

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

VINNICIUS DORDENONI PIZZOL

SECAGEM NATURAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* SOB DOIS
AMBIENTES DE EXPOSIÇÃO

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2010

VINNICIUS DORDENONI PIZZOL

SECAGEM NATURAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* SOB DOIS
AMBIENTES DE EXPOSIÇÃO

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal do
Espírito Santo, como requisito parcial
para obtenção do título de
Engenheiro Industrial Madeireiro.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2010

VINNICIUS DORDENONI PIZZOL

SECAGEM NATURAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* SOB DOIS
AMBIENTES DE EXPOSIÇÃO

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro

Aprovada em 18 de novembro de 2010

COMISSÃO EXAMINADORA

Professor MSc. Djeison Cesar Batista
DEF/CCA/UFES
Orientador

Professora Dra. Graziela Baptista Vidaurre
DEF/CCA/UFES

Professor MSc. Fabrício Gomes Gonçalves
DEF/CCA/UFES

Dedico este trabalho aos meus pais, Sr. Maurilio Pizzol e Sra. Orelinda Izabel Dordenoni Pizzol, pelo apoio, incentivo, carinho, amor e por ter acreditado no meu potencial e mesmo em momentos difíceis permitiram que eu continuasse a estudar.

“Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis.”

Bertolt Brecht

AGRADECIMENTOS

Ao Deus Pai e a Nossa Senhora da Penha pela vida, pela minha família, pelos amigos e por todas as conquistas.

Ao professor, orientador e, sobretudo, amigo MSc. Djeison Cesar Batista, pela ajuda, pelos ensinamentos e sugestões ao decorrer do trabalho.

Às professoras: Dra. Graziela Baptista Vidaurre, Dra. Marina Donária Chaves Arantes e Dra. Cynara Fiedler Bremer, pela amizade, apoio, carinho, conselhos e ensinamentos que muito contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

Ao professor Dr. Clovis Eduardo Nunes Hegedus pela doação da madeira e disponibilidade de instalações físicas e mão de obra.

Aos professores: Dr. Jorge Luís Nunes de Góes, Dr. Marcelo Nogueira e Dr. Paulo Cesar Oliveira, pelo apoio e pelas oportunidades oferecidas nos projetos de iniciação científica.

Aos professores: Dr. Wendel Sandro de Paula Andrade, MSc. Ana Aparecida Barbosa, Dr. José Tarcisio de Oliveira, MSc. Fabrício Gomes Gonçalves, Dr. Juarez Benigno Paes, Dr. Macksuel Soares de Azevedo e MSc. Humberto Fantuzzi Neto, pelo conhecimento transmitido nas disciplinas.

Aos colegas de graduação Rafael Bridi Corteletti e Ana Carolina Boa que ajudaram na realização desse trabalho. Aos demais colegas de graduação pela amizade e convivência.

Às pessoas mais importantes da minha vida: Leandro Dordenoni Pizzol (irmão), Victor Dordenoni Pizzol (irmão), Lucas Dordenoni Pizzol (irmão), Elexandra Tânia Pizzol (tia), Ana Cláudia Falqueto Féu (prima), Fernanda Dias Lima (cunhada), Claudiane Aparecida Egg (tia) Oderio Dordenoni (tio), Célia Pizzol Tobá (tia), Tiago Tobá (tio), Cláudia Márcia Pizzol Uliana (tia), Leomar Uliana (tio), Acacio Pinto Pizzol (primo) e todos os demais, por tudo que representam para mim.

Ao meu primo, Adriano Pinto Pizzol, que mesmo em memória sempre esteve ao meu lado sendo um suporte para ultrapassar todos os obstáculos.

Muito Obrigado!

