias.

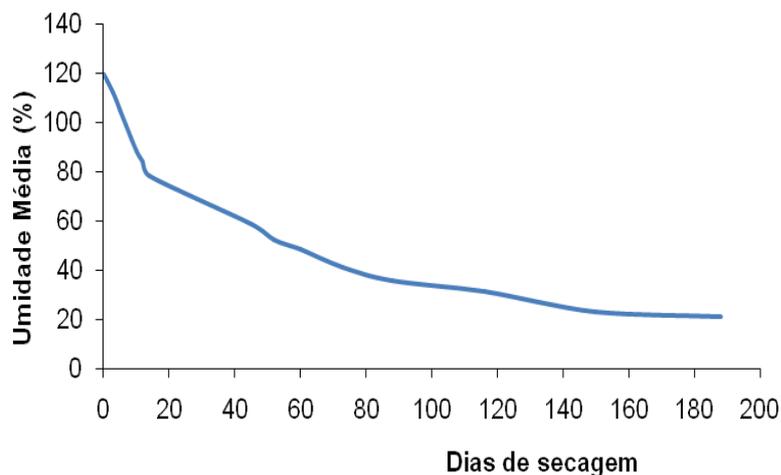


FIGURA 31 Curva de secagem ao ar livre de toras sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, em Paraopeba, durante 188 dias.

Analisando-se o gráfico da Figura 31 observa-se que a curva de secagem apresentou forma semelhante à curva para toras sem casca de *Eucalyptus*, encontrada por Seixas et al. (2005) e ilustrada na Figura 7.

A maior perda de umidade ocorreu na primeira semana de secagem, aproximadamente 21% de umidade. Comparando-se a primeira semana de secagem de toras do clone MN463 sem casca em Lavras e em Paraopeba, observou-se que ela foi mais eficiente em Paraopeba, provavelmente devido às suas condições climáticas.

A maior taxa de secagem ocorreu nas duas primeiras semanas de secagem, como também afirmam Ferreira et al. (1983), reduzindo-se a partir da terceira semana. Em quinze dias, as toras tiveram sua umidade reduzida, em relação à inicial, em 42%.

Após 90 dias de secagem, a umidade média das toras foi de 36%. Nesse valor, as toras ainda não se encontram em condições próximas às consideradas

ideais para ser carbonizada, que ocorre quando a umidade estiver entre 20% e 30% (Valente & Lelles, 1986). As toras só atingiram umidade próxima de 30% após 116 dias de secagem em Paraopeba. Em Lavras, o mesmo clone, após 115 dias de secagem, apresentou umidade média em torno de 37%. Após 188 dias de secagem ao ar livre em Paraopeba, a umidade média foi de 21%. Caso as toras fossem deixadas por mais tempo nesse local, possivelmente atingiriam a umidade próxima a 12%, que é a umidade de equilíbrio da cidade de Sete Lagoas, MG (Lima & Mendes, 1995).

Na Figura 32 estão representadas as curvas de secagem ao ar livre em Paraopeba, durante 188 dias, para as toras sem casca de duas classes de diâmetro do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463.

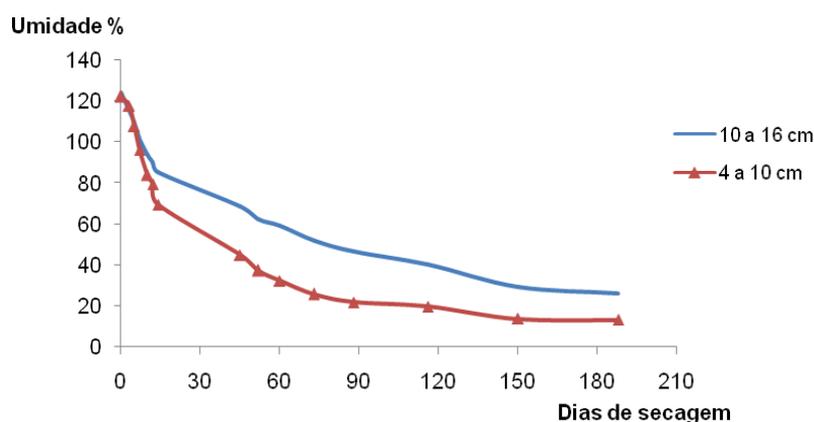


FIGURA 32 Curvas de secagem de toras sem casca de duas classes de diâmetro do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, em Paraopeba, MG, durante 188 dias.

Analisando-se o gráfico da Figura 32, observa-se que as toras apresentaram comportamento semelhante quanto à perda de umidade, mas em intensidades diferentes, sendo provavelmente afetadas pelo diâmetro das mesmas. A maior perda de umidade foi observada nas semanas iniciais de secagem, tanto para as toras de maiores diâmetros como para as de menores

diâmetros. Em quinze dias, as toras da classe de maiores diâmetros tiveram sua umidade reduzida em relação à inicial em 38%, enquanto as de diâmetros inferiores reduziram 53%. Após 90 dias de secagem, as toras de maiores diâmetros apresentaram umidade média de 46% e as de menores diâmetros já estavam próximas de 22%. Ao final de 188 dias, as toras de maiores diâmetros atingiram 26% e as de menores diâmetros, 13%, com redução total de umidade em relação à inicial de 98% e 109%, respectivamente.

Comparando-se a secagem das toras sem casca de maiores e menores diâmetros do clone MN463, em Paraopeba e em Lavras, para um mesmo intervalo de tempo (153 dias), observa-se que, para Paraopeba, a umidade foi de 30% para as toras de maiores diâmetros e 14% para as de menores diâmetros. Em Lavras, as umidades para toras de maiores e menores diâmetros foram entre 50% e 25%, respectivamente.

As medidas de rachadura de topo nas toras estão apresentadas na Tabela 9A. As rachaduras de topo apareceram nas toras após 8 dias de secagem ao ar livre. As maiores rachaduras foram observadas nas toras de maior diâmetro. A maior rachadura observada para as toras no início da secagem foi de 5,45 mm e a mínima, de 0,32 mm. A largura média das rachaduras no início da secagem foi de 2,02 mm e o coeficiente de variação foi de 59,5%. Após 188 dias de secagem ao ar livre, o valor máximo encontrado foi de 6,63 mm e o mínimo, 0,32 mm. A largura média foi de 2,57 mm e o CV (%) foi de 59,7%. Comparando-se as rachaduras em toras sem casca do clone MN463, em Lavras e em Paraopeba, na mesma época do ano, observou-se que as rachaduras foram mais pronunciadas em Lavras, devido talvez a uma condição de umidade relativa mais drástica no período.

A estimativa da umidade em função do tempo de secagem ao ar livre em Paraopeba, é apresentada na Equação 11:

$$\ln u = 4,98922 - (0,00520565 \times \text{dias}) - (0,199688 \times \ln \text{dias}) \quad (11)$$

O coeficiente de determinação indicou que 98% das variações de umidade em função do tempo foram explicadas pela Equação 11. O erro padrão residual representou que, em média, os valores reais de umidade estão variando 3,53%, em relação aos valores estimados. O erro padrão residual percentual foi de 5,30%.

O comportamento da umidade real (%), em função da umidade estimada (%), está apresentado na Figura 33.

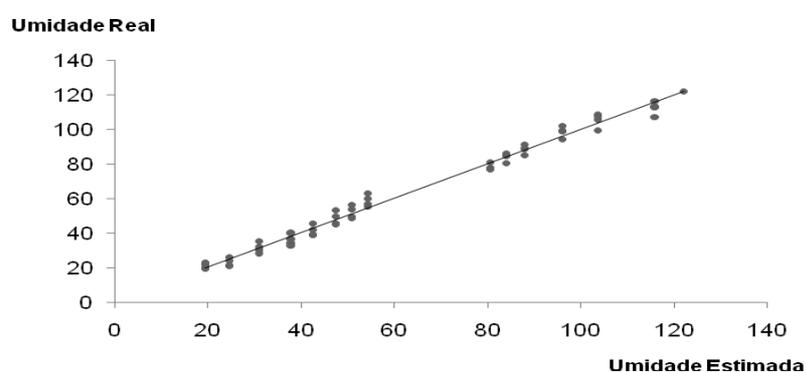


FIGURA 33 Comportamento da umidade real em função da umidade estimada de toras sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, em Paraopeba, MG, durante 188 dias.

A distribuição dos resíduos está representada no gráfico da Figura 34.

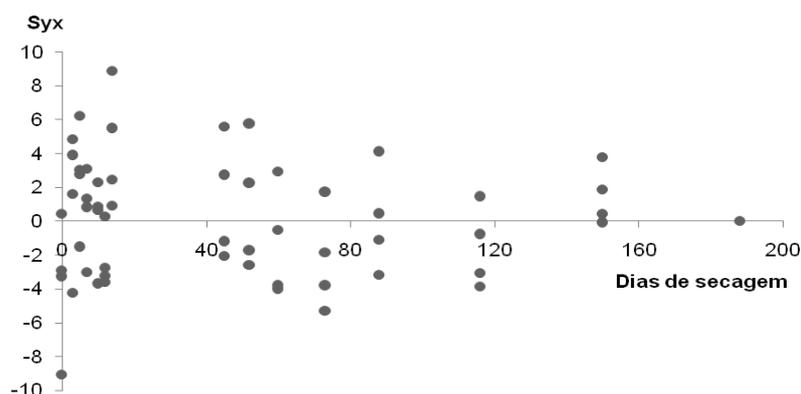


FIGURA 34 Distribuição dos resíduos em relação ao tempo de secagem de toras sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, em Paraopeba, MG, durante 188 dias.

Com base no erro padrão, coeficiente de determinação, gráfico de resíduos e comportamento de umidade real x estimada pode-se dizer que o ajuste foi adequado. Desta forma, boas estimativas de umidade em função do tempo podem ser obtidas pela equação 11 para toras do clone MN463 em Paraopeba.

#### 4.1.4 Secagem do clone de *Eucalyptus urophylla* (MN463), em Lavras, MG

Os valores de umidade, densidade e MTU, para toras com casca e sem casca do clone MN463, estão apresentados na Tabela 10A. Os resultados médios de umidade inicial, densidade e MTU de toras com casca foram: 133%, 0,480 g/cm<sup>3</sup> e 143%. Para toras sem casca, os valores foram: 131%, 0,490 g/cm<sup>3</sup> e 139%. Os resultados encontrados para densidade estão próximos dos encontrados por Ferreira (1994), que encontrou, para clones de *Eucalyptus urophylla*, densidade básica entre 0,480 g/cm<sup>3</sup> e 0,500 g/cm<sup>3</sup> e dos valores encontrados para os experimentos anteriores realizados com o mesmo clone. Os valores de umidade inicial e MTU foram próximos entre si e estão seguindo o

mesmo comportamento. O controle de umidade teve início um dia após o corte das árvores.

Na Tabela 11A observam-se os dados de diâmetro, posição na pilha e volume. Os diâmetros das toras estavam compreendidos entre 8,0 e 22,0 cm, com média de 14,1 cm e desvio padrão de 2,9 cm; as toras foram distribuídas aleatoriamente nas diferentes posições da pilha.

No gráfico da Figura 35 estão apresentadas as curvas de secagem ao ar livre em Lavras, para toras com casca e toras sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante noventa dias.

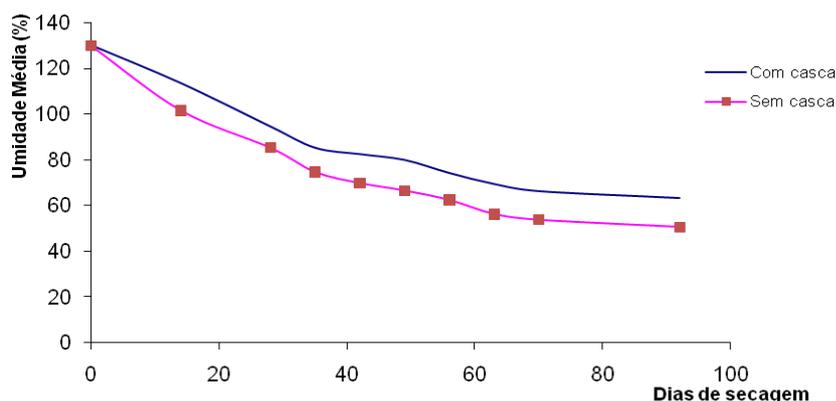


FIGURA 35 Curvas de secagem de toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 90 dias, em Lavras, MG.

A partir do gráfico da Figura 35 observa-se que, mesmo que as toras com casca e sem casca tenham apresentado umidade inicial semelhante (130%), a perda de umidade foi menor nas toras com casca.

Nas duas primeiras semanas de secagem as toras com casca perderam 17% de umidade e as toras sem casca, 28%, atingindo 113% e 102%, respectivamente. As maiores taxas de secagem foram observadas até aproximadamente 30 dias. Depois, as perdas foram da ordem de 3% a 6% por

semana. As toras sem casca apresentaram umidade média de 75%, após 35 dias de secagem e as com casca, 85% de umidade. O mesmo clone sem casca secando em Lavras (item 4.1.2) apresentou, após trinta dias de secagem, umidade média de 76%. Já a umidade do clone VM01 sem casca (item 4.1.1), aos 35 dias de secagem, foi de, aproximadamente, 94%, confirmando uma maior velocidade de secagem para o clone MN463. Barros (2006) encontrou, para toras de *Eucalyptus* com 2,30 m de comprimento após trinta dias de secagem ao ar livre, umidades próximas de 70%, partindo de uma umidade inicial de 106%.

Aos 60 dias de secagem, a umidade média das toras com casca do clone MN463 foi de 69% e das toras sem casca, 56% (Figura 35). Após noventa dias de secagem, a umidade das toras com casca foi igual a 63% (redução de 67% em relação à umidade inicial) e das toras sem casca foi de 51% (redução de 79% em relação à inicial). Estes valores são inferiores aos encontrados para o clone VM01 secando em Lavras, que apresentou umidade média com casca de 88% e sem casca de 67%. O mesmo clone sem casca (MN463) apresentado no item 4.1.2 apresentou, após noventa dias de secagem em Lavras, umidade média de 46%. Ressalta-se que, segundo Lima & Mendes (1995), a umidade de equilíbrio da madeira em Lavras encontra-se em torno de 14%. Este é o valor aproximado esperado para a umidade das toras, caso sejam deixadas a secar por um longo período nas condições daquela localidade.

As curvas de secagem para toras com casca e sem casca de duas classes diamétricas do clone MN463 secando em Lavras, durante noventa dias, estão apresentadas nas Figuras 36 e 37.

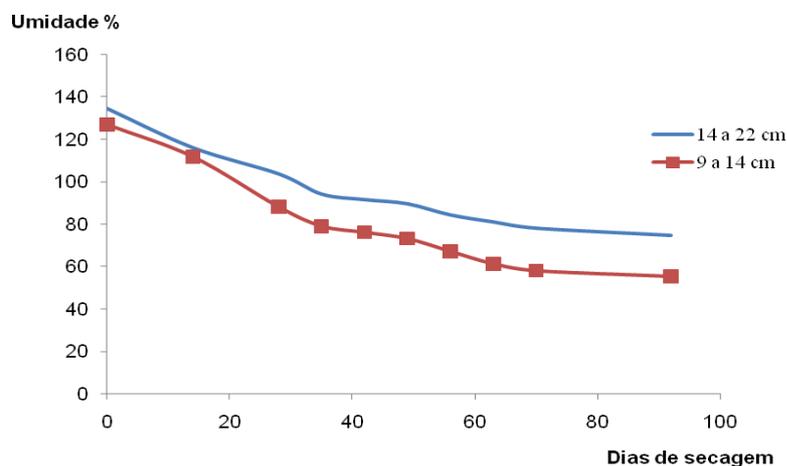


FIGURA 36 Curvas de secagem de toras com casca de duas classes diamétricas do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 90 dias, em Lavras, MG.

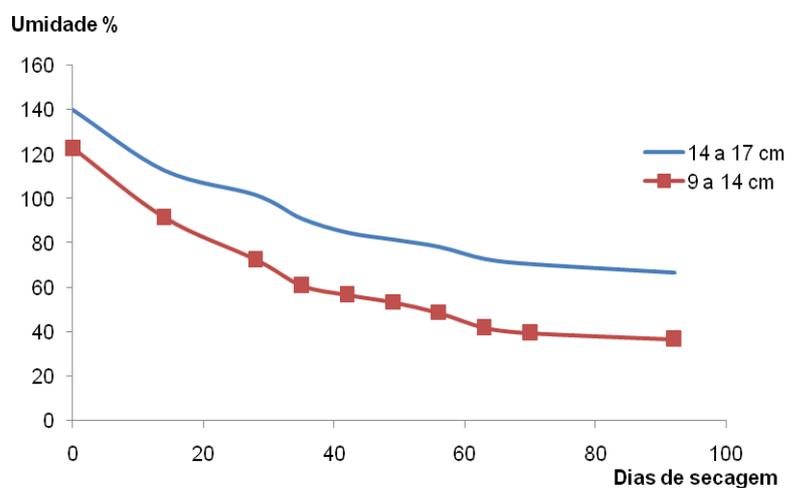


FIGURA 37 Curvas de secagem de toras sem casca de duas classes diamétricas do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 90 dias, em Lavras, MG.

A partir dos gráficos das Figuras 36 e 37, observou-se que a perda de umidade ocorreu em menores taxas nas toras da classe de maiores diâmetros. A

maior perda de umidade foi observada nas semanas iniciais de secagem, tanto para as toras da classe de maiores diâmetros como para a de menores diâmetros, mas não ocorrendo nas mesmas proporções para ambas. Para as toras com casca, enquanto as de maiores diâmetros perderam 31% de umidade em trinta dias, toras de menores diâmetros tiveram sua umidade reduzida em 39%. Já para as toras sem casca, essa redução foi de 38% e 50%, para as classes de maiores e menores diâmetros. Ao final de 90 dias, as toras de menores diâmetros com casca apresentaram umidade média de 55% e as toras de maiores diâmetros apresentaram umidade igual a 75%, com redução, em relação à umidade inicial, de 72% e 60%. Para as toras sem casca, após 90 dias, a umidade da classe de maiores diâmetros foi próxima de 65%, enquanto nas de menores diâmetros foi 37% (redução em relação à umidade inicial de 75% e 85%).

Os resultados de rachadura de topo estão na Tabela 12A. As rachaduras surgiram após oito dias de secagem e foram mais pronunciadas para as toras sem casca. As maiores rachaduras foram observadas nas toras de maior diâmetro. Barros (2006) comprovou que as rachaduras aumentam significativamente trinta a sessenta dias após o início da secagem. As rachaduras aumentaram consideravelmente do início para a medição no final da secagem. A maior rachadura observada para as toras com casca no início da secagem foi de 3,97 mm e a mínima foi de 0,78 mm. A largura média foi 2,38 mm e o CV(%) foi 45%. Após 90 dias de secagem ao ar livre, o valor máximo encontrado para toras com casca foi de 12,42 mm e o mínimo, 2,18 mm. A largura média foi de 5,91 mm e o CV(%) foi de 44%.

Para as toras sem casca, a maior rachadura observada no início da secagem foi de 4,07mm e a mínima foi de 1,59 mm. A largura média foi de 2,63 mm e o CV(%) de 22%. Após noventa dias de secagem ao ar livre, o valor máximo encontrado foi de 14,29 mm e o mínimo, de 1,66mm. A largura média foi de 7,70 mm e o CV(%) foi de 43%. Os valores encontrados foram superiores

às rachaduras de topo para o clone VM01 com casca e sem casca (item 4.1.1) e para o clone MN463 sem casca secando em Paraopeba (item 4.1.3). Os resultados deste experimento foram próximos aos obtidos no item 4.1.2, com exceção da máxima rachadura no início da secagem.

A Equação 12 foi ajustada para estimativa da umidade em função do tempo de secagem:

$$\ln u = 5,46687 - (0,00190044 \times \text{dias}) - (0,284225 \times \ln \text{dias}) \quad (12)$$

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 82% indicou que este percentual de variação de umidade foi explicado pela Equação 12.

O erro padrão residual ( $S_{yx}$ ) representou que, em média, os valores reais de umidade estão variando 6,9% em relação aos valores estimados. O erro padrão residual percentual foi de 8,6%.

O comportamento da umidade real (%) em função da umidade estimada (%) e a distribuição dos resíduos estão apresentados nas Figuras 38 e 39.

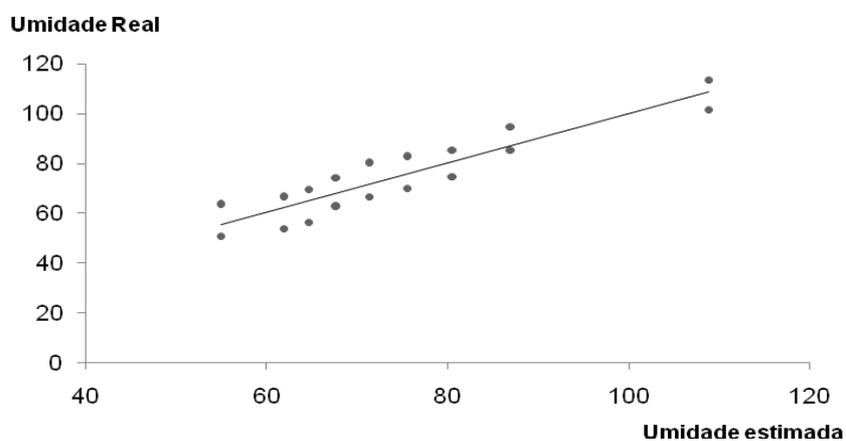


FIGURA 38 Comportamento da umidade real em função da umidade estimada para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* MN463, em Lavras, MG, durante noventa dias.

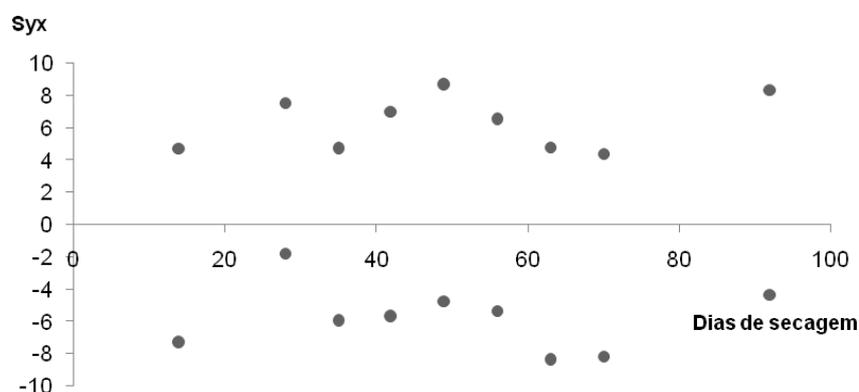


FIGURA 39 Distribuição dos resíduos em relação ao tempo de secagem para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* MN 463, em Lavras, MG, durante noventa dias.

Pela análise dos resíduos, erro padrão,  $R^2$ , comportamento de umidade real em função da estimada, pode-se dizer que o ajuste de forma geral foi bom e propicia boas estimativas de umidade.

#### 4.1.5 Secagem do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01) e clone de *Eucalyptus urophylla* (MN463) em Paraopeba, MG

Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios de volume, umidade inicial, densidade, máximo teor de umidade, diâmetro médio e desvio padrão, para toras sem casca e com casca dos clones MN463 e VM01 secando em Paraopeba, durante oitenta dias.