RESUMO

A secagem natural consiste em expor à madeira a ação dos fatores climáticos naturais de um local. Os principais fatores são temperatura e umidade relativa do ar que em permanente alteração servem para estabelecer um equilíbrio higroscópico entre o ambiente e a madeira. A secagem natural da madeira é uma técnica simples e que não requer elevado investimento inicial, no entanto, a duração depende das características da espécie de madeira, das condições climáticas, e da forma de empilhamento. Mas, em qualquer caso, o processo é relativamente lento. Dentre as essências florestais, o *Eucalyptus grandis* é a espécie mais plantada no Brasil atualmente, tanto em pequenas propriedades quanto em grandes empresas florestais, devido ao rápido crescimento e grande gama de aplicações da sua madeira. O objetivo principal desse trabalho foi avaliar a secagem natural da madeira de *Eucalyptus grandis* no município de Espera Feliz, Minas Gerais, sob dois ambientes de exposição: em galpão e ao ar livre. Foram estudados três tratamentos: 1- pilha exposta ao ar livre sem cobertura; 2- pilha exposta ao ar livre coberta por telhas de fibrocimento e; 3- pilha dentro de um galpão de alvenaria com cobertura. Estudou-se a densidade básica, densidade anidra, umidade inicial, taxa de secagem, umidade de equilíbrio e umidade final. A avaliação da secagem foi embasada na umidade final e na umidade de equilíbrio do ambiente. Os tratamentos expostos ao ar livre apresentaram secagem mais rápida do que o do galpão. Dentre os tratamentos ao ar livre o tratamento sem cobertura atingiu menor umidade final. Dentro do período estudado (112 dias) nenhum tratamento atingiu a umidade de equilíbrio com o ambiente, e, para tal, recomenda-se que o período de secagem seja prolongado.

Palavras-chave: Secagem natural. Madeira. *Eucalyptus grandis*. Taxa de secagem.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo geral	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Secagem	4
2.2 Movimentação da água durante a secagem	5
2.3 Fatores que influenciam a secagem	7
2.3.1 Externos	7
2.3.1.1 Temperatura	7
2.3.1.2 Umidade relativa do ar	8
2.3.1.3 Circulação do ar	8
2.3.2 Características intrínsecas da madeira	8
2.4 Secagem ao ar livre	9
2.6 O eucalipto	10
2.7 A secagem da madeira de eucalipto	12
3 METODOLOGIA	14
3.1 Localização e características do material utilizado	14
3.2 Densidade básica	14
3.3 Tratamentos	16
3.4 Preparação da pilha	17
3.4.1 Pilhas de secagem ao ar livre	17
3.4.2 Pilha de secagem do galpão	18
3.5 Confeção das amostras de controle de secagem	19
3.5.1 Posicionamento no fuste das peças que deram origem as amostras de controle	19
3.5.2 Amostras de controle	20

3.5.3 Amostra de umidade inicial	21
3.6 Controle da umidade das pilhas	22
3.7 Taxa de secagem	23
3.8 Umidade de equilíbrio	23
3.9 Densidade anidra	24
4 RESULTADOS	25
4.1 Densidade básica das árvores	25
4.2 Comportamento da secagem dentro dos tratamentos	25
4.2.1 Pilha ao ar livre sem cobertura	25
4.4.2 Pilha ao ar livre com cobertura	27
4.4.3 Pilha no galpão	28
4.3 Comportamento da secagem entre os tratamentos	29
5 CONCLUSÕES	32
6 REFERÊNCIAS	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados	16
Tabela 2 – Posicionamento das amostras de controle no fuste da árvore	20
Tabela 3 – Médias dos parâmetros da secagem ao ar livre da pilha de secagem sem cobertura	26
Tabela 4 – Médias dos parâmetros da secagem ao ar livre da pilha de secagem com cobertura	27
Tabela 5 – Médias dos parâmetros da secagem no galpão	28
Tabela 6 – Médias dos parâmetros da secagem natural entre os tratamentos.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Curva característica de secagem para materiais porosos .	7
Figura 2 –	Curva característica de secagem	12
Figura 3 –	Método de amostragem para determinação da densidade média	14
Figura 4 –	Amostragem para densidade básica	15
Figura 5 –	Vista superior da base da pilha	17
Figura 6 –	Vista lateral da pilha montada	18
Figura 7 –	Pilhas exposição ao ar livre	18
Figura 8 –	Galpão e parte da pilha de secagem durante a preparação	19
Figura 9 –	Origem das amostras de controle	19
Figura 10 –	Esquema da retirada das amostras de controle e de umidade	20
Figura 11 –	Posicionamento e designação das amostras de controle – Seção transversal	21
Figura 12 –	Amostragem para a densidade anidra	24
Figura 13 –	Comportamento da secagem ao ar livre das amostras de controle da pilha sem cobertura em relação a umidade de equilíbrio	26
Figura 14 –	Comportamento da secagem ao ar livre das amostras de controle da pilha com cobertura em relação a umidade de equilíbrio	28
Figura 15 –	Comportamento da secagem ao ar livre das amostras de controle da pilha do galpão em relação a umidade de equilíbrio	29
Figura 16 –	Comportamento da secagem natural dos tratamentos em relação a umidade de equilíbrio	31