TABELA 5 Valores médios de volume, umidade inicial, densidade, máximo teor de umidade (MTU), diâmetro médio e desvio padrão de toras com casca e sem casca dos clones de *E. urophylla* MN463 e de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 secando em Paraopeba, MG.

Variáveis	MN463	MN463	VM01	VM01
	sem casca	com casca	sem casca	com casca
Volume (m <sup>3</sup> )	0,0483	0,0496	0,0422	0,0399
Umidade inicial (%)	137	125	126	115
Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,488	0,504	0,540	0,532
MTU (%)	139	134	120	123
Diâmetro médio ± desvio padrão	12,8±3,3	12,7±3,0	11,6±3,8	11,1±4,1

Os resultados para densidade estão de acordo com os encontrados, na literatura, para clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* e clones de *Eucalyptus urophylla*. Evangelista (2007) encontrou valores entre 0,500 e 0,540 g/cm<sup>3</sup>, para clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* e Ferreira (1994) encontrou, para clones de *Eucalyptus urophylla*, densidade básica entre 0,480 g/cm<sup>3</sup> e 0,500 g/cm<sup>3</sup>. Gouvea et al. (1997) encontraram valores entre 0,530 g/cm<sup>3</sup> e 0,550 g/cm<sup>3</sup>, para o mesmo clone.

Na Figura 40 estão apresentadas as curva de secagem ao ar livre em Paraopeba, durante oitenta dias, de toras sem casca e com casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463.

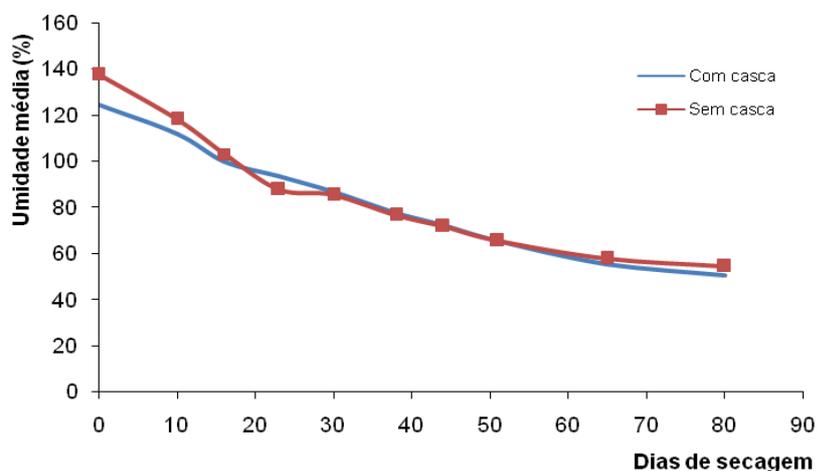


FIGURA 40 Curvas de secagem ao ar livre de toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, em Paraopeba, MG, durante oitenta dias.

Analisando-se o gráfico da Figura 40, observa-se que as toras sem casca do clone MN463 têm comportamento semelhante às toras com casca, porém, a umidade inicial sem casca é superior. Se for analisada a redução total de umidade em relação à umidade inicial, observa-se que as toras sem casca apresentaram maior redução.

Na primeira semana de secagem, observou-se a maior perda de umidade. A umidade das toras sem casca reduziu, em média, 19%, enquanto as com casca sofreram redução de 13%. Na segunda semana, a perda de umidade foi inferior para toras sem casca e com casca, 15% e 11%, respectivamente. Na terceira semana, a perda foi da ordem de 14% e 7%, para sem casca e com casca, respectivamente. A partir da quarta semana, as toras com casca e sem casca tiveram a umidade reduzida em proporções semelhantes, de 6% a 8%, reduzindo-se gradativamente. Após oitenta dias de secagem, as toras sem casca e com casca de MN463 apresentaram umidades próximas (54% e 50%), valor que,

segundo Mendes et al. (1982), ainda não está próximo da condição considerada ideal das toras serem carbonizadas, que deve ser de 30%.

Avaliando-se a redução total de umidade em relação à umidade inicial no período de 80 dias, as toras sem casca reduziram em 83%, enquanto as toras com casca sofreram redução de 75%. Souza (2009) avaliou a secagem ao ar livre de toras sem casca de um clone comercial de *Eucalyptus* em duas cidades na Região do Vale do Rio Doce, MG, para redução dos custos de transporte da madeira do campo para o pátio da indústria de celulose. Este autor observou que, após 80 dias, a umidade média do clone comercial de *Eucalyptus* (densidade básica igual à do clone MN463 sem casca) foi de 60% (redução em relação à umidade inicial de 53%) para um local de altitude 300 m (condições climáticas mais severas) e de 67% (redução de 46%) para um local de altitude 800 m (condições mais amenas).

As curvas de secagem ao ar livre em Paraopeba, durante oitenta dias, para toras sem casca e com casca de duas classes de diâmetro do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, estão apresentadas na Figura 41.

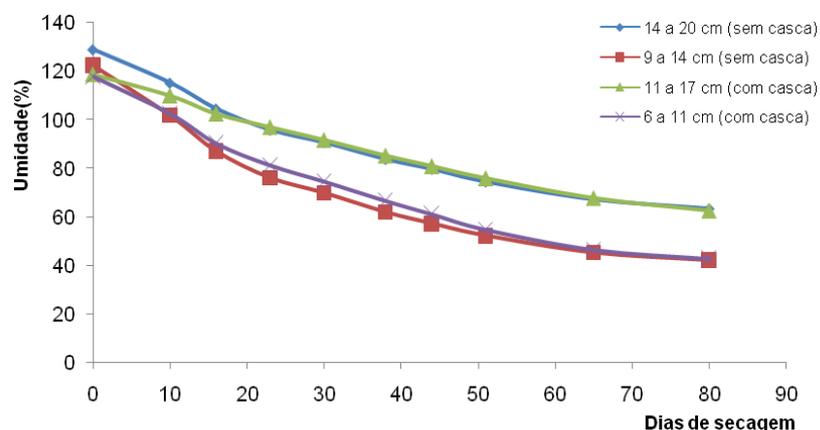


FIGURA 41 Curvas de secagem ao ar livre de toras sem casca e com casca de duas classes de diâmetro do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 80 dias, em Paraopeba, MG.

Analisando-se o gráfico da Figura 41, observa-se que a secagem das toras do clone MN463, seja com casca ou sem casca, é afetada pelo diâmetro das mesmas. A maior perda de umidade é observada nas semanas iniciais de secagem, tanto para as toras de maiores diâmetros como para as de menores diâmetros, mas não ocorre nas mesmas proporções. A partir de trinta dias de secagem, toras com casca e sem casca tendem a apresentar comportamentos próximos (perdas de aproximadamente 4% a 8% por semana, reduzindo-se gradativamente).

Na primeira semana de secagem, as toras sem casca da classe de maiores diâmetros perderam, em média, 13% de umidade e as de menores diâmetros sofreram redução de 21%. Na segunda semana de secagem, as toras da maior classe tiveram sua umidade reduzida em torno de 11% em relação à umidade anterior e, para as toras da classe de menores diâmetros, esta redução foi de 15%. Na terceira semana, essa perda foi da ordem de 8% e 11% para maior e menor classe, respectivamente. Após oitenta dias de secagem, as toras da classe

de maiores diâmetros apresentaram 63% de umidade e as de menores diâmetros já estavam com 42%.

Para as toras com casca da classe de maiores diâmetros, na primeira semana de secagem, a umidade foi reduzida em 9% e as de menores diâmetros perderam 15%. Na segunda semana, essa redução foi de 7% e 12%, para toras da classe de maiores e menores diâmetros e, na terceira semana, a perda foi de 6% e 9%, respectivamente. Após 80 dias de secagem, a umidade das toras da classe de maiores diâmetros foi de 63% e, para a de menores diâmetros, foi de 43%.

Embora a umidade das toras da classe de maiores diâmetros com casca e sem casca após 80 dias sejam semelhantes, assim como as de menores diâmetros com e sem casca, observa-se que os diâmetros das toras sem casca são superiores aos das toras com casca, o que afeta a velocidade de saída de água. Além disso, a redução total de umidade em relação à umidade inicial foi superior nas toras sem casca. Para as classes de menores diâmetros, essa redução foi de 80% nas toras sem casca e 75% nas toras com casca. Para as toras sem casca e com casca das classes de maiores diâmetros esta redução foi de 65% e 56%, respectivamente. Pode-se dizer que provavelmente o efeito do diâmetro é mais significativo que o efeito da casca na redução de umidade.

As curvas de secagem ao ar livre de toras sem casca e com casca do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01), em Paraopeba, durante oitenta dias, estão representadas no gráfico da Figura 42.

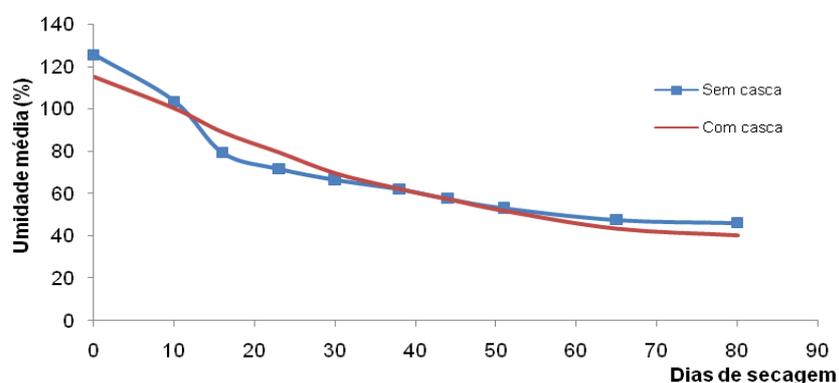


FIGURA 42 Curvas de secagem ao ar livre de toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, em Paraopeba, MG, durante oitenta dias.

Pelo gráfico da Figura 42 observa-se que, similar ao observado para o clone MN463, as toras sem casca têm comportamento semelhante às toras com casca, mas que difere em proporções de perda de umidade. A maior redução de umidade ocorreu na primeira semana de secagem (21% para toras sem casca e 14% para com casca). Na segunda semana, a redução foi de 22% e 10%, para toras sem casca e com casca. Na terceira semana, as perdas de umidade com casca e sem casca foram semelhantes, variando de 7% a 9%, reduzindo-se gradativamente depois. Após oitenta dias de secagem, as toras sem casca e com casca do clone VM01 apresentaram valores médios de umidade iguais a 46% e 41% (redução em relação à umidade inicial de 79% e 74%, respectivamente). Esses valores são inferiores aos encontrados por Souza (2009) que, trabalhando com secagem ao ar livre de toras sem casca de um clone de *Eucalyptus* (densidade básica média de 0,511 g/cm<sup>3</sup>) empregado na produção de celulose em duas localidades da região do Vale do Rio Doce, MG, constatou que, após oitenta dias, a umidade média das toras foi de 52% (redução em relação à

umidade inicial de 61%), para uma região de altitude 300 m e 58% (redução de 55%) para a altitude 800 m.

Comparando-se a secagem de toras com casca e sem casca dos clones MN463 e VM01 deste experimento (mesmo local e época do ano), observa-se que, ao final de oitenta dias, as toras com casca e sem casca do clone VM01 atingiram umidades inferiores às do clone MN463. No entanto, a redução total de umidade em relação à inicial foi superior para o clone MN463 (83% para toras sem casca e 75% para com casca). O clone VM01 apresentou redução de 79% e 74%, para toras sem casca e com casca. Nenhum dos dois clones atingiu umidades próximas de 30%, após oitenta dias de secagem, em Paraopeba, necessitando de um maior tempo de secagem no campo antes de ser carbonizada.

No gráfico da Figura 43 estão representadas as curvas de secagem ao ar livre de toras sem casca de duas classes diamétricas (6,0 cm a 13,0 cm e 13,0 cm a 21,0 cm) e de toras com casca (4,0 cm a 11,0 cm e 11,0 cm a 18,0 cm) do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante oitenta dias, em Paraopeba.

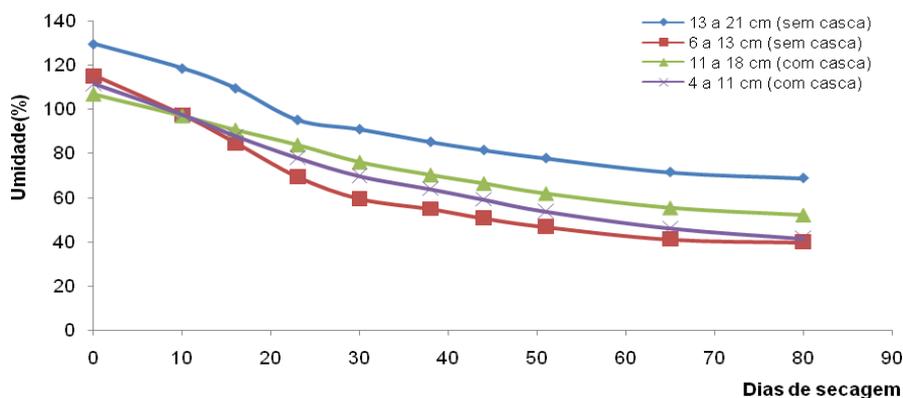


FIGURA 43 Curvas de secagem ao ar livre de toras sem casca e com casca de duas classes de diâmetro do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante oitenta dias, em Paraopeba, MG.

Pelo gráfico da Figura 43, observa-se que toras da classe de maiores diâmetros apresentaram valores de umidade superiores aos de toras da classe de menores diâmetros, após oitenta dias. Nas semanas iniciais de secagem ocorreram as maiores perdas de umidade para toras com casca e sem casca. Na primeira semana, as toras sem casca da classe de maiores diâmetros perderam 11% de umidade e nas de menores diâmetros reduziu de 17%; na segunda semana, essa redução foi de 9% e 13%, respectivamente. A partir de trinta dias de secagem, a perda de umidade semanal variou de 3% a 6%. Após oitenta dias de secagem, as toras da classe de maiores diâmetros apresentaram 68% de umidade e as de menores diâmetros já estavam com 40%, o que corresponde a uma redução, em relação à umidade inicial, de 61% (classe de maiores diâmetros) e 75% (classe de menores diâmetros).

As toras com casca da classe de maiores e de menores diâmetros tiveram sua umidade reduzida em 9% e em 14%, na primeira semana de secagem e, na segunda semana, essa redução foi de 6% e 8%. A partir de 30 dias de secagem, as perdas foram de 3% a 7% por semana, para as toras de maiores e menores

diâmetros. Após oitenta dias, as toras da classe de maiores diâmetros apresentaram umidade média de 52% (redução em relação à umidade inicial de 54%) e as toras da classe de menores diâmetros, 41% (redução 70%).

Os resultados de rachadura de topo nas toras do clone de *E. urophylla* MN463 e clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 com casca e sem casca, em Paraopeba, estão apresentadas nas Tabelas 15A e 16A. Não foram medidas rachaduras no fim da secagem neste experimento. As rachaduras surgiram após 10 dias de secagem e foram mais pronunciadas para as toras sem casca. Na Tabela 6 estão os resultados de rachadura média, máxima, mínima e CV (%), para as toras dos clones MN463 e VM01, em Paraopeba.

TABELA 6 Rachaduras de topo de toras com casca e sem casca dos clones de *E. urophylla* MN463 e de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, secando em Paraopeba, MG.

Rachadura de topo	MN463	MN463	VM01	VM01
	sem casca	com casca	sem casca	com casca
Máxima (mm)	7,55	6,13	2,83	2,79
Mínima (mm)	0,38	0,43	0,33	0,27
Média (mm)	2,93	2,70	1,05	1,02
CV (%)	59,0	43,0	48,0	49,0

As maiores rachaduras foram observadas nas toras de maior diâmetro, como afirmou Purnell (1988), citado por Lima et al. (2002), existindo uma tendência de redução das rachaduras da base ao topo da árvore para o gênero *Eucalyptus*.

As rachaduras foram mais pronunciadas no clone MN463 que no VM01, possivelmente pelo fato de o clone MN463 ser menos denso e a saída de água ser mais fácil. Segundo Mellado (2007), quando a madeira seca mais rapidamente, gradientes de umidade excessivos são formados, causando uma

contração desigual e, conseqüentemente, produzindo maiores rachaduras na madeira.

As equações de estimativa da umidade das toras dos clones de *E. urophylla* MN463 e de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro padrão e erro padrão percentual estão apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 Equações e medidas de precisão ajustadas para umidade de toras com casca e sem casca dos clones de *E. urophylla* MN463 e de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, em função do tempo de secagem, em Paraopeba, MG.

Clone	Equação ajustada	$R^2$	Erro padrão	Erro padrão %
MN463	$\ln u = 5,20407 - (0,006454 \times \text{dias}) - (0,171535 \times \ln \text{dias})$ (13)	96%	4,2%	4,9%
VM01	$\ln u = 5,3061 - (0,00388817 \times \text{dias}) - (0,286913 \times \ln \text{dias})$ (14)	94%	3,4%	4,7%

O comportamento da umidade real (%) em função da umidade estimada (%) e a distribuição dos resíduos em função do tempo de secagem das toras dos clones de *E. urophylla* MN463 e de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, em Paraopeba, estão representados nos gráficos das Figuras 44, 45, 46 e 47.

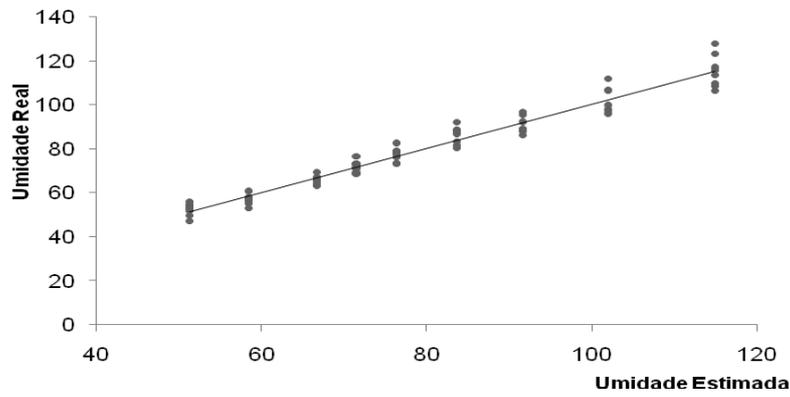


FIGURA 44 Comportamento da umidade real em função da umidade estimada para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* MN463, em Paraopeba, MG, durante oitenta dias.

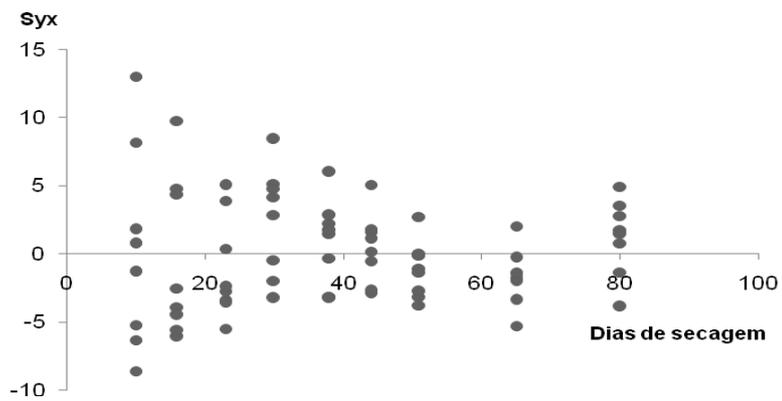


FIGURA 45 Distribuição dos resíduos em relação ao tempo de secagem ao ar livre para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* MN463, em Paraopeba, MG, durante oitenta dias.

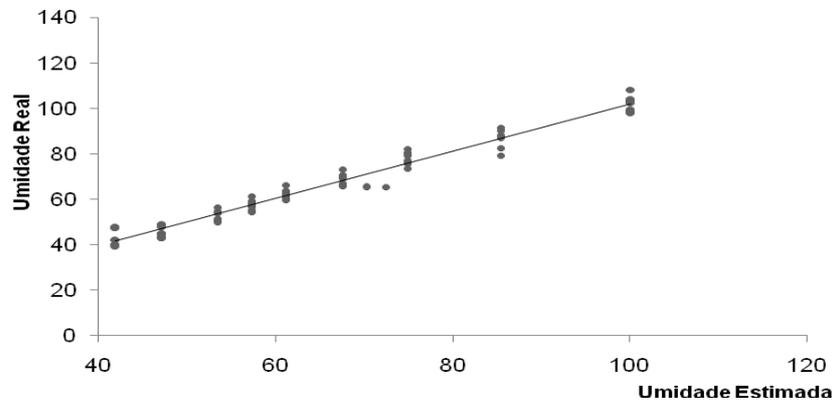


FIGURA 46 Comportamento da umidade real em função da umidade estimada para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, em Paraopeba, MG, durante oitenta dias.

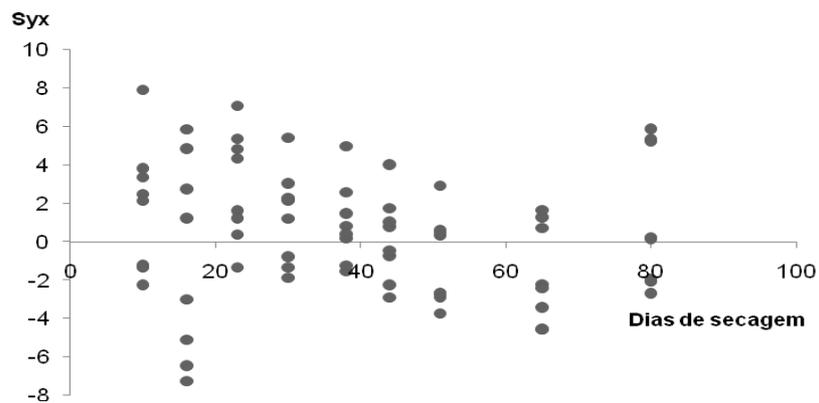


FIGURA 47 Distribuição dos resíduos em relação ao tempo de secagem ao ar livre para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, em Paraopeba, MG, durante oitenta dias.

A partir dos dados da Tabela 7 e das Figuras 44, 45, 46 e 47, pode-se afirmar que os ajustes realizados para toras dos clones MN463 e VM01, em Paraopeba, MG, foram satisfatórios. Assim, boas estimativas de umidade em função do tempo de secagem podem ser obtidas pelas equações 13 e 14 ajustadas para os dois clones.

## 4.2 Secagem controlada em câmara de desumidificação na UFLA

### 4.2.1 Secagem controlada do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01)

Os resultados médios de volume, umidade inicial, densidade básica, máximo teor de umidade e diâmetro para toras do clone VM01 estão descritos na Tabela 8.

TABELA 8 Valores médios de volume, umidade inicial, densidade, máximo teor de umidade (MTU) e diâmetro das toras do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, em câmara de desumidificação.

Variáveis	VM01 sem casca	VM01 com casca
Volume (m <sup>3</sup> )	0,4435	0,3061
Umidade Inicial (%)	111	112
Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,511	0,513
MTU (%)	131	130
Diâmetro médio±desvio padrão	15,9±3,1	15,2±2,3

Os resultados para densidade foram próximos aos encontrados na literatura para clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis*, que pode variar de 0,500 a 0,540 g/cm<sup>3</sup>. A umidade inicial determinada após o abate das árvores foi inferior ao máximo teor de umidade, ressaltando-se que, mesmo dentro de um mesmo caule, a umidade não se encontra em seu máximo.

No gráfico da Figura 48 podem-se observar as curvas de secagem em câmara de desumidificação (condição controlada) para toras com casca e sem casca do clone VM01 (umidade obtida por pesagem), durante 120 dias.