1 INTRODUÇÃO

A madeira desde primórdios é utilizada pelos seres humanos, foi um dos primeiros materiais utilizados pelo homem; para sua defesa (como arma ou fazendo parte dela) para se aquecer, cozinhar, para a iluminação, nos primeiros abrigos, nas primeiras jangadas e barcos. Sendo fundamental durante o período das grandes navegações na confecção de caravelas e na revolução industrial, utilizada como fonte de geração de energia nas máquinas a vapor. A técnica de trabalhar e processar a madeira tem evoluído desde o processo manual e primitivo, até equipamentos automáticos e uma vasta engenharia.

A evolução traz novos materiais, mas a madeira e seus derivados continuam a ser usados em larga escala. A madeira é um material ecologicamente correto, sendo uma matéria prima renovável, oriunda das árvores, que “sequestram” dióxido de carbono da atmosfera e liberam oxigênio durante a fase de crescimento. Tais características têm justificado o uso da madeira na atualidade com grande apelo social e ambiental.

O gênero *Eucalyptus*, oriundo da Oceania, adaptou-se de forma expressiva ao solo e às condições climáticas do Brasil. No ano de 2008, segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2009), a área plantada de *Eucalyptus* no Brasil chegou a 4.259.000 ha, correspondente a um crescimento de 7,3% em relação ao ano anterior. As florestas plantadas estão distribuídas estrategicamente para atender a demanda industrial madeireira, em sua maioria, nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo.

A grande difusão desse gênero se dá pelo seu rápido crescimento, destacando o *Eucalyptus grandis* como a cultura mais produtiva e competitiva do mundo, em função das condições favoráveis do Brasil e dos métodos silviculturais empregados (SANTOS, 2002).

A secagem da madeira é uma etapa do processamento industrial que agrega valor, pois torna o material mais estável, permite os acabamentos da superfície, a aplicação de adesivos, tintas e vernizes, dentre uma série de outros benefícios (SANTOS; JANKOWSKY; ANDRADE, 2003).

Segundo Eleotério e Badia (2008), a secagem ao ar livre é o método mais antigo de reduzir o teor de umidade da madeira. O método, por um longo período, foi

desconsiderado como uma alternativa de engenharia, principalmente pela falta de controle das condições ambientais. Atualmente, considerando a pressão pela redução no consumo de energia térmica e elétrica, a dificuldade de secagem de determinadas espécies de madeira, que resulta em secagem muito lenta e a pressão ambiental pela utilização racional dos recursos florestais, o método tem sido revisto como alternativa interessante.

Algumas limitações e características da secagem ao ar não devem ser esquecidas, como a lentidão do processo em relação à secagem artificial, a necessidade de grandes estoques e de grandes áreas para o pátio de secagem, o risco de incêndios e ataque de fungos, a dificuldade de prever o tempo final da secagem e assim planejar melhor a produção. Porém, para algumas espécies em que a secagem em estufa também é muito lenta, a secagem ao ar pode ser combinada com a secagem convencional resultando em redução do tempo de secagem em estufa e considerável economia de energia térmica e elétrica mantendo a qualidade do produto (SANTOS, 2002).

1.1 O problema e sua importância

A utilização de eucalipto é cada vez maior devido a pressões ambientais com relação ao uso de madeiras provenientes de florestas nativas. A secagem é etapa de suma importância no processamento da madeira melhorando significativamente as propriedades desse material.

A secagem do eucalipto é conhecida como de difícil realização devido às tensões crescimento somadas às tensões desenvolvidas durante a secagem. O resultado dessa soma são os defeitos que podem comprometer o uso dessa madeira para fins mais nobres (BATISTA, 2009). Sendo necessário, o desenvolvimento de pesquisas e técnicas focadas na secagem do eucalipto visando à utilização em produtos de maior valor agregado.

A secagem ao ar livre surge como opção, com baixo investimento e resultados suficientemente satisfatórios. No entanto, a secagem ao ar livre depende inteiramente das condições ambientais, temperatura, regime de chuva, umidade relativa e direção dos ventos. Então, qual o tipo de ambiente ou tratamento oferece uma secagem de maior qualidade?

A transformação racional da madeira bruta em produtos e bens de consumo requer a sua secagem prévia pelas seguintes razões: a secagem assegura a madeira dimensionamento estável, reduz a massa e conseqüentemente o custo de transporte, facilita a trabalhabilidade e o acabamento final, aumenta a resistência mecânica e reduz o ataque de fungos (BATISTA, 2009).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objeto geral

Avaliar a secagem natural da madeira de *Eucalyptus grandis* no município de Espera Feliz, Minas Gerais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar a secagem realizada em duas condições de exposição: em galpão e ao ar livre;
- Dentre a condição ao ar livre, comparar a secagem com cobertura e sem cobertura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Secagem

A secagem da madeira pode ser explicada como a evaporação da umidade superficial, que é absorvida pela atmosfera local e ao mesmo tempo a translocação da umidade interior para as zonas superficiais.

Segundo Severo (2007), a secagem da madeira é o processo de redução do teor de umidade a fim de levá-la sem danos a um teor de umidade definido, com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de uma forma economicamente viável, para o uso a que se destinará.

De acordo com Jankowsky (1990), a madeira proveniente de árvores recém abatidas apresenta alto teor de umidade, que tende a reduzir-se espontânea e lentamente à medida que as toras aguardam o desdobro primário. Após o desdobro, a umidade continua a diminuir com maior ou menor rapidez em função da espécie, das condições ambientais, das dimensões das peças e do empilhamento utilizado. Entretanto, o processamento final só deve ser efetuado quando a umidade atingir níveis inferiores a 30%, correspondente ao ponto de saturação das fibras teórico (PSF).

Os principais benefícios obtidos com a secagem da madeira de acordo Jankowsky (1990) e Severo (2007) são:

- Redução na massa da madeira, com isto, redução no custo de transporte;
- Redução da movimentação dimensional a limites aceitáveis. Como consequência, as peças de madeira podem ser produzidas com maior precisão de dimensões, proporcionando melhor desempenho em serviço;
- Redução dos riscos de ataque de fungos apodrecedores, manchadores e a maioria dos insetos xilófagos. A madeira verde é uma das principais fontes de alimento, tanto para fungos, quanto para os insetos. O ataque desses organismos pode comprometer seriamente as propriedades mecânicas da madeira, além de alterar significativamente sua aparência, ocasionando redução no seu valor econômico;
- Melhoria das propriedades mecânicas da madeira, tais como a resistência à flexão, compressão e dureza;

- A resistência das uniões ou juntas feitas com pregos e parafusos é maior em madeira seca;
- A madeira úmida é imprópria para colagem ou tratamento preservativo pela maioria dos processos industriais;
- A maioria das deformações (empenamentos) e rachaduras ocorrem durante a secagem, produtos feitos com madeira seca estarão livres desses defeitos;
- Madeira seca apresenta melhores resultados de aplainamento, lixamento, furação, ligamento e será mais facilmente impregnada por produtos químicos preservativos em autoclaves ou retardantes de fogo, bem como aceitará mais facilmente pinturas, vernizes, ceras e outros materiais de acabamento.

2.2 Movimentação da água durante a secagem

Segundo Severo (2007), durante a secagem, o que ocorre normalmente com a água presente no interior da madeira é uma movimentação das zonas de alta umidade para zonas de baixa umidade, ou seja, a parte mais externa da madeira deverá estar mais seca que o seu interior para que ocorra a secagem. A água é liberada para o ambiente através das fibras e o processo de secagem é mais rápido quanto mais alta for a temperatura ambiente, menor for a umidade relativa e maior for a velocidade do ar.