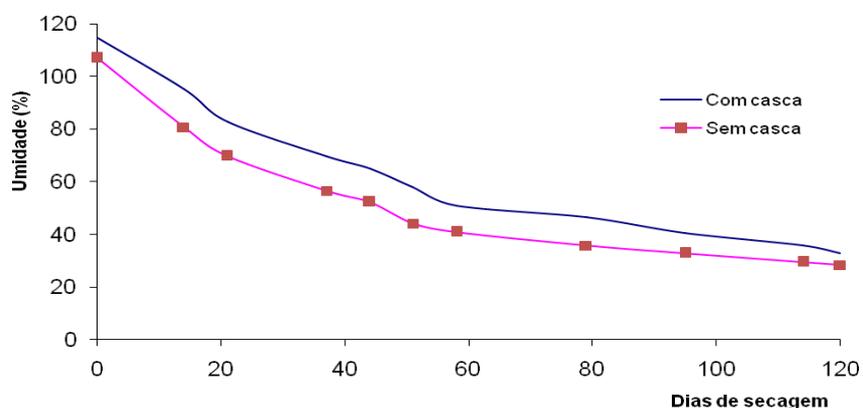


FIGURA 48 Curvas de secagem controlada em câmara de desumidificação de toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante 120 dias.

As curvas de secagem da Figura 48 apresentaram um comportamento com uma pequena variação em relação à secagem ao ar livre das toras do mesmo clone em Paraopeba (Figura 42).

Nas três primeiras semanas de secagem ocorreram as maiores perdas de umidade. Nas duas semanas iniciais, a redução de umidade foi de 19% para as toras com casca e 26% para sem casca. A partir da quarta semana, as perdas de umidade ocorreram em proporções semelhantes para toras com casca e sem casca (4% a 8%), podendo ser superior até mesmo para com casca, reduzindo-se gradativamente ao longo do tempo.

Após oitenta dias de secagem controlada em estufa, a umidade média das toras com casca atingiu 46% e a das toras sem casca, 36%. Em condições reais de campo, o mesmo clone, após oitenta dias, apresentou umidade média, com casca, de 41% e, sem casca, de 46%. Para o mesmo período de tempo, a umidade da madeira atingiu valores inferiores na câmara, uma vez que as condições ambientais ajustadas permanecem constantes e não sofrem influências

como, por exemplo, de chuvas, que podem ocorrer em condições de campo. Na câmara de desumidificação não são observados picos de umidade, que caracterizam a ocorrência de chuvas e aumento da umidade das toras, possíveis de ocorrer em condições de secagem ao ar livre; isso mostra o controle que a câmara pode proporcionar.

Ao final de 120 dias na câmara de secagem, as toras com casca apresentaram umidade média de 33% e as toras sem casca, de 28%, valores próximos aos 30% adotados como condição desejável para que a madeira seja carbonizada (Mendes et al., 1982).

Nas Figuras 49 e 50 estão apresentadas, respectivamente, as curvas de secagem em câmara de desumidificação de toras com casca e sem casca de diferentes diâmetros do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante 120 dias. As toras de maiores e menores diâmetros localizavam-se na região inferior e central das pilhas.

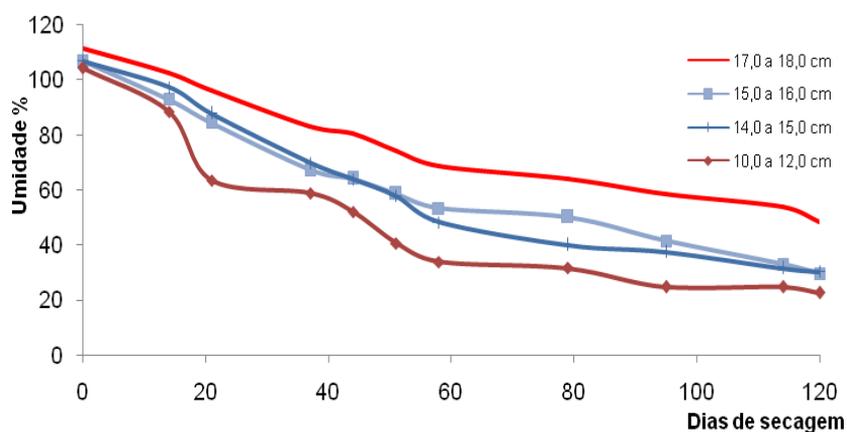


FIGURA 49 Curvas de secagem controlada em câmara de desumidificação de toras com casca de diferentes diâmetros do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante 120 dias.

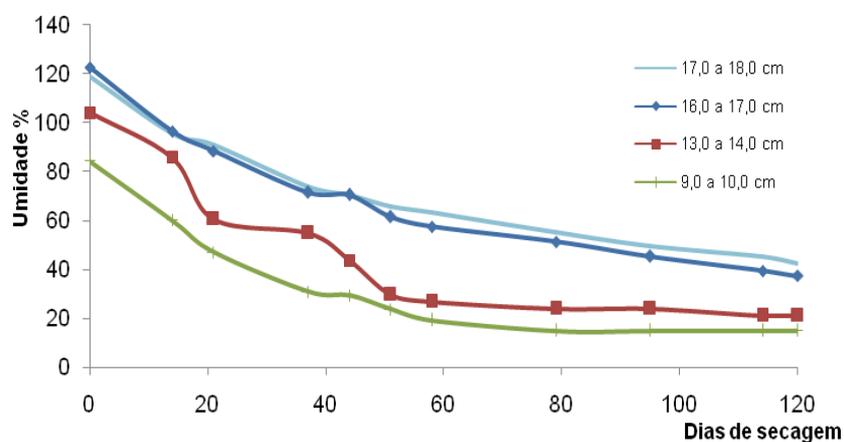


FIGURA 50 Curvas de secagem controlada em câmara de desumidificação de toras sem casca de diferentes diâmetros do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante 120 dias.

As maiores perdas de umidade ocorreram nas semanas iniciais de secagem. Após 120 dias de secagem, a umidade média das toras com casca de menores diâmetros variou de 25% a 30% e, para maior diâmetro, foi de 50%, com redução de umidade em relação à inicial de 75% a 80% e 63%, respectivamente. Já para as toras sem casca, a umidade das de menores diâmetros ficou entre 15% e 20% e, para maiores diâmetros, foi de 40%, com redução de 80% a 85% e de 76%, respectivamente.

As curvas de secagem definidas pelos dados de umidade dos sensores cravados em toras com casca e sem casca estão representadas na Figura 51.

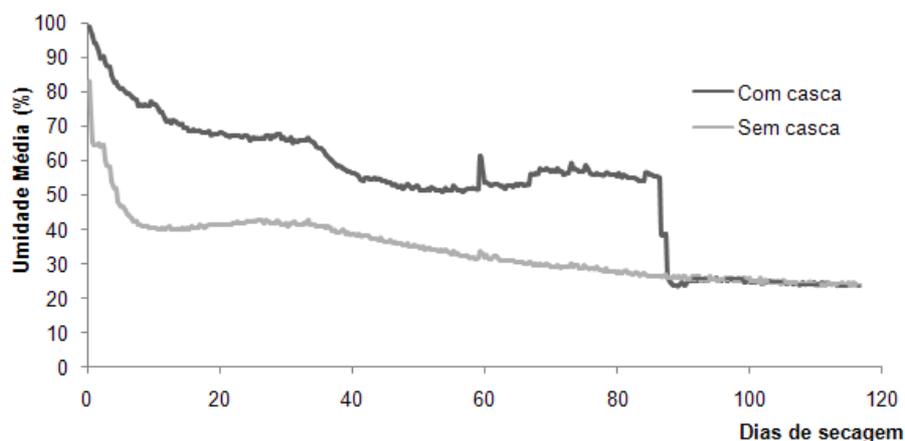


FIGURA 51 Curvas de secagem definidas por sensores cravados em toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, durante 120 dias, em câmara de desumidificação.

Analisando-se o gráfico da Figura 51, observa-se que o comportamento da secagem de toras com casca e sem casca com base na umidade dos sensores foi relativamente diferente das curvas de secagem determinadas pela pesagem de toras controladoras de umidade (Figura 48) e em condições reais de campo (Figura 42).

Como esperado, nas três semanas iniciais de secagem, ocorreu a maior perda de umidade. Após três semanas, os sensores indicaram umidade média para as toras com casca de 67% e, para as sem casca, de 41%. Pela pesagem das mesmas toras, a umidade média foi de 83% para toras com casca e de 70% para toras sem casca. Em condições reais de campo (Paraopeba), a umidade média de toras com casca do mesmo clone foi de 80% e de 72% para toras sem casca.

Os sensores não foram utilizados como referência para acompanhamento da perda de umidade da madeira neste experimento. De acordo com Ponce & Watai (1985), os sensores de umidade são menos precisos, principalmente se a

umidade estiver acima do PSF. Como os sensores se baseiam, geralmente, na resistência elétrica, a partir deste ponto, com o aumento da umidade da madeira, a variação de resistência torna-se praticamente imperceptível, proporcionando valores de umidade inexatos.

A queda brusca de umidade das toras com casca (Figura 51) deveu-se à retirada dos sensores cravados nas toras no início da secagem e sua colocação em toras diferentes. Como o tempo de secagem era longo e a umidade das toras com casca não estava variando, os sensores foram instalados em toras diferentes das iniciais.

O resultado para o cálculo da massa total de água removida após 120 dias de secagem foi igual a 928,98 kg, partindo-se de uma umidade média inicial de 112% até a umidade média final de 30%. O volume de água coletado durante 120 dias de secagem foi igual a 961,16 litros. Pode-se dizer que os resultados obtidos pelo cálculo de massa de água removida e o volume coletado foram bem próximos. Embora o volume de água coletado sofra influências internas e externas e forneça apenas uma ideia do total de água que é removido durante a secagem, o método proporcionou bons resultados em relação ao resultado obtido pela fórmula de massa de água removida.

Os gráficos das Figuras 52 e 53 apresentam o volume acumulado de água coletada em função do tempo de secagem e o volume de água coletado por semana de secagem.

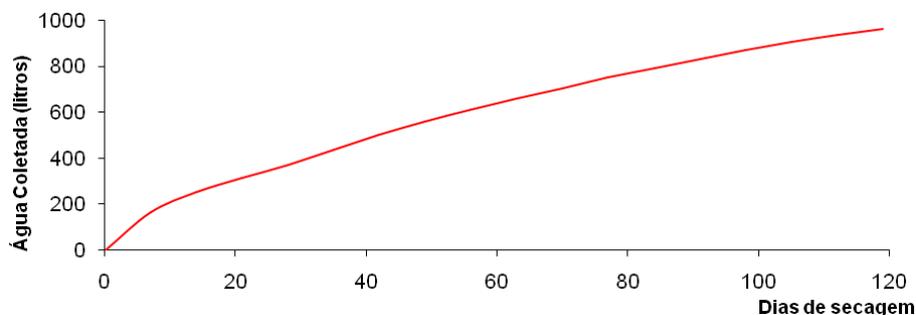


FIGURA 52 Volume acumulado de água durante 120 dias de secagem em câmara de desumidificação de toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01.

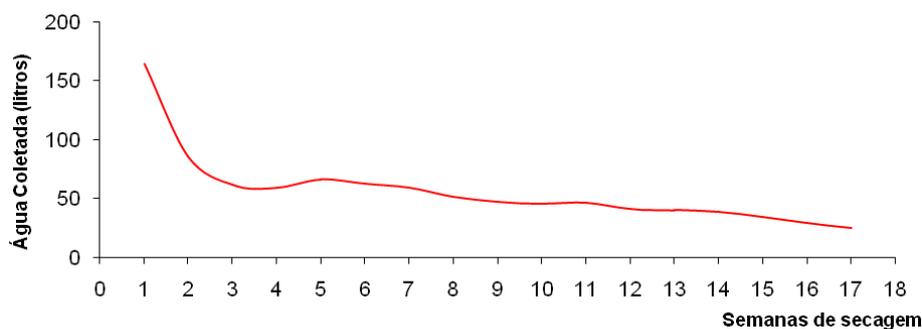


FIGURA 53 Volume de água coletado por semana de secagem em câmara de desumidificação de toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01.

A partir dos gráficos das Figuras 52 e 53, pode-se observar que a maior perda de umidade ocorreu na primeira semana de secagem, totalizando 164 litros de água coletados. Na segunda semana de secagem, a taxa de secagem foi reduzida praticamente à metade, coletando-se 86 litros de água. A partir da terceira semana de secagem, a perda de água torna-se mais ou menos constante. O volume de água coletado nesta semana foi reduzido a 60 litros. Na última semana, o volume de água coletado foi de 25 litros e o total acumulado para os 120 dias de

secagem foi de 961 litros. O mesmo fato foi observado por Ferreira et al. (1983). Avaliando a variação da umidade de toras de eucalipto empilhadas, estes autores concluíram que maiores taxas de secagem ocorrem na primeira semana após o abate, tendendo a valores constantes a partir da terceira semana de secagem.

Na Tabela 18A estão os resultados de rachadura de topo para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 após 120 dias em secagem controlada em câmara de desumidificação. As rachaduras de topo apareceram nas toras após nove dias de secagem, tempo semelhante ao relatado por Hillis & Brown (1984), citados por Lima (2005). As maiores rachaduras foram observadas nas toras de maior diâmetro, estando de acordo com as observações de Purnell (1988), citado por Lima et al. (2002). Há uma tendência de redução dessas rachaduras com a redução do diâmetro das toras para o gênero *Eucalyptus*. As rachaduras aumentaram consideravelmente após 120 dias de secagem e foram mais pronunciadas nas toras secas em condições controladas que secando ao ar livre. Na Tabela 9 são apresentados os resultados médios das rachaduras nas toras, no início e no fim da secagem.

TABELA 9 Rachaduras de topo de toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 no início e no fim da secagem em câmara de desumidificação.

Rachadura de topo	Início da secagem		Fim da secagem	
	Toras sem casca	Toras com casca	Toras sem casca	Toras com casca
Máxima (mm)	5,85	3,86	15,04	14,31
Mínima (mm)	1,04	0,84	1,15	2,46
Média (mm)	4,22	2,02	9,51	8,59
CV (%)	28,0	41,3	38,0	31,4

A Equação 15 foi ajustada para estimativa da umidade de toras com casca e sem casca do clone VM01, em função do tempo de secagem.

$$\ln u = 5,34819 - (0,00377156 \times \text{dias}) - (0,307195 \times \ln \text{dias}) \quad (15)$$

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indicou que 89% das variações de umidade foram explicadas pela Equação 15 e o erro padrão residual ( $S_{yx}$ ) indicou que os valores reais de umidade variaram 6,3% em relação aos valores estimados. O erro padrão residual percentual foi de 10,9%.

O comportamento da umidade real em função da umidade estimada e a distribuição dos resíduos deste ajuste para toras com casca e sem casca do clone VM01 estão representados nos gráficos das Figuras 54 e 55.

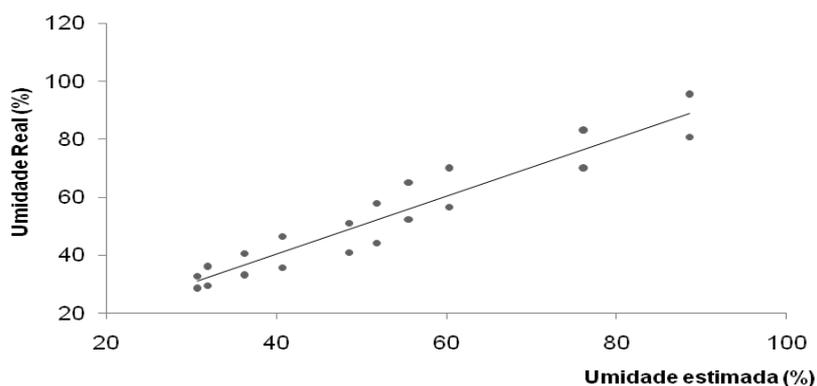


FIGURA 54 Comportamento da umidade real em função da umidade estimada para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, em câmara de desumidificação.

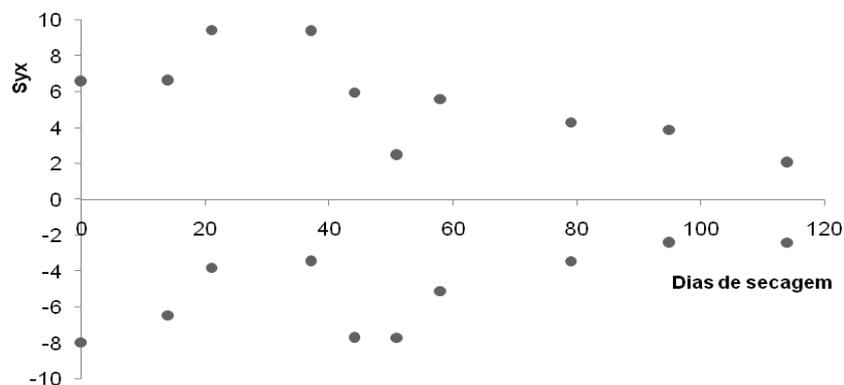


FIGURA 55 Distribuição dos resíduos em relação ao tempo de secagem para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, em câmara de desumidificação.

De forma geral, o ajuste foi bom. Utilizando-se transformações ou outro método de ajuste (ex: mínimos quadrados ordinários), melhores estimativas podem ser obtidas.

#### 4.2.2 Secagem controlada do clone de *E. urophylla* (MN463)

Na Tabela 10 são apresentadas as médias de volume, umidade inicial, densidade básica, máximo teor de umidade e diâmetro para toras do clone de *E. urophylla* MN463.

TABELA 10 Médias de volume, umidade inicial, densidade, máximo teor de umidade (MTU) e diâmetro das toras do clone de *E. urophylla* MN463, em câmara de desumidificação.

Variáveis	MN463 sem casca	MN463 com casca
Volume (m <sup>3</sup> )	0,2736	0,3963
Umidade inicial (%)	128	131
Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,481	0,483
MTU (%)	143	142
Diâmetro médio±desvio padrão	12,7±3,4	14,5±3,3

Os valores de densidade básica para o clone MN463 estão próximos dos resultados encontrados para os outros experimentos realizados com o mesmo clone e para os valores encontrados por Evangelista (2007), que variaram de 0,450 a 0,500 g/cm<sup>3</sup>. De forma geral, a umidade inicial e o máximo teor de umidade também foram semelhantes aos encontrados para o mesmo clone, nos experimentos anteriores.

As curvas de secagem controlada em câmara de desumidificação com base na pesagem de toras com casca e sem casca durante 120 dias estão representadas no gráfico da Figura 56.

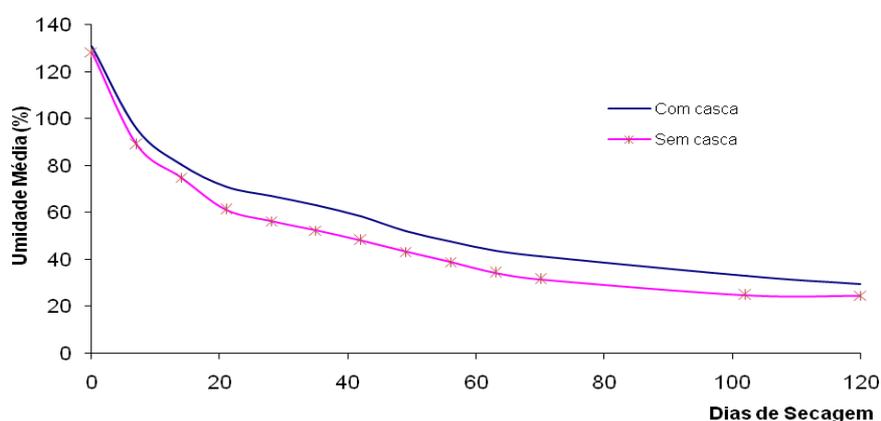


FIGURA 56 Curvas de secagem controlada em câmara de desumidificação de toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 120 dias.

A perda de umidade das toras com casca e sem casca em câmara de desumidificação (Figura 56) variou em magnitude em relação à perda de umidade das toras secando ao ar livre, em Paraopeba (Figura 40).

Nas duas primeiras semanas de secagem ocorreu a maior perda de umidade. As toras com casca sofreram redução de 50% de umidade e a redução

para as toras sem casca foi de 53%. Para o mesmo clone secando nas condições ambientais reais de Paraopeba, as perdas nas duas semanas iniciais foram de 34% para toras sem casca e 25% para com casca. A maior perda de umidade já era esperada na câmara, uma vez que as condições de umidade relativa e temperatura no seu interior se mantiveram constantes, o que, em condição real de campo, não ocorre. A maior perda de umidade ocorreu para as toras sem casca nas três semanas iniciais de secagem. Posteriormente, a redução de umidade para toras com casca e sem casca ocorreu, basicamente, nas mesmas proporções. Após oitenta dias de secagem controlada em câmara, a umidade média das toras com casca foi de 39% e das sem casca foi de 33%, valores acima dos 30% adotados como parâmetro para madeira ser carbonizada (Valente & Lelles, 1986). Em condições reais de campo, o mesmo clone, após oitenta dias, apresentou umidade média com casca de 50% e sem casca, de 54%.

Passados 120 dias de secagem em câmara, as toras com casca apresentaram umidade média de 30% e as sem casca, 25%.

Nos gráficos das Figuras 57e 58 estão representadas as curvas de secagem em câmara de desumidificação de toras com casca e sem casca de diferentes diâmetros do clone de *E. urophylla* MN463, durante 120 dias.

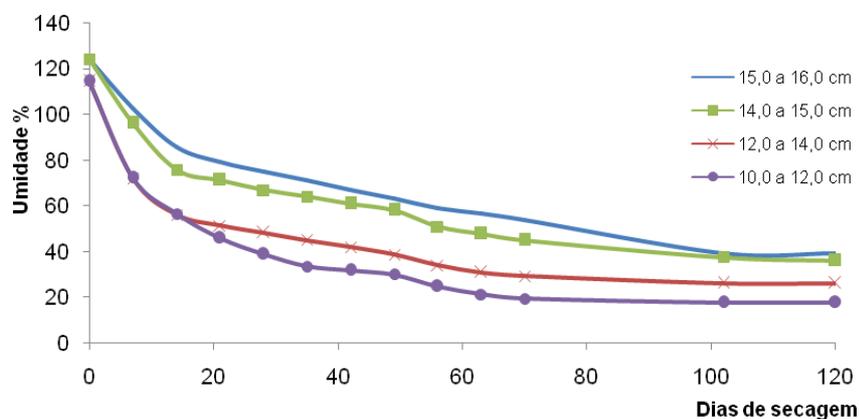


FIGURA 57 Curvas de secagem controlada em câmara de desumidificação de toras com casca de diferentes diâmetros do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 120 dias.

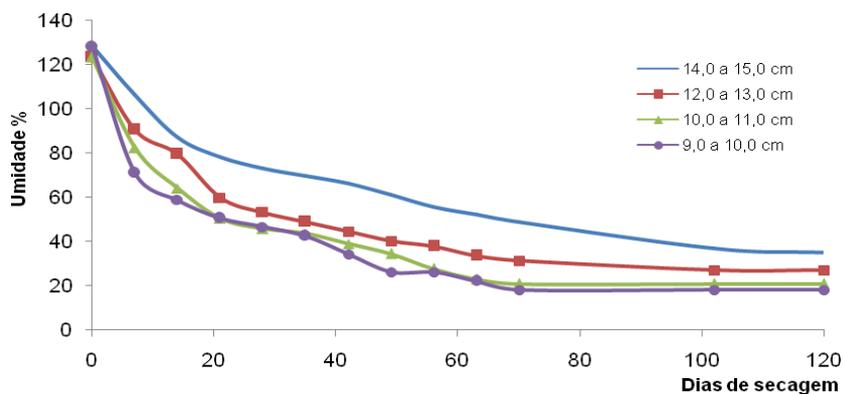


FIGURA 58 Curvas de secagem controlada em câmara de desumidificação de toras sem casca de diferentes diâmetros do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 120 dias.