Santos (2002) e Klitzke (2007) apontam três fases ou três estágios de secagem da madeira. Na primeira fase é retirada a água livre, que se localizada nos lumes, meatos, pontoações e espaços celulares. Teoricamente, este tipo de água pode ser facilmente retirado. Nesta fase a taxa de secagem é constante. A água na forma líquida passa de uma célula para outra até atingir a superfície externa da madeira, governadas por forças capilares. A redução da umidade ocorre de forma linear, sem causar variação nas dimensões das peças (KLITZKE; BATISTA, 2010). Na fase 1 a transferência de calor ocorre do ambiente para a superfície por convecção forçada, e desta para o interior da madeira por condução.

Segundo Klitzke (2007), a segunda fase (primeira fase de taxa decrescente) se inicia quando praticamente toda a água livre já foi retirada do interior madeira, passando a ser deslocada a água higroscópica ou de impregnação. Este tipo de água está localizado no interior das paredes celulares, ligado às microfibrilas em

estado de vapor. A retirada deste tipo de água é mais difícil e o processo geralmente é mais lento, sendo necessária a utilização de mais energia térmica nessa fase.

A transferência de calor por condução ganha mais importância, em detrimento da convecção, iniciando assim a contração da madeira, dando origem a defeitos de secagem, tais como rachaduras e empenamentos. A transferência de massa passa a ser por difusão, em detrimento da capilaridade. Klitzke (2007) define difusão como a transferência de moléculas de água de uma zona de alta pressão de vapor para outra de menor pressão de vapor.

O ponto de saturação das fibras (PSF) é alcançado em determinado momento da segunda fase, e a partir desse ponto começa a ocorrer a contração da madeira, melhoria nas propriedades mecânicas e resistência ao ataque de organismos xilófagos. O PSF é alcançado quando a água livre é completamente perdida para a atmosfera, restando apenas à água de impregnação e de constituição. Isto é, as cavidades estão vazias e as paredes celulares estão saturadas, denominando tal estágio como ponto de saturação das fibras, situando-se entre 25% a 35%, de acordo com a espécie (GONZAGA, 2006).

Na terceira e última fase (segunda fase de taxa decrescente) a movimentação da massa ocorre apenas pela difusão tanto internamente quanto externamente. Já a transferência de calor é feita predominantemente por condução (KLITZKE, 2007).

Silva (2002) aponta que esse estágio ou fase final começa quando a linha de evaporação fica restrita apenas ao centro da peça de madeira e se encerra até atingir a umidade de equilíbrio.

Ponce e Watai (1985) definem umidade de equilíbrio como a situação na qual a madeira não doa nem recebe água do ambiente. Isto é, a madeira quando úmida perde vapor de água para atmosfera, e quando seca pode adsorver vapor de água do ambiente que a circunda, na umidade de equilíbrio nenhum dos dois casos ocorre. A umidade de equilíbrio varia de acordo com o ambiente que a madeira está empregada, a temperatura e a umidade relativa.

A Figura 1 representa a curva característica da secagem de materiais porosos, como a madeira, correspondente a variação da taxa de secagem em função do teor de umidade.