As toras apresentaram comportamento semelhante de perda de umidade para diferentes diâmetros das toras, mas em proporções diferentes.

As maiores perdas de umidade ocorreram nas semanas iniciais de secagem. Após 120 dias de secagem, a umidade média das toras com casca de

menores diâmetros variou de 17% a 25% e, para maiores diâmetros, foi de 35% a 40%, com redução de umidade em relação à inicial de 90% a 95% e 85%, respectivamente. Já para as toras sem casca, a umidade das de menores diâmetros ficou entre 15% e 20% e, para maiores diâmetros, foi de 27% a 35%, com redução de 105% e 95%, respectivamente.

No gráfico da Figura 59 estão representadas as curvas definidas pelos sensores de umidade cravados em toras com casca e sem casca.

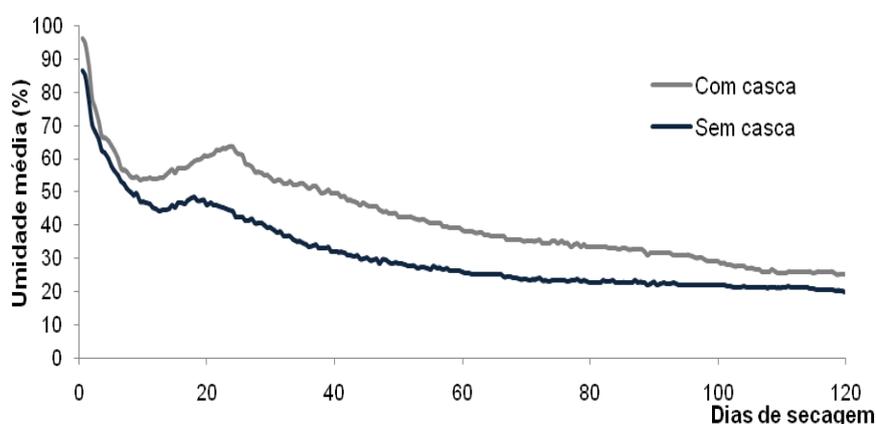


FIGURA 59 Curvas de secagem definidas por sensores de umidade cravados em toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, durante 120 dias, em câmara de desumidificação.

As curvas de secagem definidas pelos sensores de toras com casca e sem casca do clone MN463 (Figura 59) indicaram valores inferiores de umidade para um mesmo intervalo de tempo, quando comparada às curvas determinadas pela pesagem de toras controladoras de umidade (Figura 56) e em condições reais de campo (Figura 40). Observou-se, nas curvas determinadas pelos sensores, que a maior perda de umidade ocorreu nas três semanas iniciais, como já era esperado. Após três semanas de secagem, os sensores indicaram umidade média das toras sem casca de 46% e de 62% das com casca. Pela pesagem, os resultados sem casca e com casca foram 61% e 71%, respectivamente. Em condições reais de

campo (secagem ao ar livre em Paraopeba), o mesmo clone apresentou umidade média de 88% (sem casca) e 93% (com casca).

Após 120 dias, os sensores indicaram, para toras com casca, umidade média de 25% e, para as sem casca, de 20%.

O resultado para massa total de água removida (kg) após 120 dias de secagem foi igual a 965,96 kg, partindo-se de uma umidade média inicial de 130% até a umidade média final de 30%. O volume de água coletado durante 120 dias de secagem foi igual a 893,10 litros. Os resultados obtidos pela fórmula de massa de água removida e o volume coletado não foram tão próximos como os encontrados para o clone VM01. Deduz-se que, maior evaporação de água da caixa e menor umidade relativa do ar podem ter interferido no volume de água coletado, fornecendo um valor inferior ao obtido pela fórmula de massa de água removida.

O volume acumulado de água coletada em função do tempo de secagem e o volume de água coletado por semana de secagem estão apresentados nas Figuras 60 e 61.

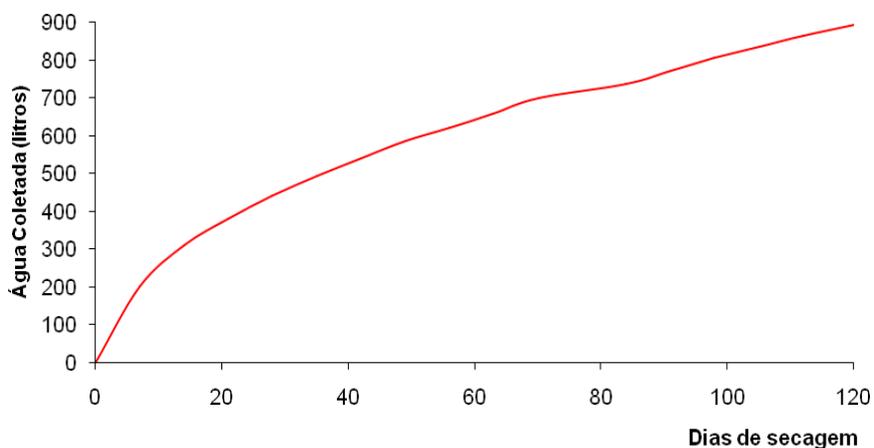


FIGURA 60 Volume acumulado de água, durante 120 dias de secagem em câmara de desumidificação, de toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463.

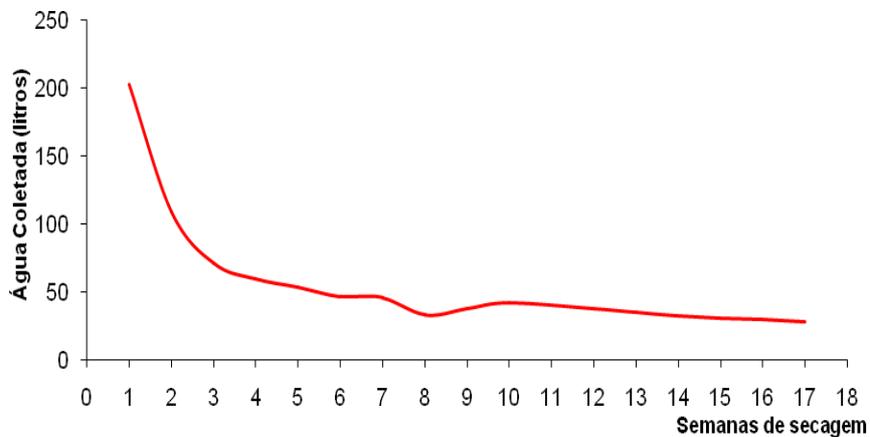


FIGURA 61 Volume de água coletado, por semana de secagem em câmara de desumidificação, de toras com casca e sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463.

A maior perda de umidade ocorreu na primeira semana de secagem, totalizando 202 litros de água coletados. Na segunda semana de secagem, a taxa

de secagem foi significativamente reduzida, coletando-se 108 litros de água. O volume de água coletado na terceira semana foi reduzido a 71 litros e, a partir daí, reduziu gradativamente (30 a 40 litros por semana). Na última semana, o volume de água coletado foi de 28 litros e o total acumulado para os 120 dias de secagem foi de 893 litros.

Apesar da maior umidade inicial do clone MN463, comparando-se sua perda de água em secagem controlada com a do clone VM01, observou-se que o primeiro perde maior quantidade de água nas semanas iniciais de secagem. Tal fato pode ser atribuído à menor densidade do clone MN463 e, possivelmente, aos caracteres anatômicos, que carecem ser estudados.

Os resultados de rachadura de topo no início e no fim da secagem em câmara de desumidificação de toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* MN463 estão na Tabela 20A. As rachaduras de topo apareceram nas toras após 10 dias de secagem. As maiores rachaduras foram observadas nas toras de maior diâmetro e aumentaram consideravelmente após 120 dias de secagem, confirmando a afirmação de Barros (2006): rachaduras aumentam significativamente após 60 dias de secagem. Na Tabela 11 são apresentados os resultados médios das rachaduras.

TABELA 11 Rachaduras de topo de toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* MN463 no início e no fim da secagem em câmara de desumidificação.

Rachadura de topo	Início da secagem		Fim da secagem	
	Toras sem casca	Toras com casca	Toras sem casca	Toras com casca
Máxima (mm)	11,89	8,79	13,94	13,67
Mínima (mm)	0,78	1,96	1,17	0,89
Média (mm)	5,86	5,50	7,22	7,18
CV (%)	45,2	35,6	44,7	40,0

A estimativa da umidade de toras com casca e sem casca do clone MN463 em função do tempo de secagem é apresentada na Equação 16:

$$\ln u = 5,01609 - (0,00617455 \times \text{dias}) - (0,222239 \times \ln \text{ dias}) \quad (16)$$

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indicou que 92% das variações de umidade foram explicadas pela Equação 16. O erro padrão residual (Syx) foi de 5,1% e o erro padrão residual percentual, de 8,7%. O comportamento da umidade real em função da umidade estimada e a distribuição dos resíduos para toras com casca e sem casca do clone MN463 estão representados nos gráficos das Figuras 62 e 63.

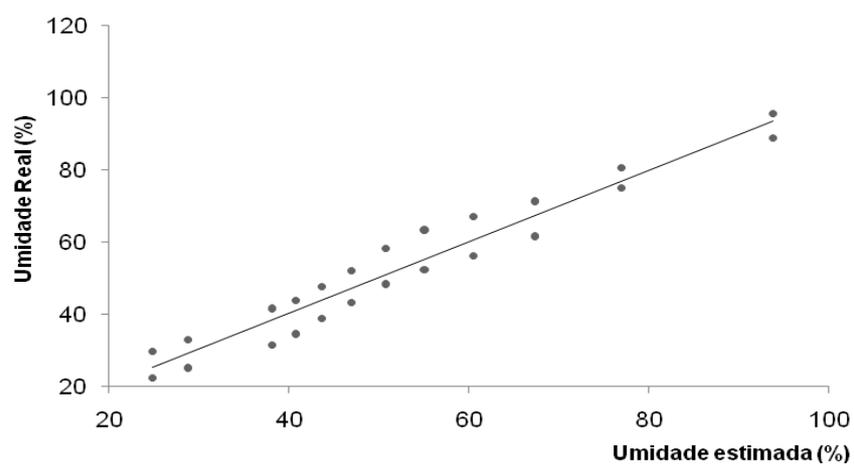


FIGURA 62 Comportamento da umidade real em função da umidade estimada para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* MN463 em câmara de desumidificação.

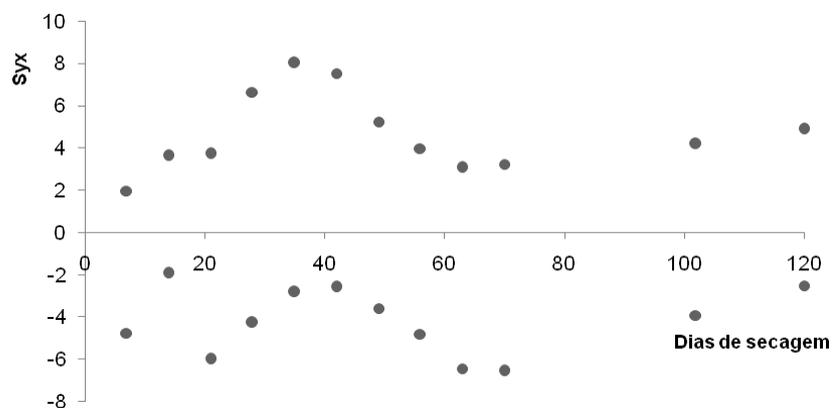


FIGURA 63 Distribuição dos resíduos em relação ao tempo de secagem para toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* MN463 em câmara de desumidificação.

A distribuição dos resíduos foi dispersa. Alterando-se o método de ajuste, podem-se conseguir melhores estimativas de umidade e distribuição dos erros.

### 4.3 Avaliação da variação diametral da umidade nas toras por baguetas

#### 4.3.1 Variação diametral da umidade em toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, após 80 dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG

Os resultados de umidade para uma bagueta retirada no centro de uma tora com casca de comprimento 1,88 m, após 80 dias de secagem ao ar livre, estão representados no gráfico da Figura 64. A tora apresentou diâmetros de 14,8 cm e 14,2 cm em suas extremidades e estava localizada na região central da pilha de secagem.

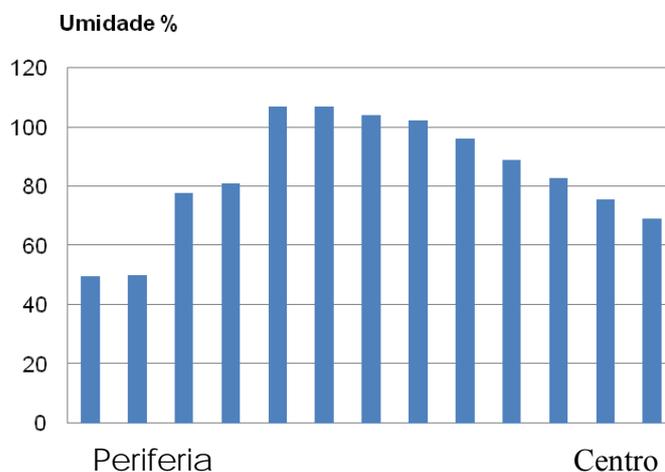


FIGURA 64 Variação diametral da umidade em bagueta retirada no centro de uma tora com casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, após oitenta dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG.

Observa-se, no gráfico da Figura 64, que a região central é a mais úmida. Enquanto as regiões periféricas apresentam umidade de 50 a 70%, as mais internas estão acima de 100%, o que caracteriza uma distribuição desuniforme da umidade através do diâmetro. O gradiente de umidade entre as regiões úmidas e secas atingiu o valor máximo de 58%.

Santos (2002) afirma que a madeira de eucalipto tem como característica uma variação acentuada nos padrões de distribuição da umidade no sentido radial do caule. Oliveira et al. (2005) encontraram, para *Eucalyptus urophylla* de densidade básica semelhante à do clone em estudo, gradiente de 80%. O gradiente de umidade entre o centro e a casca exerce forte influência na carbonização. Quando o centro da peça estiver muito úmido e a periferia seca, toda a termodinâmica do processo é afetada. Nos fornos, as zonas mais externas da tora sofrerão aquecimento, enquanto as regiões mais internas não apresentarão a mesma taxa de aquecimento. É importante ressaltar que, quanto

mais úmida estiver a madeira, maior a energia necessária para seu aquecimento inicial e maior será o tempo para a madeira ser carbonizada.

A umidade média ponderada calculada para a bagueta foi de 79% e a umidade da tora obtida pela pesagem, no dia em que foi retirada a bagueta, foi igual a 74%. Apesar dos valores serem próximos, pode-se observar a grande dispersão de umidade em diferentes pontos através do diâmetro.

Os valores de umidade para uma bagueta retirada no centro de uma tora sem casca de 1,88 m de comprimento estão apresentados na Figura 65. A tora sem casca apresentou diâmetros de 14,2 cm e 12,9 cm e estava localizada na região inferior da pilha de secagem.

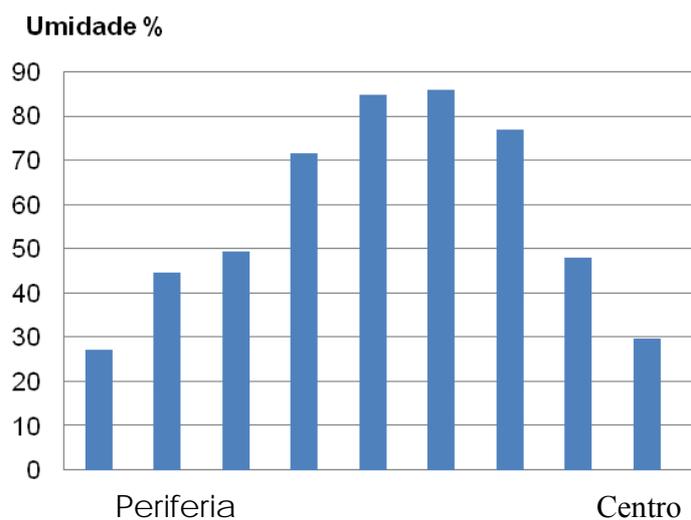


FIGURA 65 Variação diametral da umidade em bagueta retirada no centro de uma tora sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, após oitenta dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG.

Observa-se, no gráfico da Figura 65, que a região central apresentou valores de umidade bem superiores às regiões periféricas. As regiões periféricas apresentaram umidade de 25% a 45% e as mais internas, relativamente úmidas,

apresentaram umidade acima de 70%, atingindo valor máximo de 85%. O gradiente de umidade entre a região mais úmida e seca atingiu o 62%, valor próximo a 60%, encontrado por Carmo (1996) para *E. grandis* com densidade semelhante à do clone em estudo.

A umidade média calculada para a bagueta foi de 53%, valor próximo ao encontrado por meio da pesagem da tora, que foi de 51%.

Comparando-se a região mais interna da tora com casca (umidade 105%) e da tora sem casca (85%), observa-se que a primeira apresentou maior teor de umidade. As regiões periféricas da tora com casca também foram mais úmidas.

#### **4.3.2 Variação diametral da umidade em toras com casca e sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, após sessenta dias de secagem controlada em câmara de desumidificação da UFPA**

Os resultados da variação diametral da umidade para uma bagueta retirada de uma tora do clone VM01 sem casca com comprimento de 1,88 m, após 60 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação, estão apresentados na Figura 66. A tora apresentou diâmetros de 14,0 cm e 13,5 cm e estava localizada na região central da pilha de secagem.

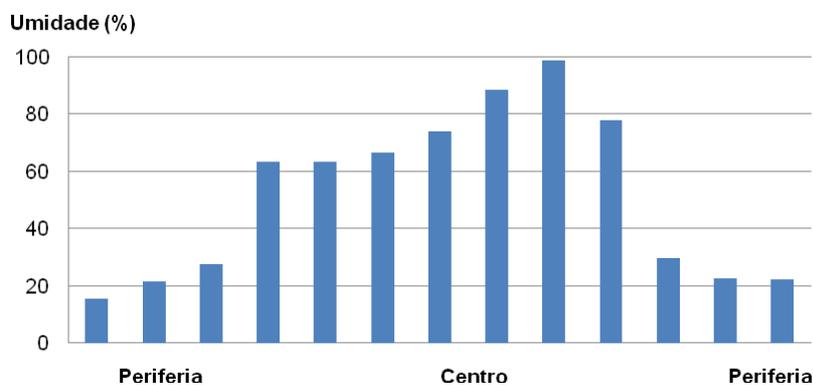


FIGURA 66 Variação diametral da umidade em bagueta retirada no centro de tora sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, após 60 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação.

Pelo gráfico da Figura 66 é possível observar a distribuição de umidade entre centro e periferia bem distinta. As regiões periféricas apresentaram umidade de 15% a 30% e as mais internas, umidade de 70% a 100%. O gradiente de umidade entre a região mais úmida e a mais seca atingiu 83%, valor semelhante aos 80% encontrados por Oliveira et al. (2005) para *Eucalyptus urophylla* com densidade próxima à do clone em estudo ( $0,540 \text{ g/cm}^3$ ). A umidade média calculada para a bagueta foi de 49%. Pela pesagem, o resultado encontrado foi de 43%.

Os resultados de umidade para uma bagueta no centro de uma tora com casca do clone VM01 estão representados na Figura 67. A tora apresentou diâmetros de 12,6 e 11,7 cm em seus extremos e localizava-se na região inferior da pilha de secagem.

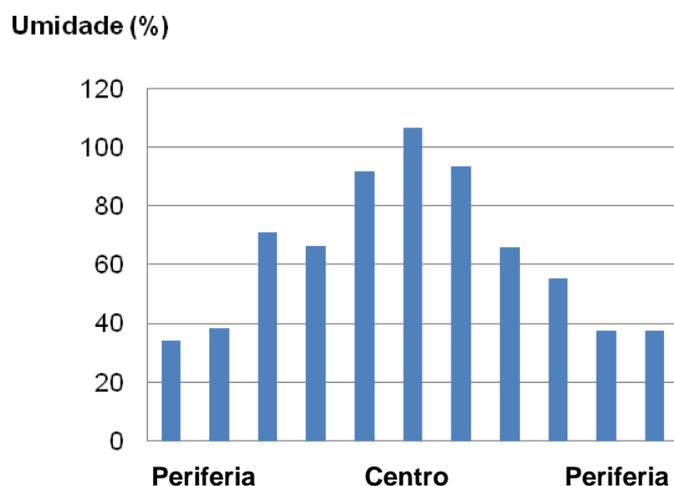


FIGURA 67 Variação diametral da umidade em bagueta retirada no centro de tora com casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, após 60 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação.

Analisando-se o gráfico da Figura 67 é possível observar que, entre o centro e a periferia, os valores de umidade foram bem distintos. A região mais úmida apresentou umidade de 106%, enquanto a região mais seca apresentou 34%. O gradiente de umidade entre a região mais úmida e a mais seca atingiu 72%, próximo ao valor encontrado por Oliveira et al. (2005), que foi de 80%. A umidade média calculada para a bagueta foi de 61%. Pela pesagem, o resultado encontrado foi de 54%.

#### 4.3.3 Variação diametral da umidade em toras sem casca do clone de *E. urophylla* MN463, após noventa dias de secagem ao ar livre, em Paraopeba, MG

No gráfico da Figura 68 estão os resultados de umidade para uma bagueta retirada no centro de uma tora sem casca do clone MN463 localizada na região superior da pilha, com diâmetros de 9,0 cm e 10,0 cm em suas extremidades e 3,60 m de comprimento, após 90 dias de secagem ao ar livre, em Paraopeba.

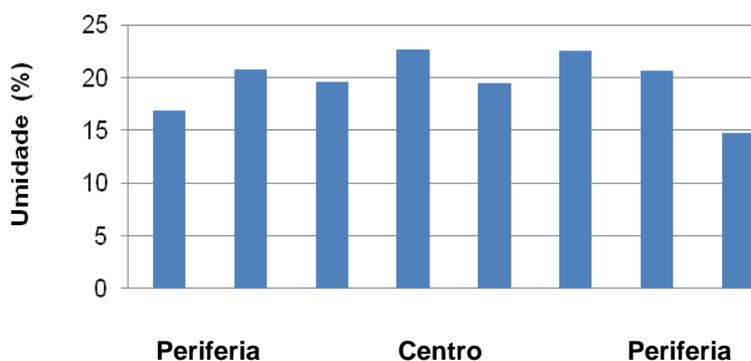


FIGURA 68 Variação diametral da umidade em uma tora sem casca do clone de *E. urophylla* MN463, localizada na região superior de uma pilha de secagem ao ar livre, durante 90 dias, em Paraopeba, MG.

A tora a que se refere o gráfico da Figura 68, por possuir menores diâmetros e estar localizada na região superior da pilha (onde a taxa de secagem é maior), apresentou valores próximos de umidade para as regiões centrais, intermediárias e periféricas, variando de 15% a 23% (gradiente de 8%), com uma distribuição uniforme da umidade. A umidade média da bagueta retirada da tora foi de 19%.

No gráfico da Figura 69 observam-se os resultados de umidade para uma bagueta retirada no centro de uma tora de diâmetros 10,0 cm e 11,0 cm em suas extremidades e 3,60 m de comprimento, localizada na região central da pilha.

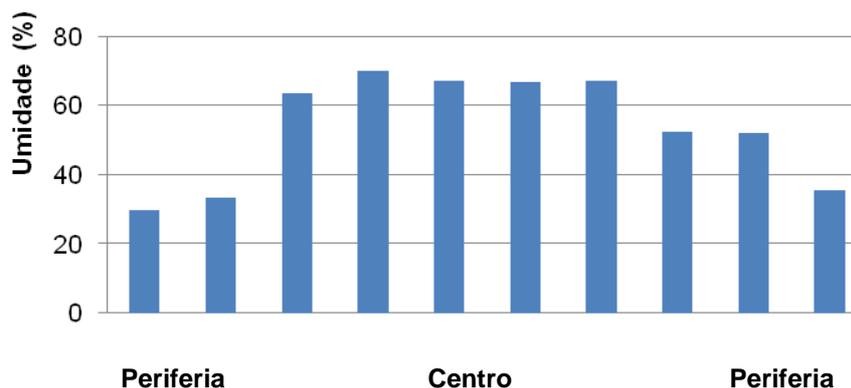


FIGURA 69 Variação diametral da umidade em uma tora sem casca do clone de *E. urophylla* MN463, localizada na região central da pilha, após 90 dias de secagem ao ar livre, em Paraopeba, MG.

A partir do gráfico da Figura 69, observa-se que as regiões intermediárias e centrais foram as mais úmidas, variando de 60% a 70%. A umidade reduziu do centro para a periferia, tendo o gradiente de umidade máximo encontrado sido de 40%, resultado inferior ao encontrado por Oliveira et al. (2005) para *E. urophylla*, que foi de 80%. A umidade média da bagueta retirada da tora foi de 54%.

No gráfico da Figura 70 estão representados os resultados de umidade para baguetas retiradas no centro e ao longo de uma tora de diâmetros nas extremidades de 10,0 cm e 11,0 cm e 3,60 m de comprimento, localizada na região inferior da pilha de secagem.

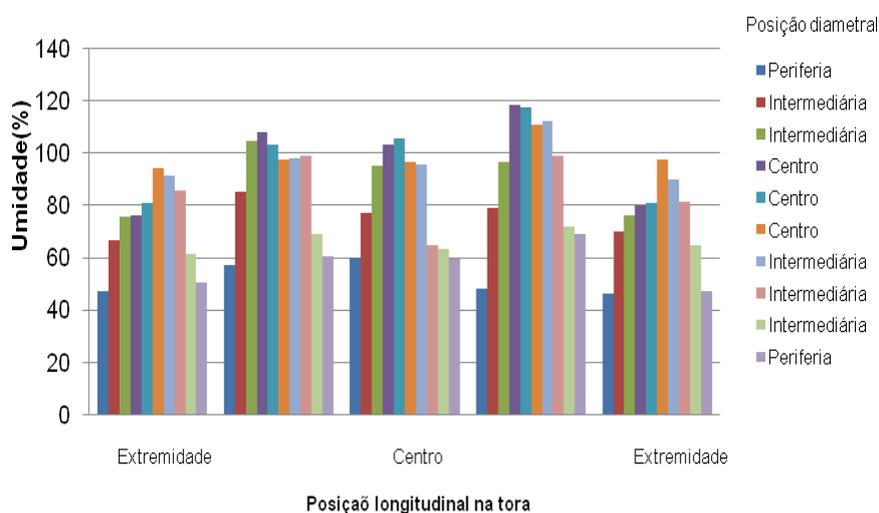


FIGURA 70 Variação diametral da umidade para diferentes posições ao longo de uma tora sem casca do clone de *E. urophylla* MN463, localizada na região inferior da pilha, após 90 dias de secagem ao ar livre, em Paraopeba, MG.

Analisando-se o gráfico da Figura 70, observa-se que a distribuição diametral da umidade segue um padrão ao longo de uma mesma tora. Os menores valores de umidade no sentido diametral foram encontrados próximos à periferia, uma vez que a secagem nas extremidades é mais facilitada; as regiões centrais foram as mais úmidas. O máximo valor encontrado de umidade foi 119%, para a região central de uma bagueta retirada próximo ao centro da tora.. O menor valor foi encontrado para a região periférica de uma bagueta retirada próxima à extremidade da tora (46%). No sentido diametral, a umidade próxima ao centro foi elevada para todas as baguetas (igual ou superior a 80%). Na região periférica a umidade variou de 45 a 70%.

A umidade média da bagueta retirada no centro da tora foi 81%. As umidades das baguetas retiradas entre o centro e as extremidades da tora foram

iguais a 90%. Para as baguetas retiradas próximo às extremidades da tora os resultados foram 75%.

Para as três toras avaliadas (Figuras 68, 69 e 70) observou-se que embora apresentem diâmetros próximos e mesmo comprimento, a posição na pilha afeta a secagem. Para um mesmo período de tempo, uma tora localizada na região inferior da pilha em contato direto com o solo apresenta valores de umidade superiores ao de toras nas regiões central e superior, necessitando de um maior tempo para atingir nível de umidade desejável.

#### 4.3.4 Variação diametral da umidade em uma tora sem casca do clone de *E. urophylla* MN463, após cinquenta dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG

No gráfico da Figura 71 estão representados os resultados de umidade para uma bagueta retirada no centro de uma tora sem casca do clone MN463, com 1,88 m de comprimento e diâmetros de 10,0 a 11,0 cm, após 50 dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG (região central da pilha secagem).

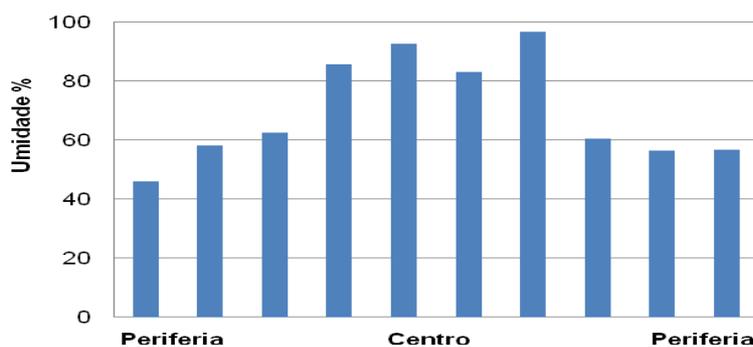


FIGURA 71 Variação diametral da umidade em uma tora sem casca do clone de *E. urophylla* MN463, após cinquenta dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG.

Observa-se, no gráfico da Figura 71, que a região mais úmida é próxima ao centro, variando de 80% a 95%. As regiões periféricas apresentaram umidade de 46% a 57%. O gradiente de umidade entre a região mais úmida e a mais seca foi de 50%, valor inferior ao encontrado para *Eucalyptus urophylla* na literatura, que varia de 70% a 80% (Carmo, 1996; Oliveira, 1998). Tal gradiente influencia fortemente a carbonização.

Segundo Carneiro (2007), a presença de água no centro da tora implica em uma redução do poder calorífico da madeira, em função da alta energia necessária para evaporá-la. A madeira não suficientemente seca ou com centro da peça úmido e a periferia seca afeta a termodinâmica da carbonização. As zonas mais externas da tora sofrerão aquecimento, enquanto as regiões mais internas não apresentarão a mesma taxa de aquecimento. A umidade média da bagueta foi de 69%. Pela pesagem, a tora apresentou umidade de 62%.

#### **4.4 Avaliação da distribuição radial e longitudinal da umidade em toras dos clones de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 e de *E. urophylla* MN463 em câmara de desumidificação**

##### **4.4.1 Distribuição radial e longitudinal da umidade em toras do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01**

Os valores de diâmetro das toras e posição na pilha podem ser observados na Tabela 17A. Nos gráficos das Figuras 72, 73, 74 e 75 estão representados os resultados médios para toras com casca e toras sem casca do clone VM01, após 120 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação, agrupados em duas classes diamétricas (maior que 12 cm e menor que 12 cm). As amostras radiais foram centrais, intermediárias e periféricas. Os discos longitudinais foram na base, no meio e no topo da tora (posições ao longo da tora).

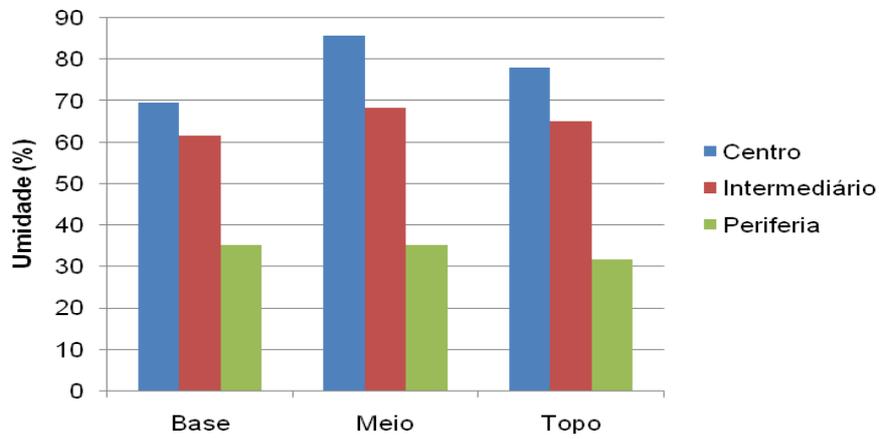


FIGURA 72 Variação radial e longitudinal da umidade de toras com casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 com diâmetro superior a 12,0 cm.

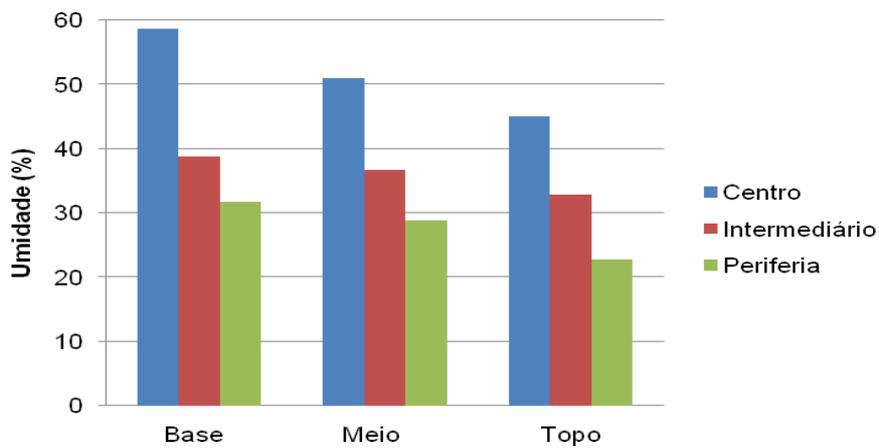


FIGURA 73 Variação radial e longitudinal da umidade em toras com casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 com diâmetro inferior a 12,0 cm.

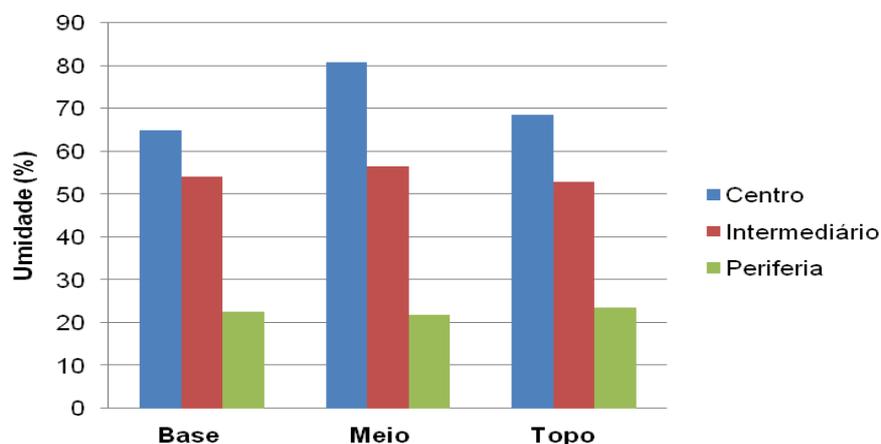


FIGURA 74 Variação radial e longitudinal da umidade em toras sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 com diâmetro superior a 12,0 cm.

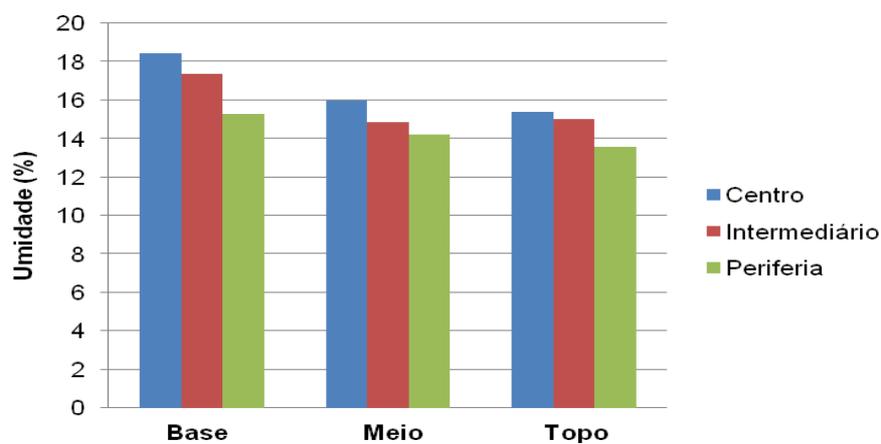


FIGURA 75 Variação radial e longitudinal da umidade em toras sem casca do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 com diâmetro inferior a 12,0 cm.

Analisando-se os gráficos das Figuras 72, 73, 74 e 75 observa-se que as toras com casca da maior classe diamétrica apresentaram valores de umidade superiores às demais após 120 dias de secagem, como esperado.

A maior umidade radial foi encontrada na região central (amostra radial), estando de acordo com o que Carmo (1996) e Oliveira et al. (2005) relataram.

A maior umidade longitudinal para as toras de maior diâmetro (com casca e sem casca) foi encontrada no meio da tora. Para as toras de menor diâmetro, a umidade não variou significativamente em relação à posição dentro de uma mesma tora.

Na Tabela 21A são apresentados os resultados para umidade da tora com base em três discos e amostras radiais e com base na massa das toras com casca e sem casca após 120 dias de secagem em câmara de desumidificação. Com base nos dados desta Tabela observa-se que, mesmo após 120 dias de secagem, algumas toras, principalmente as de maior diâmetro, apresentaram umidade elevada (pelo método dos discos e seções radiais). As toras sem casca apresentaram menores valores de umidade que as toras com casca. O máximo encontrado pelo método dos discos e amostras radiais para sem casca foi 58%, o mínimo foi de 14% e a média, 37%. Para as toras com casca, o máximo foi 75%, o mínimo foi 24% e a média, 47%.

Observou-se que, para uma mesmo caule, a umidade é maior nas toras de maiores diâmetros. Tal observação está de acordo com o que afirma Carmo (1996). Os teores de umidade mais elevados da madeira ocorrem em toras de diâmetro superior.

Os resultados pelo método de determinação de umidade pelos discos e amostras radiais foram diferentes dos encontrados pelo método da pesagem. Para a maioria das toras, a determinação pelo método dos discos e seções radiais resultou em valores de umidade superiores aos encontrados pelo método da pesagem.

Acredita-se que o método dos três discos e amostras radiais forneça melhores determinações de umidade, pois faz um mapeamento detalhado da

variação de umidade na tora, enquanto no método da pesagem das toras a determinação envolve apenas a retirada de discos nas extremidades das toras.

#### 4.4.2 Distribuição radial e longitudinal da umidade em toras do clone de *E. urophylla* MN463

Na Tabela 19A estão os valores de diâmetro das toras e posição nas pilhas.

Os resultados médios para toras com casca e toras sem casca do clone de *E. urophylla* MN 463, após 120 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação, separados em duas classes diamétricas (maior que 12 cm e menor que 12 cm), estão representados nos gráficos das Figuras 76, 77, 78 e 79.

As amostras radiais foram centrais, intermediárias e periféricas e as longitudinais foram na base, meio e topo da tora.

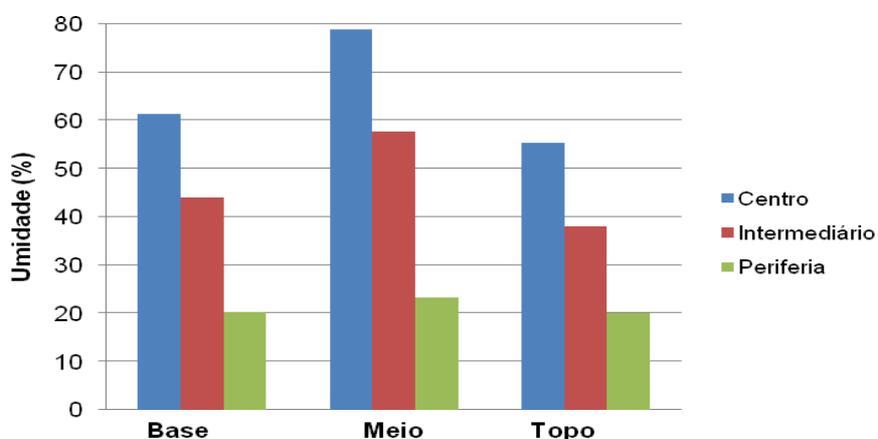


FIGURA 76 Variação radial e longitudinal da umidade em toras com casca do clone de *E. urophylla* MN463 com diâmetro superior a 12,0 cm, após 120 dias em câmara de desumidificação.

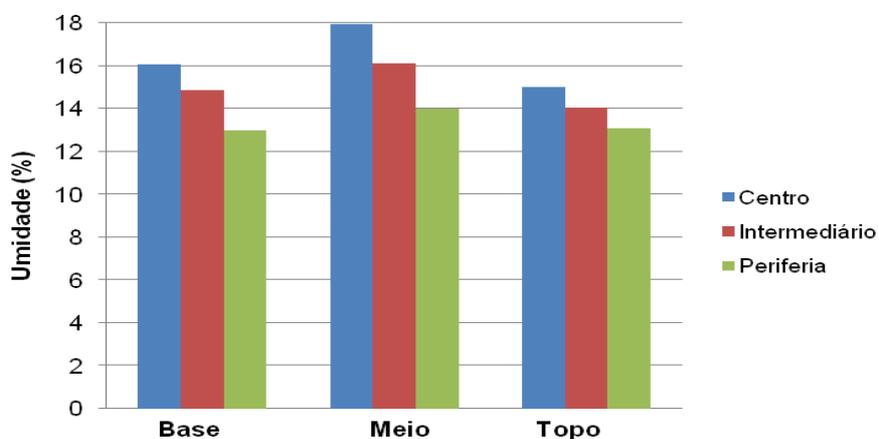


FIGURA 77 Variação radial e longitudinal da umidade em toras com casca do clone MN463 com diâmetro inferior a 12,0 cm, após 120 dias em câmara de desumidificação.

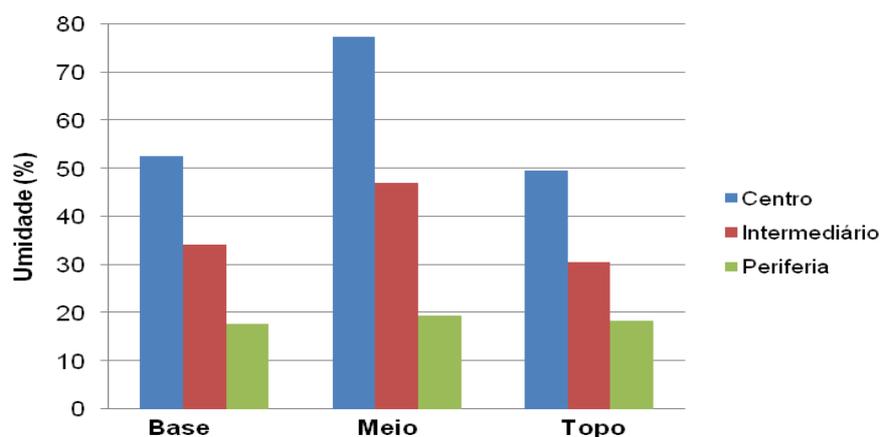


FIGURA 78 Variação radial e longitudinal da umidade em toras sem casca do clone MN463 com diâmetro superior a 12,0 cm, após 120 dias em câmara de desumidificação.

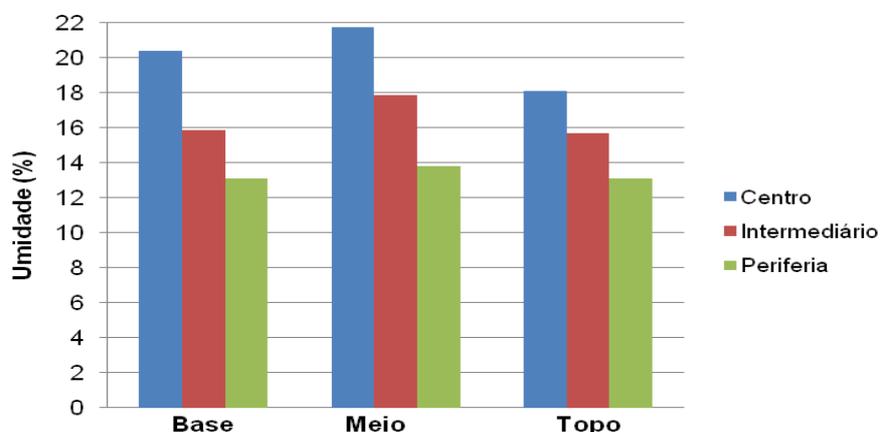


FIGURA 79 Variação radial e longitudinal da umidade em toras sem casca do clone MN463 com diâmetro inferior a 12,0 cm, após 120 dias em câmara de desumidificação.

As toras com casca com diâmetro superior a 12,0 cm apresentaram valores de umidade superiores aos das demais toras, após 120 dias de secagem.

Tanto para as toras com casca como para as sem casca, a umidade para a classe diamétrica superior a 12,0 cm foi superior à classe inferior a 12,0 cm, estando de acordo com a literatura.

A maior umidade radial foi encontrada para a amostra próxima ao centro. A maior umidade em relação à posição longitudinal nas toras de maior diâmetro (com casca e sem casca) foi encontrada no meio da tora. Para as toras de menor diâmetro, essa variação de umidade foi pequena dentro de uma mesma tora.

Os resultados de umidade das toras baseados em três discos e amostras radiais e também pela massa das toras com casca e sem casca após 120 dias de secagem em câmara de desumidificação estão descritos na Tabela 22A. Pelo método dos discos e amostras radiais observa-se que, após 120 dias de secagem, algumas toras, principalmente as de maior diâmetro, apresentaram umidades superiores às toras sem casca.

A umidade máxima encontrada pelo método dos discos e amostras radiais para toras sem casca foi de 42%, a mínima de 11% e a média, 23%. Para as toras com casca, a máxima foi de 60%, a mínima de 14% e a média, 30%.

O clone MN463, após 120 dias de secagem, apresentou valores de umidade inferiores aos encontrados para o clone VM01(item 4.4.1). A maior umidade foi observada nas toras de maiores diâmetros. Os resultados pelo método de determinação de umidade pelos discos e amostras radiais foram diferentes dos encontrados pelo método da pesagem. Para a maioria das toras, a determinação pelo método dos discos e seções radiais resultou em menores valores de umidade. Pode-se dizer que o método dos três discos e amostras radiais proporciona melhores determinações de umidade, por meio de um mapeamento detalhado da variação de umidade na tora.

## 5 CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que:

- ❖ As maiores taxas de secagem ocorreram nas três semanas iniciais, reduzindo-se após este período para os clones avaliados.
- ❖ A presença da casca influenciou e retardou a secagem das toras.
- ❖ O tempo médio de secagem ao ar livre em Lavras, MG para as toras do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (VM01) atingirem 50% de umidade foi de 200 dias; as toras com casca alcançaram 57% de umidade e as toras sem casca 43% após o mesmo tempo.
- ❖ As toras do clone de *E. urophylla* (MN463) necessitaram de 90 dias de secagem ao ar livre em Lavras, MG para atingirem uma umidade média de 57%. Após este período, a umidade das toras com casca foi de 63% e das toras sem casca 51%.
- ❖ O tempo médio de secagem ao ar livre em Paraopeba, MG para as toras do clone MN463 alcançarem 52% de umidade foi de 80 dias. A umidade das toras com casca foi de 50% e das toras sem casca 54% após este período, com redução em relação à umidade inicial de 75% e 83%, respectivamente. Para as toras do clone VM01, a umidade média foi de 44% após 80 dias. Neste tempo, as toras com casca alcançaram 41% de umidade e as toras sem casca 46%, com as respectivas reduções de umidade, 74% e 79%.
- ❖ A umidade média das toras do clone VM01 foi de 30% após 120 dias de secagem em câmara de desumidificação; a umidade das toras com casca foi de 33% e das toras sem casca 27%, tendo-se para ambos redução de 80% de umidade após 80 dias. Para as toras do clone MN463 a umidade média foi de 28% após 120 dias; as umidades das toras com casca e sem

casca foram respectivamente, 30% e 25%, com redução total no período de 101% e 103%.

- ❖ O clone MN463 secou mais rápido que o clone VM01.
- ❖ Toras de maiores diâmetros demoraram mais para secar que as toras de menores diâmetros.
- ❖ A distribuição da umidade através do diâmetro foi heterogênea, com maiores valores observados na região interna. Nas regiões internas a umidade média foi de 90% e nas regiões externas 35%, o que corresponde a um valor 60% inferior para as regiões externas.
- ❖ Os maiores valores de umidade ao longo da tora foram encontrados na região central, reduzindo-se em direção às extremidades.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para uma melhor compreensão e explicação na variação das taxas de secagem recomenda-se a realização de outros trabalhos, como caracterização anatômica da madeira correlacionada à movimentação de água durante a secagem, avaliação da secagem com diferentes arranjos e dimensões das pilhas, secagem em função da posição das toras nas pilhas e secagem em diferentes épocas do ano.

Estudos de melhoramento genético da madeira para a produção de carvão vegetal também podem ser realizados, com a finalidade de selecionar materiais nos quais a passagem de água é mais simples, analisando-se porcentagem de cerne e alburno, caracteres anatômicos, estrutura, deiscência e espessura da casca. Estudos sobre a distribuição dinâmica da água durante a secagem utilizando técnicas de raio X também são pertinentes.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. Saligna* e *E. Grandis x urophylla***. 2004. 133 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. 2. ed. Jundiaí: Cia. Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 667 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**. Brasília, 2008. 87 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**. Brasília, 2009. 127 p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Anuário estatístico 2007**. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br/>>. Acesso em: 16 set. 2008.

BARAUNA, E. E. P. **Estufa para secagem de madeira por desumidificação**: projeto e construção. Lavras: UFLA, 2007. 44 p.

BARROS, M. V. **Fator de cubicação para madeira empilhada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, com toretes de dois comprimentos, e sua variação com o tempo de exposição ao ambiente**. 2006. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1985. 705 p.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINIG, D. A.; TURNER, J. D. **Forest trees of Australia**. Melbourne: CSIRO, 1994. 687 p.

BRAMHALL, G. Semi-empirical method to calculate kiln-schedule modifications for some lumber species. **Wood Science**, Madison, v. 8, n. 4, p. 213-223, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas**: série 1961/1990. Brasília, 1992. 84 p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CALONEGO, F. W.; BATISTA, W. R.; SEVERO, E. T. D.; SANTOS, J. E. G.; RIBAS, C. Avaliação do teor de umidade da madeira de *Eucalyptus grandis* por medidores elétricos resistivos. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, n. 18, p. 71-78, dez. 2006.

CAMPINHOS JUNIOR, E. A importância da produção de madeira de eucalyptus geneticamente melhorado para os setores moveleiro e de construção civil: perspectivas e desafios. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 1., 2001, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2001. p. 53-58.

CARMO, A. P. T. do. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto**. 1996. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CARNEIRO, A. de C. Qualidade da madeira e tecnologias para produção de carvão vegetal. In: SEMINÁRIO FLORESTAS PLANTADAS DO MATO GROSSO DO SUL, 1., 2007, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Reflore, 2007. Disponível em: <<http://www.reflore.org.br/palestras/QualidadeDaMadeiraeTecnologiasParaProducaoDeCarvaoVegetal.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2008.

CARNEIRO, M. C. **Armazenagem e secagem do resíduo industrial do maracujá amarelo**. 2001. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000218989>>. Acesso em: 13 ago. 2009.

CAVALCANTE, A. R. **Ocorrência do colapso na secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna***. 1991. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

CECH, M. Y.; PFAFF, F. **Kiln operators manual to the Eastern Canada**. Ontario: Eastern Forest, 1977. 189 p.

COPPEN, J. J. W. **Eucalyptus**: the genus eucalyptus. London: Taylor and Francis, 2002. 450 p.

COTTA, A. M. G. **Qualidade do carvão vegetal para siderurgia**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 35 p.

CUNHA, P. S. C.; PONTES, C. L. F.; CRUZ, I. de A.; CABRAL, M. T. de F. D.; BARBOSA, A. P. R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 1989. v. 2, p. 95-121.

DURLO, M. A. Relação água-madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 1., 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1992. p. 100.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blakie, oriunda de consórcio agrossilvopastoril**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FARINHAQUE, R. **Influência da umidade no poder calorífico da madeira de Bracatinga (*Mimosa scrabella*, Benth) e aspectos gerais de combustão**. Curitiba: FUPEF, 1981. 14 p. (Série Técnica).

FÁVERO, G. C.; VALLE, R. M.; DUARTE, T. M. Análise térmica de um sistema de combustão de alcatrão em fornos retangulares para secagem da madeira. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 8., 2007, Cusco. **Anais...** Cusco: Federación Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, 2007. p. 639-646.

FERREIRA, M. Características da madeira de espécies / procedências / árvores superiores e clones de *Eucalyptus*: revisão aplicada ao melhoramento para produção de pasta celulósica. In: REUNIÃO REGIONAL SOBRE CLONAGEM INTENSIVA EM EUCALYPTUS, 1., 1994, Aracruz. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1994. p. 1-18.

FERREIRA, M. C.; FERNANDES, P. S.; SARAIVA FILHO, J. C. Variação na umidade da madeira de eucalipto estocada em pátio industriais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/IBDF/CNPq/FINEP, 1983. p. 779-781.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Air drying of lumber**: FPL-GTR-117. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1999. 62 p.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, 1982. 393 p. (Série de Publicações Técnicas, 8).

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.

GARBE, E. A. **Gradiente de umidade e tensões na madeira**: relação água-madeira. Curitiba: UFPR, 2008. 15 p.

GATTO, D. A.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; DURLO, M. A. Características da lenha produzida na região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 7-16, mar./abr. 2003.

GOUVÊA, C. A.; MORI, E. S.; BRASIL, M. A. M. Seleção fenotípica por padrão de proporção de casca rugosa persistente em árvores de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, visando formação de população base de melhoramento genético: qualidade da madeira. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 1., 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPF, 1997. p. 355-360.

GUIMARÃES, D. P.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P.; LEÃO, M. S. **Tendências de variação da temperatura e da precipitação em 75 anos de observações na estação climatológica principal de Sete Lagoas, MG**. Disponível em: <<http://www.criatividadecoletiva.net>>. Acesso em: 12 maio 2009.

HART, C. A. **The drying of wood**. Raleigh: North Carolina Agriculture Extension Service, 1966. 24 p.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 13 p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/docflorestais/cap10.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2008.

JUVILLAR, J. B. **O carvoejamento da madeira e seus reflexos na qualidade do carvão**: qualidade da madeira. Piracicaba: IPEF, 1979. 6 p. (IPEF. Circular Técnica, 64). Disponível em:  
<<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr064.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2009.

KIRK, C. N.; CHOONG, T. E.; WETZEL, D. Mathematical modeling of the diffusion of water in wood during drying. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 17, n. 3, p. 404-423, Sept. 1985.

KLITZKE, R. J. **Secagem da madeira**. Curitiba: UFPR, 2003. 98 p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**: I., solid wood. New York: Springer, 1968. v. 1, 592 p.

LATORRE, F. L.; HENRIQUES, E. P. Melhoria genética do eucalipto visando a produção de carvão vegetal para siderurgia. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Paineiro Florestal, 2008. Disponível em:  
<<http://paineforestal.com.br/upload/fernandolopes.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2009.

LIMA, I. L. de. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. 2005. 137 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

LIMA, I. L. de; GARCIA, J. N.; PIEDADE, S. M. de S. Rachaduras de extremidades de tora e suas implicações nas rachaduras da madeira serrada. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 13-24, jun. 2002.

LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em trinta e duas cidades do Estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 19, n. 2, p. 272-276, mar./abr. 1995.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: USP, 1993. 302 p.

LIU, J. Y.; SIMPSON, W. T.; VERRILL, P. S. An inverse moisture diffusion algorithm for the determination of diffusion coefficient. **Drying Technology**, New York, v. 19, n. 8, p. 1555-1568, Aug. 2001.

MEDEIROS, C. A.; REZENDE, M. E. A. Alcatrão vegetal: perspectivas de produção e utilização. **Revista da Fundação João Pinheiro**, Belo Horizonte, v. 13, n. 9/12, p. 42-48, set./dez. 1983.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de *Pinus***. 2007. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle da qualidade do carvão vegetal. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, 1982. p. 77-89.

NUMAZAWA, S. Influência da pressão sobre o rendimento da pirólise da madeira. In: WORKSHOP MEIO AMBIENTE: CONSERVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE ÁREAS FLORESTAIS, 1., 2001, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UEMG, 2001. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para construção civil**. 1998. 429 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, jan./fev. 2005.

PEREIRA, J. M. M.; SANTOS, G. P. Aspectos socioeconômicos do setor florestal brasileiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 242, p. 7-13, jan./fev. 2008.

PONCE, R. H.; WATAI, L. T. **Manual de secagem da madeira**. Brasília: STI/IPT, 1985. 72 p.

RAAD, T. J. **Simulação do processo de secagem e carbonização do *Eucalyptus spp.*** 2004. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RASMUSSEN, E. F. **Dry kiln operator's manual**. Madison: USDA, 1961. 188 p.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-Cerrados, 1998. p. 89-166.

ROSEN, H. N. Recent advances in the theory of dryinglumber. In: IUFRO DIVISION CONFERENCE, 5., 1983, Madison. **Proceedings...** Carbondale: Southern Illinois University, 1983. p. 32-62.

ROSSO, S. **Qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus* resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional**. 2006. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTANA, E. G. **Fenômenos de transporte**: difusão e lei de Fick. Aracajú: UFS, 2006. Disponível em: <<http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/transporte/difusion/difusion.htm>>. Acesso em: 22 out. 2009.

SANTINI, E. J. Métodos usuais de secagem da madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DA MADEIRA, 1., 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1992. p. 47-59.

SANTOS, G. R. V. dos. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)**. 2002. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

SANTOS, G. R. V. dos. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 214-220, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr63/cap18.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2008.

SEIXAS, F.; BAUCH, S. C.; OLIVEIRA JUNIOR, E. D. Balanço energético e econômico de duas alternativas de descascamento de madeira de eucalipto. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 37-43, abr. 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr67/cap04.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2008.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1971. 245 p.  
SKAAR, C. J. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1972. 218 p.

SOUZA, E. de. **Efeito do tempo de secagem nas características físicas e químicas da madeira para produção de celulose** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nogueiraphael@hotmail.com> em 9 nov. 2009.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald, 1964. 549 p.

STEIN, F. da R. **Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira**. Viçosa, MG: UFV, 2003. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Doutor%20Celulose/2003SteinFR.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2009.

TARKOW, H. **Properties of charcoal**. Belo Horizonte: FLORASA, 1978. Não paginado.

TOMASELLI, I.; KLITZKE, R. J. **Secagem da madeira**. Lages: Fundação Hugo Simas; UFPR, 2000. 90 p.

TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 29, p. 25-36, abr. 1985. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr29/cap03.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2008.

TRUGILHO, P. F. **Carbonização da madeira e controle de qualidade do carvão vegetal**. Lavras: UFLA, 2006. 41 p.

VALENTE, A. F.; LELLES, J. G. Carbonização da madeira de Eucalyptus. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 141, p. 74-79, set. 1986.

VIANA, E.; REZENDE, M. E. A.; PINHEIRO, P. C. da C.; SAMPAIO, R. S. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. Belo Horizonte: [s.n.], 2006. 103 p.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; VALENTE, O. F. Estimativa do teor de umidade de lenha para carvão em função do tempo de secagem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 9, n. 1, p. 10-27, ago. 1985.



## ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A Volume, umidade inicial, densidade e MTU, para dois caules com casca (1 e 2) e dois caules sem casca (3 e 4) do clone de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 200 dias.....	153
TABELA 2A Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume das toras de dois caules com casca (1 e 2) e dois caules sem casca (3 e 4) do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 200 dias.....	153
TABELA 3A Rachaduras de topo medidas nas duas extremidades das toras de dois caules com casca (1 e 2) e dois caules sem casca (3 e 4) do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01, no início e no final da secagem ao ar livre, em Lavras, MG, durante 200 dias .....	154
TABELA 4A Valores de volume, umidade inicial, densidade e máximo teor de umidade para dez caules sem casca do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> MN463 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 153 dias.....	155
TABELA 5A Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume das toras controladoras de umidade de quatro caules sem casca do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> MN463 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 153 dias.....	155
TABELA 6A Rachaduras de topo nas duas extremidades das toras de dez caules sem casca do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> MN463 no início e ao final de 153 dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG.....	156
TABELA 7A Volume, umidade inicial, densidade básica e máximo teor de umidade de toras de dez caules sem casca do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> MN463 secando ao ar livre em Paraopeba, MG, durante 188 dias.....	157
TABELA 8A Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume de toras controladoras de umidade de quatro caules sem casca do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> MN463, em Paraopeba, MG, durante 188 dias.....	157
TABELA 9A Rachaduras de topo nas duas extremidades das toras de dez caules sem casca do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> MN 463	

	no início e ao final de 188 dias de secagem ao ar livre, em Paraopeba, MG .....	158
TABELA 10A	Volume, umidade inicial, densidade básica e máximo teor de umidade de 2 caules com casca (1 e 2) e 2 caules sem casca (3 e 4) do clone de <i>E. urophylla</i> MN463 secando ao ar livre, em Lavras, MG, durante 90 dias.....	159
TABELA 11A	Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume das toras de 2 caules com casca (1 e 2) e 2 caules sem casca (3 e 4) do clone de <i>E. urophylla</i> MN463 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 90 dias .....	160
TABELA 12A	Rachaduras de topo medidas nas duas extremidades das toras de dois caules com casca (1 e 2) e dois caules sem casca (3 e 4) do clone de <i>E. urophylla</i> MN463 no início e ao final de 90 dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG.....	161
TABELA 13A	Volume, umidade inicial, densidade e máximo teor de umidade para quatro caules com casca e quatro caules sem casca do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> MN463 secando ao ar livre, em Paraopeba, MG, durante 80 dias.....	162
TABELA 14A	Volume, umidade inicial, densidade e máximo teor de umidade para quatro caules com casca e quatro caules sem casca do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 secando ao ar livre em Paraopeba, MG, durante 80 dias	162
TABELA 15A	Rachaduras de topo medidas nas duas extremidades das toras de dez caules com casca e dez caules sem casca no início da secagem ao ar livre para o clone de <i>E. urophylla</i> MN463 secando em Paraopeba, MG, durante 80 dias .....	163
TABELA 16A	Rachaduras de topo medidas nas duas extremidades das toras de dez caules com casca e dez caules sem casca no início da secagem ao ar livre para o clone de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 em Paraopeba, MG, durante 80 dias.....	164
TABELA 17A	Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 secando em câmara de desumidificação.....	166
TABELA 18 A	Rachadura de topo medida em duas extremidades das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 secando em câmara de desumidificação por 120 dias ....	167
TABELA 19A	Diâmetro, posição na pilha de secagem e volume das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e	

6) do clone de <i>E. urophylla</i> MN463 em secagem em câmara de desumidificação .....	169
TABELA 20A Rachadura de topo medida nas duas extremidades das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de <i>E. urophylla</i> MN463 em secagem em câmara de desumidificação por 120 dias .....	170
TABELA 21A Umidade das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de <i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM01 após 120 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação.....	172
TABELA 22A Umidade das toras de três caules com casca (1,2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de <i>E. urophylla</i> MN463 após 120 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação .....	173

TABELA 1B	Análise de variância para secagem ao ar livre do clone VM01 com casca e sem casca em Lavras, MG, durante 200 dias. ....	175
TABELA 2B	Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone VM01 com casca e sem casca em Lavras, MG, durante 200 dias. ....	175
TABELA 3B	Análise de variância para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Lavras, MG, durante 153 dias. ....	175
TABELA 4B	Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Lavras, MG, durante 153 dias. ....	175
TABELA 5B	Análise de variância para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Paraopeba, MG, durante 188 dias. ....	176
TABELA 6B	Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Paraopeba, MG, durante 188 dias. ....	176
TABELA 7B	Análise de variância para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Lavras, MG, durante 90 dias. ....	176
TABELA 8B	Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Lavras, MG, durante 90 dias. ....	176
TABELA 9B	Análise de variância para secagem ao ar livre do clone MN463 com casca e sem casca em Paraopeba, MG, durante 80 dias. ....	177
TABELA 10B	Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone MN463 com casca e sem casca em Paraopeba, MG, durante 80 dias. ....	177
TABELA 11B	Análise de variância para secagem ao ar livre do clone VM01 com casca e sem casca em Paraopeba, MG, durante 80 dias. ....	177
TABELA 12B	Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone VM01 com casca e sem casca em Paraopeba, MG, 80 dias. ....	177

TABELA 1C	Análise de variância para secagem controlada em câmara de desumidificação do clone VM01 com casca e sem casca, durante 120 dias.....	178
TABELA 2C	Análise dos parâmetros da regressão para secagem controlada em câmara de desumidificação do clone VM01 com casca e sem casca, durante 120 dias.....	178
TABELA 3C	Análise de variância para secagem controlada em câmara de desumidificação do clone MN463 com casca e sem casca, durante 120 dias.....	178
TABELA 4C	Análise dos parâmetros da regressão para secagem controlada em câmara de desumidificação do clone MN463 com casca e sem casca, durante 120 dias.....	178

TABELA 1A Volume, umidade inicial, densidade e MTU, para dois caules com casca (1 e 2) e dois caules sem casca (3 e 4) do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 200 dias

Caule	Volume (m <sup>3</sup> )	Umidade inicial (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	MTU %
1	0,3775	109,89	0,503	133,84
2	0,4043	111,28	0,510	131,04
3	0,3177	111,56	0,544	119,02
4	0,2580	119,14	0,510	131,23

TABELA 2A Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume das toras de dois caules com casca (1 e 2) e dois caules sem casca (3 e 4) do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 200 dias

Caule	Tora	D1(cm)	D2(cm)	Posição	V (m <sup>3</sup> )
1	1b	21,5	18,5	Inferior	0,0600
1	1t	18,5	17,5	Inferior	0,0484
1	2b	17,9	17,1	Inferior	0,0457
1	2t	17,1	16,9	Inferior	0,0431
1	3b	16,1	16	Inferior	0,0384
1	3t	16	15,2	Inferior	0,0363
1	4b	15,2	14,2	Inferior	0,0323
1	4t	14,2	13,3	Inferior	0,0282
1	5b	13,4	12,2	Inferior	0,0245
1	5t	12,2	11,2	Central	0,0205
2	1b	21,5	19,5	Central	0,0600
2	1t	19,5	19,2	Central	0,0503
2	2b	19	18,2	Central	0,0517
2	2t	18,2	17,2	Central	0,0468
2	3b	17,2	16,4	Central	0,0421
2	3t	16,4	15,8	Central	0,0387
2	4b	16	14,8	Central	0,0354
2	4t	14,8	14,2	Central	0,0314
2	5b	13,5	12,8	Superior	0,0258
2	5t	12,8	11,5	Superior	0,0221
3	1b	20	18	Inferior	0,0540
3	1t	18	17,5	Inferior	0,0470
3	2b	17,3	16,8	Inferior	0,0434
3	2t	16,8	16,2	Inferior	0,0406
3	3b	16,2	15,6	Central	0,0377
3	3t	15,6	15,5	Inferior	0,0361
3	4b	14,8	14,2	Superior	0,0314
3	4t	14,2	12,9	Inferior	0,0275
4	1b	17,4	15,7	Central	0,0410
4	1t	15,7	15,3	Central	0,0359
4	2b	15,3	15,2	Central	0,0347
4	2t	15,2	15	Central	0,0340
4	3b	14,7	14	Central	0,0307
4	3t	14	13,8	Central	0,0288
4	4b	13,8	13,3	Central	0,0274
4	4t	13,3	12,8	Central	0,0254

TABELA 3A Rachaduras de topo medidas nas duas extremidades das toras de dois caules com casca (1 e 2) e dois caules sem casca (3 e 4) do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01, no início e no final da secagem ao ar livre, em Lavras, MG, durante 200 dias

Caule	Tora	Início da secagem		Final da secagem	
		A (mm)	B (mm)	A (mm)	B (mm)
1	1b	1,68	1,46	5,78	5,26
1	1t	1,56	1,09	5,97	3,42
1	2b	1,29	0,76	5,63	5,87
1	2t	1,19	0,73	6,09	4,21
1	3b	1,24	1,27	5,05	3,47
1	3t	1,32	1,36	2,83	2,86
1	4b	1,04	0,94	2,07	1,12
1	4t	0,91	0,00	1,96	0,00
1	5b	0,00	0,00	2,28	1,58
1	5t	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1b	2,52	2,46	7,50	3,99
2	1t	2,24	1,98	5,31	3,92
2	2b	1,78	1,56	4,85	2,4
2	2t	1,46	0,00	2,02	0,00
2	3b	1,12	0,86	3,47	2,01
2	3t	0,00	0,00	4,01	3,58
2	4b	0,98	0,00	2,23	1,56
2	4t	0,00	0,00	1,15	1,86
2	5b	0,00	0,00	1,47	0,00
2	5t	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1b	2,93	2,65	8,73	4,72
3	1t	2,84	2,76	7,22	4,13
3	2b	2,07	2,03	4,56	3,23
3	2t	2,19	2,35	4,02	2,79
3	3b	1,84	1,60	4,72	3,92
3	3t	0,76	0,00	2,99	1,94
3	4b	1,21	0,41	1,75	1,15
3	4t	0,68	0,00	1,84	0,00
4	1b	2,94	2,86	8,03	6,22
4	1t	2,81	2,73	6,24	5,99
4	2b	2,63	1,79	6,63	4,01
4	2t	2,09	2,05	4,24	2,87
4	3b	2,38	2,45	4,25	3,88
4	3t	2,69	1,46	4,01	1,81
4	4b	1,36	1,08	4,08	1,98
4	4t	0,00	0,00	3,92	1,6

TABELA 4A Valores de volume, umidade inicial, densidade e máximo teor de umidade para dez caules sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 153 dias.

Caule	Volume (m <sup>3</sup> )	Umidade inicial (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	MTU %
1	0,1482	122,73	0,475	145,47
2	0,1149	113,09	0,492	138,26
3	0,0853	118,49	0,483	141,94
4	0,1175	123,61	0,482	142,52
5	0,1600	127,45	0,478	144,32
6	0,1413	132,14	0,484	141,62
7	0,1502	124,54	0,477	144,91
8	0,1585	121,20	0,491	138,68
9	0,1490	128,46	0,479	143,85
10	0,1665	118,44	0,470	147,90

TABELA 5A Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume das toras controladoras de umidade de quatro caules sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 153 dias.

Caule	Tora	D1(cm)	D2(cm)	Posição	V (m <sup>3</sup> )
1	1	17,3	16,9	Inferior	0,0436
1	2	15,6	15,1	Inferior	0,0352
1	3	14,3	13,6	Central	0,0291
1	4	12,4	11,9	Central	0,0220
1	5	11,6	10,5	Inferior	0,0183
2	1	15,6	13,8	Central	0,0324
2	2	13,8	13,2	Superior	0,0272
2	3	12,6	12,4	Central	0,0233
2	4	11,5	10,4	Superior	0,0179
2	5	10,1	9,3	Superior	0,0141
3	1	13,2	12,6	Inferior	0,0248
3	2	12,2	11,7	Superior	0,0213
3	3	11,1	10,1	Inferior	0,0168
3	4	10	8,8	Central	0,0132
3	5	8,4	7,2	Superior	0,0091
4	1	15,6	14,7	Central	0,0343
4	2	13,6	12,9	Inferior	0,0262
4	3	13,3	12,2	Central	0,0243
4	4	11,7	10,9	Central	0,0191
4	5	9,9	9,2	Superior	0,0136

TABELA 6A Rachaduras de topo nas duas extremidades das toras de dez caules sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463 no início e ao final de 153 dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG

Caule	Tora	Início da secagem		Final da secagem	
		A (mm)	B (mm)	A (mm)	B (mm)
1	1	5,93	4,99	9,81	7,17
	2	3,26	4,83	5,08	6,84
	3	1,34	2,25	1,48	3,25
	4	0,00	1,72	0,00	2,21
	5	1,16	0,00	1,58	0,00
2	1	4,29	4,51	7,09	7,84
	2	3,46	4,12	8,82	9,97
	3	1,43	2,81	2,35	3,84
	4	0,00	1,68	0,00	2,07
	5	1,69	1,32	2,18	1,84
3	1	4,57	5,40	12,35	13,58
	2	4,15	4,18	9,11	8,69
	3	4,26	4,63	6,16	6,98
	4	4,76	4,06	5,69	4,81
	5	3,23	2,74	4,03	3,62
4	1	6,94	6,40	7,98	7,20
	2	6,97	3,77	9,86	8,16
	3		4,42	3,63	6,21
	4		0,00	2,87	0,00
	5		0,00	0,00	3,80
5	1	6,08	6,47	8,53	7,17
	2	4,87	3,97	6,76	5,68
	3	2,93	3,96	4,39	5,58
	4	4,01	3,08	4,65	3,96
	5	2,87	1,45	3,36	2,13
6	1	6,19	4,58	7,94	5,91
	2	3,79	4,17	4,85	4,63
	3	0,00	1,67	0,00	2,01
	4	1,16	0,00	1,29	0,00
	5	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1	6,81	7,65	8,93	9,63
	2	4,39	5,93	5,21	6,67
	3	5,47	5,72	6,65	6,73
	4	4,44	4,20	4,57	5,51
	5	3,77	2,06	3,81	2,16
8	1	6,51	7,40	8,59	13,23
	2	3,77	4,72	4,93	5,79
	3	0,00	2,55	0,00	3,49
	4	3,43	3,47	3,79	4,12
	5	0,00	2,08	1,22	2,12
9	1	3,10	2,62	3,47	3,87
	2	2,61	1,88	2,89	3,59
	3	1,34	1,45	2,77	2,85
	4	1,58	1,44	1,63	1,49
	5	1,55	1,29	1,74	1,58
9	1	7,63	7,22	11,81	12,79
	2	6,97	6,06	10,87	6,98
	3	5,04	5,41	6,51	6,91
	4	2,65	2,06	2,91	2,76
	5	1,69	2,67	2,00	3,17

TABELA 7A Volume, umidade inicial, densidade básica e máximo teor de umidade de toras de dez caules sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463 secando ao ar livre em Paraopeba, MG, durante 188 dias

Caule	Volume (m <sup>3</sup> )	Umidade inicial (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	MTU %
1	0,1988	123,22	0,486	140,65
2	0,1739	120,46	0,488	139,90
3	0,1825	121,15	0,488	140,04
4	0,1715	124,88	0,479	144,03
5	0,1785	122,68	0,482	142,36
6	0,2214	122,07	0,499	135,36
7	0,2111	113,41	0,514	129,77
8	0,2109	122,40	0,491	138,68
9	0,1742	126,22	0,477	144,65
10	0,1747	120,74	0,488	139,80

TABELA 8A Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume de toras controladoras de umidade de quatro caules sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463, em Paraopeba, MG, durante 188 dias

Caule	Tora	D1(cm)	D2(cm)	Posição	V (m <sup>3</sup> )
1	1	16,1	14	Centro	0,0644
1	2	13,9	12	Superior	0,0477
1	3	11,8	10,7	Superior	0,0359
1	4	10,4	9	Centro	0,0267
1	5	8,4	6,6	Centro	0,0161
1	6	6,4	4	Superior	0,0081
2	1	16,5	13	Base	0,0624
2	2	12,8	11,3	Centro	0,0412
2	3	11,1	9,5	Base	0,0302
2	4	9,4	7,8	Base	0,0211
2	5	7,8	5,2	Base	0,0124
2	6	5,5	4,1	Superior	0,0067
3	1	16,8	14,2	Centro	0,0684
3	2	14,1	12,6	Base	0,0506
3	3	12,8	11,2	Base	0,0409
3	4	11,3	9,4	Centro	0,0305
3	5	9,2	7,5	Base	0,0199
3	6	7,3	5	Base	0,0111
4	1	16	13,5	Superior	0,0620
4	2	13,3	12,4	Superior	0,0467
4	3	13	11,3	Superior	0,0419
4	4	11,1	9	Centro	0,0289
4	5	8,6	7,4	Centro	0,0182
4	6	7,4	6,3	Superior	0,0134

TABELA 9A Rachaduras de topo nas duas extremidades das toras de dez caules sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN 463 no início e ao final de 188 dias de secagem ao ar livre, em Paraopeba, MG

Caule	Tora	Início da secagem		Final da secagem	
		A (mm)	B (mm)	A (mm)	B (mm)
1	1	2,38	2,11	3,38	3,21
	2	2,18	1,74	2,29	1,88
	3	0,00	1,57	1,22	1,97
	4	0,79	0,89	1,98	2,02
	5	0,00	0,00	0,00	0,00
	6	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1	2,95	2,68	4,36	3,58
	2	0,46	2,13	1,64	3,20
	3	1,45	1,08	1,95	2,01
	4	0,00	2,98	1,47	3,97
	5	0,00	0,00	2,36	1,44
	6	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1	2,12	0,00	4,46	3,14
	2	0,00	1,99	1,20	3,71
	3	1,13	0,00	2,74	0,00
	4	0,76	0,65	1,27	1,06
	5	0,00	0,00	1,43	1,46
	6	0,00	0,00	0,63	0,00
4	1	3,90	5,45	5,61	6,63
	2	3,99	2,15	4,23	4,28
	3	3,45	1,33	2,54	0,00
	4	0,00	0,67	1,25	1,89
	5	0,00	0,00	0,00	0,95
	6	0,00	0,32	0,00	1,05
5	1	0,00	0,00	0,68	0,35
	2	0,00	0,00	0,32	0,52
	3	0,00	2,12	0,00	3,14
	4	1,40	0,00	3,29	1,94
	5	0,00	0,00	0,00	0,74
	6	2,29	0,00	4,33	2,17
6	1	0,00	2,00	0,00	2,90
	2	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	1,13	1,88	2,52	3,50
	4	0,00	0,76	0,00	1,35
	5	0,00	0,00	2,20	0,00
7	1	0,00	2,27	0,00	3,57
	2	0,00	1,73	0,00	2,15

“...continua...”

“TABELA 9A, Cont.”

	3	2,84	2,14	4,84	3,65
	4	3,67	3,38	5,90	5,32
	5	1,72	1,15	2,15	1,46
	6	0,00	0,00	0,00	0,78
	1	2,28	4,41	3,35	6,27
	2	0,00	0,96	0,00	2,35
8	3	0,00	1,92	1,84	3,14
	4	0,00	0,47	0,99	0,56
	5	1,12	1,78	2,17	2,58
	6	4,12	0,73	6,05	2,92
	1	0,00	0,00	0,83	0,00
	2	0,00	0,44	0,00	1,63
9	3	2,72	1,80	4,77	3,10
	4	0,00	1,11	2,10	2,36
	5	0,00	0,00	0,00	0,00
	6	0,00	0,00	2,01	1,23
	1	0,00	0,00	2,17	2,02
	2	5,26	4,12	6,42	5,39
10	3	0,00	0,00	0,00	0,52
	4	1,37	0,95	1,51	1,65
	5	0,00	2,05	0,00	3,35
	6	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA 10A Volume, umidade inicial, densidade básica e máximo teor de umidade de 2 caules com casca (1 e 2) e 2 caules sem casca (3 e 4) do clone de *E. urophylla* MN463 secando ao ar livre, em Lavras, MG, durante 90 dias

<b>Caule</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Umidade inicial (%)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MTU %</b>
1	0,4044	130,15	0,490	139,15
2	0,2349	136,22	0,470	147,83
3	0,4500	132,92	0,490	139,15
4	0,2800	129,76	0,490	139,15

TABELA 11A Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume das toras de 2 caules com casca (1 e 2) e 2 caules sem casca (3 e 4) do clone de *E. urophylla* MN463 secando ao ar livre em Lavras, MG, durante 90 dias

Caule	Tora	D1 (cm)	D2 (cm)	Posição	Volume (m <sup>3</sup> )
1	1b	21,5	19,5	Inferior	0,0629
1	1t	18,4	17,5	Inferior	0,0481
1	2b	16,7	16,3	Central	0,0406
1	2t	16,3	16,0	Central	0,0389
1	3b	16,2	15,6	Central	0,0377
1	3t	15,4	14,0	Central	0,0323
1	4b	14,4	14,0	Central	0,0301
1	4t	14,0	13,5	Inferior	0,0282
1	5b	14,1	12,8	Central	0,0271
1	5t	12,4	12,0	Central	0,0222
1	6b	11,9	11,6	Superior	0,0206
1	6t	10,8	9,6	Central	0,0156
2	1b	17,1	14,8	Inferior	0,0382
2	1t	14,4	13,9	Inferior	0,0299
2	2b	14,2	14,0	Inferior	0,0297
2	2t	13,6	13,3	Central	0,0270
2	3b	13,4	12,8	Inferior	0,0256
2	3t	12,4	11,9	Central	0,0220
2	4b	12,2	10,4	Central	0,0192
2	4t	11,0	10,6	Inferior	0,0174
2	5b	10,2	9,7	Superior	0,0148
2	5t	9,1	8,2	Superior	0,0112
3	1b	20,6	19,0	Inferior	0,0586
3	1t	19,0	18,8	Inferior	0,0533
3	2b	18,6	18,3	Inferior	0,0508
3	2t	18,0	17,8	Inferior	0,0478
3	3b	18,0	17,4	Inferior	0,0468
3	3t	16,4	15,7	Central	0,0385
3	4b	15,2	14,6	Inferior	0,0331
3	4t	15,0	14,2	Central	0,0318
3	5b	14,1	12,9	Central	0,0273
3	5t	12,9	12,2	Inferior	0,0235
3	6b	12,0	10,4	Superior	0,0188
3	6t	10,3	9,8	Central	0,0151
4	1b	16,6	16,5	Inferior	0,0409
4	1t	18,0	15,7	Central	0,0426
4	2b	15,6	15,7	Central	0,0365
4	2t	14,6	14,4	Inferior	0,0314
4	3b	13,9	13,7	Central	0,0284
4	3t	13,5	13,4	Superior	0,0270
4	4b	13,0	12,6	Central	0,0245
4	4t	12,0	11,2	Central	0,0201
4	5b	11,2	10,1	Central	0,0170
4	5t	10,1	9,0	Superior	0,0137

TABELA 12A Rachaduras de topo medidas nas duas extremidades das toras de dois caules com casca (1 e 2) e dois caules sem casca (3 e 4) do clone de *E. urophylla* MN463 no início e ao final de 90 dias de secagem ao ar livre, em Lavras, MG

Caule	Tora	Início da secagem		Final da secagem	
		A (mm)	B (mm)	A (mm)	B (mm)
1	1b	3,65	3,11	9,67	8,36
1	1t	3,47	3,05	12,01	10,83
1	2b	2,29	3,41	5,65	4,51
1	2t	0,89	2,89	6,51	5,83
1	3b	3,97	1,16	12,42	11,35
1	3t	0,00	0,00	6,84	4,47
1	4b	0,78	0,84	4,15	4,27
1	4t	0,00	0,00	3,34	4,82
1	5b	0,00	0,00	0,00	3,69
1	5t	0,00	0,00	0,00	0,00
1	6b	0,00	0,00	0,00	0,00
1	6t	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1b	2,93	3,58	6,29	7,64
2	1t	2,06	1,55	6,17	4,82
2	2b	0,00	0,00	6,81	6,26
2	2t	1,36	2,00	5,27	6,12
2	3b	0,00	0,00	3,15	3,19
2	3t	0,00	0,00	5,17	4,36
2	4b	0,00	0,00	4,32	5,27
2	4t	0,00	0,00	2,18	4,02
2	5b	0,00	0,00	3,84	3,18
2	5t	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1b	2,16	3,31	9,17	13,12
3	1t	2,97	2,45	10,91	8,97
3	2b	2,81	2,94	7,11	8,40
3	2t	2,59	3,04	5,81	7,66
3	3b	3,07	3,77	8,41	7,57
3	3t	2,71	1,96	14,29	9,45
3	4b	2,81	0,00	5,09	5,39
3	4t	2,36	0,00	7,23	5,66
3	5b	2,06	0,00	3,74	2,89
3	5t	0,00	0,00	3,03	4,17
3	6b	0,00	0,00	0,00	0,00
3	6t	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1b	2,87	3,01	8,95	9,03
4	1t	2,77	2,09	13,86	9,44
4	2b	2,21	1,91	12,77	12,42
4	2t	0,00	0,00	5,98	4,68
4	3b	4,07	2,21	13,36	10,04
4	3t	2,12	0,00	7,77	6,37
4	4b	0,00	0,00	4,95	3,72
4	4t	1,59	0,00	6,76	5,17
4	5b	0,00	0,00	1,66	0,00
4	5t	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA 13A Volume, umidade inicial, densidade e máximo teor de umidade para quatro caules com casca e quatro caules sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla* MN463 secando ao ar livre, em Paraopeba, MG, durante 80 dias

Caule	Casca	Volume (m <sup>3</sup> )	Umidade inicial (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	MTU %
1	Com casca	0,3337	119,01	0,518	128,15
2		0,2256	129,48	0,485	141,31
3		0,4021	118,44	0,518	127,96
4		0,2291	131,45	0,496	136,73
1	Sem casca	0,3471	125,82	0,505	132,93
2		0,2233	131,73	0,498	135,81
3		0,2855	144,25	0,481	142,88
4		0,3035	148,27	0,469	148,19

TABELA 14A Volume, umidade inicial, densidade e máximo teor de umidade para quatro caules com casca e quatro caules sem casca do clone de *Eucalyptus urophylla x E. camaldulensis* VM01 secando ao ar livre em Paraopeba, MG, durante 80 dias

Caule	Casca	Volume (m <sup>3</sup> )	Umidade inicial (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	MTU %
1	Com casca	0,2336	111,89	0,532	123,05
2		0,2372	117,46	0,530	124,28
3		0,2526	117,97	0,522	126,81
4		0,2339	114,04	0,545	118,38
1	Sem casca	0,2327	126,20	0,532	123,04
2		0,2118	128,43	0,532	122,92
3		0,3032	121,04	0,545	118,41
4		0,2662	126,63	0,550	116,93

TABELA 15A Rachaduras de topo medidas nas duas extremidades das toras de dez caules com casca e dez caules sem casca no início da secagem ao ar livre para o clone de *E. urophylla* MN463 secando em Paraopeba, MG, durante 80 dias

Caule	Tora	Toras com casca		Toras sem casca	
		A (mm)	B (mm)	A (mm)	B (mm)
1	1	2,07	2,08	4,83	2,11
	2	3,06	2,84	4,78	1,74
	3	2,04	2,09	3,77	1,57
	4	1,29	0,00	5,79	2,09
	5	0,00	0,00	3,25	0,00
	6	0,00	0,00	1,67	0,00
2	1	3,02	4,09	1,95	1,68
	2	2,22	1,93	1,46	1,13
	3	2,67	1,22	2,26	1,08
	4	1,29	1,34	2,98	0,00
	5	0,00	0,00	0,83	0,00
	6	0,00	0,00	0,38	0,00
3	1	3,85	3,35	4,46	3,14
	2	3,88	1,62	5,07	1,56
	3	3,06	1,70	4,20	2,83
	4	2,90	0,79	2,75	4,20
	5	2,06	2,05	1,88	0,67
	6	0,79	0,00	0,82	1,04
4	1	3,89	2,73	5,61	6,55
	2	1,90	0,82	6,23	4,28
	3	2,75	1,32	3,45	1,33
	4	1,50	1,44	1,24	0,61
	5	1,66	0,00	1,07	1,63
	6	1,28	0,00	1,47	0,00
5	1	2,95	3,80	4,33	0,00
	2	3,79	2,46	2,50	0,00
	3	4,79	2,62	3,29	0,00
	4	1,64	2,45	3,29	1,94
	5	2,38	0,00	0,00	0,00
	6	2,12	1,76	1,33	5,09
6	1	4,62	2,93	4,41	2,00
	2	2,41	2,96	3,95	2,93
	3	3,25	2,23	5,51	2,53
	4	5,12	3,08	1,31	1,65
	5	2,49	2,15	4,32	2,91
	6	0,00	0,00	2,38	0,00

“...continua...”

“TABELA 15A, Cont.”

7	1	1,72	2,22	3,02	3,73
	2	4,43	3,72	6,84	4,14
	3	0,00	0,00	4,67	3,10
	4	3,49	0,00	2,72	2,65
	5	2,78	1,73	0,00	0,00
	6	0,00	0,00	0,00	0,00
8	1	6,13	2,90	7,06	0,51
	2	3,54	2,07	1,38	0,96
	3	3,24	3,06	1,88	0,00
	4	0,00	0,00	0,99	0,47
	5	0,00	0,00	1,22	1,88
	6	3,24	2,10	1,05	2,72
9	1	5,59	2,12	5,04	0,00
	2	4,72	2,80	4,24	4,21
	3	4,96	3,03	4,50	1,81
	4	4,51	0,73	3,18	2,36
	5	1,44	0,43	0,00	1,24
	6	2,33	2,58	1,07	1,62
10	1	3,04	2,83	5,35	7,55
	2	3,88	2,12	5,26	0,00
	3	2,45	2,82	6,87	2,95
	4	5,43	3,03	1,37	0,00
	5	3,98	3,15	4,63	3,35
	6	2,34	1,53	3,12	2,55

TABELA 16A Rachaduras de topo medidas nas duas extremidades das toras de dez caules com casca e dez caules sem casca no início da secagem ao ar livre para o clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 em Paraopeba, MG, durante 80 dias

Caule	Tora	Toras com casca		Toras sem casca	
		A (mm)	B (mm)	A (mm)	B (mm)
1	1	1,76	0,99	1,38	0,56
	2	1,23	0,63	1,01	0,00
	3	0,69	0,53	0,94	0,79
	4	0,60	0,00	1,14	0,00
	5	0,00	0,00	1,01	0,00
	6	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1	1,54	1,27	1,68	1,13
	2	1,52	0,94	0,76	0,73
	3	0,94	0,72	0,83	0,00
	4	0,88	0,00	0,00	0,00
	5	0,00	0,00	0,49	0,00
	6	0,00	0,00	0,00	0,00

“...continua...”

“TABELA 16A, Cont.”

3	1	1,85	1,25	2,83	1,49
	2	2,21	0,00	1,88	0,72
	3	1,47	0,00	1,09	0,61
	4	0,62	0,00	1,44	0,00
	5	0,00	0,00	0,65	1,02
	6	0,00	0,00	0,94	0,00
4	1	2,79	1,29	1,59	1,17
	2	1,20	0,60	1,48	0,83
	3	1,09	0,68	1,50	0,73
	4	0,73	0,00	1,34	0,00
	5	0,00	0,00	1,22	0,00
	6	0,27	0,00	0,33	0,00
5	1	0,00	0,00	1,40	0,00
	2	0,00	0,00	1,20	0,00
	3	0,00	0,00	0,45	0,00
	4	0,85	0,00	0,00	0,00
	5	0,00	0,00	0,00	0,00
	6	0,80	0,42	0,00	0,00
6	1	0,69	1,24	0,97	0,00
	2	0,95	0,00	0,83	0,00
	3	1,03	0,00	0,97	0,00
	4	0,00	0,00	0,66	1,04
	5	0,00	0,00	0,00	0,00
	6	0,83	0,00	0,00	0,00
7	1	0,76	0,00	1,19	0,41
	2	1,60	0,41	0,00	0,47
	3	0,81	0,00	0,58	0,00
	4	0,00	0,00	1,50	1,03
	5	0,70	0,85	2,39	0,00
	6	0,79	0,77	0,00	0,00
8	1	0,00	0,00	0,32	0,00
	2	0,00	0,00	1,16	0,00
	3	1,41	1,04	1,32	2,17
	4	0,98	0,82	0,51	0,00
	5	1,18	0,74	0,00	0,00
	6	0,90	0,00	1,15	1,41
9	1	1,22	0,84	0,74	0,00
	2	1,13	0,92	0,62	0,00
	3	0,00	0,00	1,07	0,00
	4	0,00	0,00	0,92	0,00
	5	0,00	0,00	0,88	0,00
	6	0,00	0,00	0,78	0,41
10	1	0,00	0,00	0,83	0,00
	2	1,99	1,06	1,04	0,00
	3	1,89	1,16	1,21	1,31
	4	1,10	0,00	1,08	0,00
	5	1,27	0,00	1,38	1,83
	6	1,06	0,50	1,46	1,33

TABELA 17A Diâmetros, posição na pilha de secagem e volume das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 secando em câmara de desumidificação

Caule	Tora	D1(cm)	D2(cm)	Posição	V (m³)
1	1b	19,4	17,5	Inferior	0,0509
1	1t	17,5	17,6	Inferior	0,046
1	2b	17,4	16,6	Inferior	0,0432
1	2t	16,6	16	Inferior	0,0397
1	3b	15,9	15,7	Superior	0,0373
1	3t	15,7	15,1	Superior	0,0354
1	4b	14,9	14,6	Inferior	0,0325
1	4t	14,6	12,8	Central	0,0281
1	5b	12,7	11,6	Inferior	0,0221
1	5t	11,6	10,9	Inferior	0,0189
2	1b	19,8	16,5	Superior	0,0496
2	1t	16,5	16,3	Superior	0,0401
2	2b	15,7	15,4	Central	0,0361
2	2t	15,4	15	Central	0,0345
2	3b	14,1	13,6	Central	0,0286
2	3t	13,6	13,2	Inferior	0,0268
3	1b	19,4	17,6	Central	0,0512
3	1t	17,6	17,7	Central	0,0465
3	2b	17,7	17,5	Central	0,0462
3	2t	17,5	16	Central	0,042
3	3b	16,1	14,9	Central	0,0359
3	3t	14,9	14,8	Central	0,0329
3	4b	14,3	13,4	Superior	0,0287
3	4t	13,4	12,5	Superior	0,0251
3	5b	12,6	11,7	Inferior	0,0221
3	5t	11,7	10,4	Inferior	0,0183
4	1b	22,7	19,7	Central	0,0674
4	1t	19,7	19,5	Inferior	0,0573
4	2b	19	18,3	Central	0,0519
4	2t	18,3	17,2	Central	0,0471
4	3b	17,3	16,9	Inferior	0,0436
4	3t	16,9	16,3	Central	0,0411
4	4b	16	15,4	Superior	0,0368
4	4t	15,4	14,6	Inferior	0,0336
4	5b	14	13	Central	0,0272
4	5t	13	11,5	Superior	0,0225
5	1b	21,2	19,5	Central	0,0619
5	1t	19,5	19,4	Central	0,0565
5	2b	18,3	18,0	Central	0,0492
5	2t	18,0	17,4	Inferior	0,0468
5	3b	17,6	17,6	Central	0,0462
5	3t	17,6	16,3	Central	0,0429
5	4b	15,6	15,6	Superior	0,0363
5	4t	15,6	14,1	Superior	0,033
5	5b	14,0	13,2	Superior	0,0276
5	5t	13,2	12,0	Central	0,0237
5	6b	11,9	10,6	Superior	0,0189
5	6t	10,6	9,7	Superior	0,0154

“...continua...”

“TABELA 17A, Cont.”

6	1b	22	19	Central	0,063
6	1t	19	18	Central	0,0511
6	2b	19	17,8	Central	0,0506
6	2t	17,8	17,5	Inferior	0,0465
6	3b	17,2	16,5	Superior	0,0424
6	3t	16,5	16,4	Central	0,0403
6	4b	16	14,9	Superior	0,0357
6	4t	14,9	14,1	Superior	0,0314
6	5b	14	13,5	Central	0,0282
6	5t	13,5	11,8	Superior	0,024
6	6b	11	10,1	Superior	0,0166
6	6t	10,1	9	Central	0,0137

TABELA 18 A Rachadura de topo medida em duas extremidades das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 secando em câmara de desumidificação por 120 dias

Caule	Tora	Início da secagem		Final da secagem	
		Extremidade A (mm)	Extremidade B (mm)	Extremidade A (mm)	Extremidade B (mm)
1	1b	2,81	1,49	10,34	9,54
1	1t	3,44	2,87	14,31	13,88
1	2b	2,12	1,19	11,20	9,23
1	2t	1,88	1,12	10,33	10,21
1	3b	1,27	0,00	10,22	8,45
1	3t	1,22	1,03	10,02	9,85
1	4b	0,00	0,00	6,08	5,99
1	4t	0,00	0,00	7,06	7,48
1	5b	0,00	0,00	6,26	5,69
1	5t	0,00	0,00	2,78	2,56
2	1b	3,86	0,00	12,21	11,21
2	1t	2,85	0,00	11,85	11,16
2	2b	2,55	1,78	10,03	10,21
2	2t	2,75	1,96	9,34	10,35
2	3b	2,47	3,78	9,44	9,18
2	3t	2,21	2,48	8,88	8,46
3	1b	2,67	1,89	11,99	10,88
3	1t	1,97	1,71	10,22	11,00
3	2b	1,06	0,00	10,24	11,69
3	2t	2,62	0,00	7,06	8,28
3	3b	1,98	1,17	7,83	8,17
3	3t	0,89	0,84	7,58	7,35
3	4b	0,00	0,00	6,07	7,24
3	4t	0,00	0,00	5,48	6,82
3	5b	0,00	0,00	0,00	0,00
3	5t	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1b	5,51	4,92	12,74	14,25
4	1t	5,49	5,21	13,61	14,13
4	2b	3,96	3,90	8,63	7,95
4	2t	4,15	4,00	8,26	8,11

“...continua...”

“TABELA 18A, Cont.”

4	3b	5,18	4,36	12,64	11,82
4	3t	4,30	4,38	8,97	10,32
4	4b	4,44	4,02	10,89	11,21
4	4t	4,20	4,08	8,04	7,62
4	5b	3,07	2,98	4,94	6,99
4	5t	0,00	0,00	0,00	2,03
5	1b	5,44	5,66	13,50	15,04
5	1t	5,36	5,18	11,47	13,46
5	2b	5,02	5,06	11,53	13,39
5	2t	5,22	5,78	9,35	10,46
5	3b	2,85	2,22	9,81	11,44
5	3t	3,28	3,54	8,58	11,35
5	4b	2,90	2,39	9,08	8,95
5	4t	2,25	1,04	12,27	8,05
5	5b	0,00	0,00	7,44	5,97
5	5t	1,45	0,00	2,88	3,34
5	6b	0,00	0,00	0,00	1,15
5	6t	0,00	0,00	0,00	0,00
6	1b	5,85	4,99	12,44	14,37
6	1t	4,58	4,46	13,58	14,89
6	2b	5,77	5,51	12,16	10,32
6	2t	5,18	4,57	12,27	11,17
6	3b	5,02	4,74	11,94	10,27
6	3t	4,79	4,41	11,15	11,24
6	4b	3,98	4,12	9,54	9,98
6	4t	0,00	0,00	5,46	3,65
6	5b	1,93	2,99	4,63	5,65
6	5t	0,00	0,00	2,58	1,77
6	6b	0,00	0,00	0,00	0,00
6	6t	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA 19A Diâmetro, posição na pilha de secagem e volume das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de *E. urophylla* MN463 em secagem em câmara de desumidificação

Caule	Tora	D1 (cm)	D2 (cm)	Posição	Volume (m <sup>3</sup> )
1	1b	20,0	19,0	Central	0,0568
1	1t	16,6	16,9	Inferior	0,0419
1	2b	18,0	17,5	Central	0,0470
1	2t	17,7	16,0	Superior	0,0425
1	3b	16,0	15,9	Inferior	0,0380
1	4t	13,5	12,6	Superior	0,0254
1	5b	12,5	11,0	Superior	0,0207
1	5t	11,4	11,0	Central	0,0187
1	6b	10,5	9,5	Inferior	0,0150
1	6t	9,0	8,0	Inferior	0,0108
2	1b	22,0	20,5	Inferior	0,0675
2	1t	19,7	18,4	Inferior	0,0542
2	2b	17,6	16,0	Superior	0,0422
2	2t	15,9	15,2	Inferior	0,0361
2	3b	15,4	15,1	Central	0,0347
2	3t	15,5	15,0	Central	0,0347
2	4b	14,7	14,1	Inferior	0,0310
2	4t	14,0	14,0	Superior	0,0292
2	5b	13,0	12,8	Central	0,0248
2	5t	12,6	12,0	Inferior	0,0226
2	6b	12,4	10,0	Inferior	0,0189
2	6t	10,0	9,6	Inferior	0,0143
3	1b	21,9	18,4	Inferior	0,0610
3	1t	18,0	17,6	Central	0,0473
3	2b	18,0	17,4	Central	0,0468
3	2t	16,8	16,5	Inferior	0,0414
3	3b	15,9	15,5	Superior	0,0368
3	3t	15,2	14,0	Central	0,0319
3	4b	15,5	14,7	Superior	0,0340
3	4t	14,6	14,0	Superior	0,0305
3	5b	13,8	12,4	Superior	0,0257
3	5t	10,1	9,5	Superior	0,0143
3	6b	10,4	10,2	Inferior	0,0158
3	6t	10,0	9,2	Central	0,0138
4	1b	21,2	19,3	Inferior	0,0613
4	1t	19,0	18,3	Inferior	0,0519
4	2b	18,4	18,0	Inferior	0,0494
4	2t	17,9	17,2	Inferior	0,0460
4	3b	17,5	17,0	Central	0,0444
4	3t	16,5	15,6	Central	0,0385
4	4b	15,3	15,0	Inferior	0,0343
4	4t	14,0	13,8	Superior	0,0288
4	5b	13,2	12,9	Central	0,0254
4	5t	12,1	12,0	Superior	0,0217
4	6b	11,7	10,7	Central	0,0188
4	6t	10,6	9,7	Superior	0,0154

“...continua...”

“TABELA 19A, Cont.”

5	1b	16,5	15,8	Central	0,0389
5	1t	14,4	14,4	Inferior	0,0309
5	2b	14,6	14,2	Superior	0,0309
5	2t	13,8	13,3	Superior	0,0274
5	3b	13,3	12,7	Central	0,0252
5	3t	12,1	10,8	Inferior	0,0196
5	4b	12,0	11,4	Superior	0,0204
5	4t	11,2	10,2	Superior	0,0171
5	5b	10,0	9,5	Inferior	0,0142
5	5t	9,1	8,0	Central	0,0110
6	1b	13,6	11,7	Central	0,0240
6	1t	12,0	11,8	Central	0,0211
6	2b	11,4	10,4	Central	0,0178
6	2t	11,6	10,7	Superior	0,0186
6	3b	10,5	10,0	Superior	0,0157
6	3t	10,0	9,4	Inferior	0,0141
6	4b	9,5	9,0	Superior	0,0128
6	4t	8,6	8,0	Inferior	0,0103
6	5b	8,0	7,2	Central	0,0086
6	5t	6,9	5,8	Inferior	0,0061

TABELA 20A Rachadura de topo medida nas duas extremidades das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de *E. urophylla* MN463 em secagem em câmara de desumidificação por 120 dias

Caulo	Tora	Início da secagem		Final da secagem	
		A (mm)	B (mm)	A (mm)	B (mm)
1	1b	7,98	6,35	13,67	9,57
1	1t	7,18	5,82	8,70	6,12
1	2b	6,65	4,17	7,58	5,31
1	2t	7,36	7,77	8,80	8,89
1	3b	8,60	6,44	10,90	8,23
1	3t	4,47	3,11	6,39	4,37
1	4b	3,84	2,96	3,99	3,16
1	4t	2,97	2,59	3,21	2,74
1	5b	3,65	3,24	3,72	3,44
1	5t	0,00	0,00	0,00	2,28
1	6b	0,00	0,00	0,00	0,00
1	6t	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1b	5,69	5,12	9,82	9,08
2	1t	6,80	6,27	10,18	10,00
2	2b	8,79	8,24	8,84	7,64
2	2t	7,25	6,17	8,86	7,29
2	3b	5,42	4,46	9,87	9,10
2	3t	8,20	7,46	7,30	7,01
2	4b	2,23	2,11	7,94	7,09
2	4t	7,90	6,92	4,89	3,84
2	5b	2,80	1,96	3,01	2,14
2	5t	0,00	0,00	0,00	0,00

“...continua...”

“TABELA 20A, Cont.”

2	6b	0,00	0,00	0,00	0,00
2	6t	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1b	5,02	4,84	9,07	8,78
3	1t	6,46	5,24	9,58	8,44
3	2b	6,42	5,08	9,45	8,54
3	2t	6,08	5,90	12,17	11,62
3	3b	8,79	7,76	8,30	7,29
3	3t	4,29	3,72	10,07	8,07
3	4b	7,61	4,58	7,02	3,99
3	4t	4,08	2,58	4,45	0,89
3	5b	4,15	0,00	4,95	0,00
3	5t	0,00	0,00	0,00	0,00
3	6b	0,00	0,00	0,00	0,00
3	6t	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1b	11,89	10,48	13,94	12,64
4	1t	6,39	5,91	8,82	7,98
4	2b	9,85	8,42	11,84	10,31
4	2t	9,95	9,04	11,84	11,07
4	3b	9,27	7,70	10,05	7,94
4	3t	7,86	6,84	12,15	11,12
4	4b	6,47	6,01	8,14	7,89
4	4t	6,15	5,92	7,64	6,89
4	5b	3,88	3,24	5,35	4,14
4	5t	0,00	1,11	2,78	3,01
4	6b	1,27	0,00	1,34	0,00
4	6t	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1b	6,49	6,01	8,79	8,22
5	1t	7,19	6,45	10,14	9,35
5	2b	6,15	6,36	7,88	7,49
5	2t	6,44	6,21	8,08	8,14
5	3b	5,12	5,03	6,01	5,94
5	3t	4,89	3,78	5,00	4,08
5	4b	5,76	5,45	7,05	6,75
5	4t	2,52	2,14	2,78	2,24
5	5b	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5t	0,00	0,00	0,00	0,00
6	1b	8,32	7,46	10,32	9,37
6	1t	8,60	8,02	10,11	8,47
6	2b	8,79	6,35	9,64	7,24
6	2t	6,41	6,32	8,80	7,41
6	3b	5,91	4,05	6,90	5,01
6	3t	3,72	3,01	4,12	3,47
6	4b	1,05	0,78	2,12	1,17
6	4t	1,27	0,88	2,41	1,29
6	5b	0,00	0,00	0,00	0,00
6	5t	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA 21A Umidade das toras de três caules com casca (1, 2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM01 após 120 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação

Caule	Tora	Método 3 discos	Método pesagem
1	1b	60,07	56,75
1	1t	55,59	50,76
1	2b	53,91	46,43
1	2t	51,29	44,06
1	3b	42,47	33,16
1	3t	44,87	38,29
1	4b	54,59	35,14
1	4t	37,92	32,64
1	5b	45,23	30,85
1	5t	35,15	31,85
2	1b	67,99	57,68
2	1t	62,23	54,53
2	2b	55,33	50,38
2	2t	46,09	38,89
2	3b	38,97	32,57
2	3t	40,83	38,03
3	1b	61,91	57,94
3	1t	74,85	69,82
3	2b	52,80	43,04
3	2t	47,95	40,49
3	3b	49,90	42,78
3	3t	45,29	40,45
3	4b	36,02	28,41
3	4t	33,63	26,71
3	5b	24,32	17,59
3	5t	23,79	16,07
4	1b	44,25	42,27
4	1t	52,28	46,15
4	2b	42,55	37,33
4	2t	42,51	38,54
4	3b	36,73	29,52
4	3t	34,54	28,70
4	4b	39,77	31,51
4	4t	26,49	20,70
4	5b	23,42	19,84
4	5t	16,58	16,12
5	1b	51,71	48,08
5	1t	52,41	46,18
5	2b	43,44	48,83

“...continua...”

“TABELA 21A, Cont.”

5	2t	47,71	48,53
5	3b	41,13	40,96
5	3t	36,72	34,35
5	4b	42,14	29,69
5	4t	41,19	30,33
5	5b	22,37	18,99
5	5t	20,90	15,60
5	6b	16,70	15,74
5	6t	14,63	15,07
6	1b	57,90	49,85
6	1t	51,16	49,87
6	2b	42,27	43,00
6	2t	45,44	42,55
6	3t	37,66	35,97
6	5b	21,65	12,33
6	6t	13,66	21,10

TABELA 22A Umidade das toras de três caules com casca (1,2 e 3) e três caules sem casca (4, 5 e 6) do clone de *E. urophylla* MN463 após 120 dias de secagem controlada em câmara de desumidificação

Caule	Tora	Método 3 discos	Método pesagem
1	1b	49,14	54,82
1	1t	34,34	51,34
1	2b	46,67	46,55
1	2t	34,67	36,8
1	3b	33,52	32,28
1	3t	34,73	43,04
1	4b	25,13	20,44
1	4t	23,07	33,21
1	5b	18,76	29,18
1	5t	19,42	30,21
1	6b	14,71	17,79
1	6t	13,71	15,17
2	1b	60,32	50,92
2	1t	31,76	49,52
2	2b	34,33	41,36
2	2t	41,38	48,69
2	3b	33,25	38,18
2	3t	25,92	35,92
2	4b	28,55	36,85
2	4t	26,44	33,47
2	5b	28,18	30,76
2	5t	21,81	27,22
2	6b	15,2	25
2	6t	15,09	23,99
3	1b	39,46	55,67
3	1t	39,89	53,64

“...continua...”

“TABELA 22A, Cont.”

3	2b	41,94	48,2
3	2t	38,27	31,17
3	3b	32,64	34,79
3	3t	31,98	18,98
3	4b	37,16	23,24
3	4t	27,2	22,96
3	5b	28,17	26,15
3	5t	16,29	17,78
3	6b	18,02	23,55
3	6t	16,02	20,42
4	1b	38,07	51,38
4	1t	37,68	48,61
4	2b	32,71	41,23
4	2t	33,28	37,67
4	3b	20,69	34,21
4	3t	26,86	35,86
4	4b	27,97	31,58
4	4t	27,1	32,77
4	5b	25,93	34,3
4	5t	21,71	32,19
4	6b	17,74	30,23
4	6t	12,76	23
5	1b	41,83	52,63
5	1t	30,01	51,66
5	2b	25,97	22,74
5	2t	26,47	35,05
5	3b	31,64	33,69
5	3t	18,85	27,13
5	4b	16,54	27,01
5	4t	14,7	20,8
5	5b	12,77	14,36
5	5t	16,53	14,81
6	1b	34,66	32,64
6	1t	19,53	26,52
6	2b	22,14	29,86
6	2t	22,55	27,97
6	3b	15,16	18,72
6	3t	13,43	16,03
6	4b	11,76	18,09
6	4t	11,71	17,95
6	5b	11,91	13,73
6	5t	11,32	14,06

TABELA 1B Análise de variância para secagem ao ar livre do clone VM01 com casca e sem casca em Lavras, MG, durante 200 dias.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	2	1,86367	0,931835	52,82	0,0000*
Resíduo	19	0,335172	0,017640632		
Total	21	2,198842			

\* significativo, a 99% de confiança.

TABELA 2B Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone VM01 com casca e sem casca em Lavras, MG, durante 200 dias.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Probabilidade
$\beta_0$	4,81799	0,178386	27,0087	0,0000*
$\beta_1$	-0,004165	0,0010593	-3,93179	0,0009*
$\beta_2$	-0,019607	0,063726	-0,307681	0,7617

\* significativo, a 90% de confiança.

TABELA 3B Análise de variância para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Lavras, MG, durante 153 dias.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	2	4,63639	2,318195	108,35	0,0000*
Resíduo	33	0,706057	0,021395667		
Total	35	5,342447			

\* significativo, a 99% de confiança.

TABELA 4B Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Lavras, MG, durante 153 dias.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Probabilidade
$\beta_0$	4,86388	0,20395	23,8483	0,0000*
$\beta_1$	-0,005838	0,0014529	-4,01794	0,0003*
$\beta_2$	-0,099248	0,0750577	-1,32228	0,1952

\* significativo, a 90% de confiança.

TABELA 5B Análise de variância para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Paraopeba, MG, durante 188 dias.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	2	16,3943	8,19715	1543,76	0,0000*
Resíduo	53	0,281422	0,005309849		
Total	55	16,675722			

\* significativo, a 99% de confiança.

TABELA 6B Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Paraopeba, MG, durante 188 dias.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Probabilidade
$\beta_0$	4,98922	0,039231	127,176	0,0000*
$\beta_1$	-0,00520565	0,000386294	-13,4759	0,0000*
$\beta_2$	-0,199688	0,0167187	-11,9439	0,0000*

\* significativo, a 90% de confiança.

TABELA 7B Análise de variância para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Lavras, MG, durante 90 dias.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	2	0,659297	0,3296485	33,86	0,0000*
Resíduo	15	0,146051	0,009736733		
Total	17	0,805348			

\* significativo, a 99% de confiança.

TABELA 8B Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone MN463 sem casca em Lavras, MG, durante 90 dias.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Probabilidade
$\beta_0$	5,46687	0,399455	13,6858	0,0000*
$\beta_1$	-0,00190044	0,00355985	-0,533854	0,6013
$\beta_2$	-0,284225	0,149163	-1,90546	0,0761*

\* significativo, a 90% de confiança.

TABELA 9B Análise de variância para secagem ao ar livre do clone MN463 com casca e sem casca em Paraopeba, MG, durante 80 dias.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	2	4,35868	2,17934	941,71	0,0000*
Resíduo	69	0,159683	0,002314246		
Total	71	4,518363			

\* significativo, a 99% de confiança.

TABELA 10B Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone MN463 com casca e sem casca em Paraopeba, MG, durante 80 dias.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Probabilidade
$\beta_0$	5,20407	0,0735191	70,7853	0,0000*
$\beta_1$	-0,006454	0,0008877	-7,27079	0,0000*
$\beta_2$	-0,171535	0,0303248	-5,6566	0,0000*

\* significativo, a 90% de confiança.

TABELA 11B Análise de variância para secagem ao ar livre do clone VM01 com casca e sem casca em Paraopeba, MG, durante 80 dias.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	2	5,01045	2,505225	525,00	0,0000*
Resíduo	69	0,329256	0,004772		
Total	71	5,339706			

\* significativo, a 99% de confiança.

TABELA 12B Análise dos parâmetros da regressão para secagem ao ar livre do clone VM01 com casca e sem casca em Paraopeba, MG, 80 dias.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Probabilidade
$\beta_0$	5,30609	0,105569	50,2618	0,0000*
$\beta_1$	-0,00388817	0,0012746	-3,05042	0,0032*
$\beta_2$	-0,286913	0,0435446	-6,58894	0,0000*

\* significativo, a 90% de confiança.

TABELA 1C Análise de variância para secagem controlada em câmara de desumidificação do clone VM01 com casca e sem casca, durante 120 dias.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	2	2,27059	1,135295	80,59	0,0000*
Resíduo	17	0,239495	0,014087		
Total	19	2,510085			

\* significativo, a um nível de confiança de 99%

TABELA 2C Análise dos parâmetros da regressão para secagem controlada em câmara de desumidificação do clone VM01 com casca e sem casca, durante 120 dias.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Probabilidade
$\beta_0$	5,34819	0,373712	14,311	0,0000*
$\beta_1$	-0,00377156	0,0025217	-1,49567	0,1531
$\beta_2$	-0,307195	0,13212	-2,32512	0,0327*

\* significativo, a 90% de confiança

TABELA 3C Análise de variância para secagem controlada em câmara de desumidificação do clone MN463 com casca e sem casca, durante 120 dias.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	2	3,29212	1,64606	125,14	0,0000*
Resíduo	21	0,276234	0,013154		
Total	23	3,568354			

\* significativo, a 99% de confiança de confiança

TABELA 4C Análise dos parâmetros da regressão para secagem controlada em câmara de desumidificação do clone MN463 com casca e sem casca, durante 120 dias.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Probabilidade
$\beta_0$	5,01609	0,19651	25,5258	0,0000*
$\beta_1$	-0,00617455	0,0018025	-3,42547	0,0025*
$\beta_2$	-0,222239	0,0751813	-2,95604	0,0075*

\* significativo, a 90% de confiança