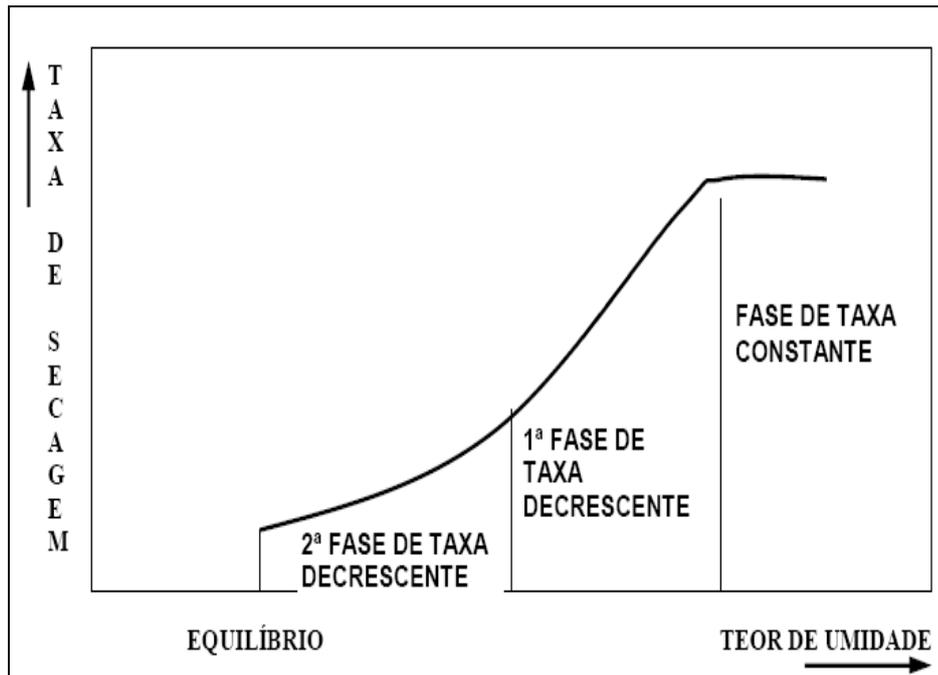


Figura 1 – Curva característica de secagem para materiais porosos

Fonte: Jankowsky; Santos; Andrade (2003).

2.3 Fatores que influenciam a secagem

2.3.1 Externos

2.3.1.1 Temperatura

Existe uma correlação diretamente proporcional entre a temperatura e a velocidade de secagem, a qual quanto maior a temperatura maior será a velocidade de secagem (SEVERO, 2007).

A secagem da água higroscópica ou de adesão é influenciada diretamente pela temperatura. A elevação da temperatura provocará uma alteração na umidade relativa do ar, acelerando o processo de difusão, responsável direto pelo aumento da taxa de secagem (SEVERO, 2007). Cabe salientar que o aumento não planejado da temperatura pode causar defeitos irreversíveis na madeira em secagem.

2.3.1.2 Umidade relativa do ar

A umidade relativa determina a capacidade do ar de absorver ou ceder umidade para os materiais inseridos na atmosfera. O ar seco (com baixa umidade relativa) tem alta capacidade de absorver umidade na forma de vapor de água, favorecendo o processo de secagem (KLITZE, 2007).

Severo (2007), de forma bem sucinta define umidade relativa do ar como a razão entre a quantidade de vapor de água contida em um determinado volume de ar e a quantidade máxima que este mesmo volume pode conter, a uma mesma temperatura.

2.3.1.3 Circulação do ar

O ar que circunda pelas peças de madeira, gradativamente vai recebendo a água contida na mesma, tornando-se saturado, levando a um ponto em que a transferência da umidade da madeira para o ar cessa. A necessidade da circulação de ar está em substituir o ar com alto teor de umidade por ar seco.

Segundo Severo (2007), outra importância da circulação do ar é fornecer calor de forma uniforme para todas as peças da pilha de madeira. O mesmo autor relata que essa circulação é de extrema importância na remoção da água acima do PSF, ou seja, nas duas primeiras fases de secagem.

2.3.2 Características intrínsecas da madeira

A secagem da madeira nas folhosas e coníferas está diretamente relacionada com a sua estrutura celular. Nas folhosas, o lenho é composto por mais tipos de células, no qual os mais representativos são: fibras, elementos de vaso e células parenquimáticas. As coníferas são compostas basicamente por traqueídeos e parênquima radial. Em comparação com as folhosas, as coníferas apresentam estrutura celular mais simples, resultando geralmente em um processo de secagem mais fácil e mais rápido (KLITZE, 2007).

Severo (2007) destaca como aspecto importante a distinção entre cerne e albarno e aponta a alta permeabilidade do albarno como um dos fatores da secagem mais rápida, do mesmo, em relação ao cerne.

A espessura das peças influi diretamente no tempo de secagem, propiciando o surgimento de defeitos (rachaduras e empenamentos) quando a secagem não é bem conduzida. Quanto maior a espessura da madeira, maior será o tempo de

secagem. A espessura das peças é um fator relevante no processo de secagem, devendo-se tomar cuidados, na preparação da carga, evitando-se a mistura de peças com espessuras diferentes, mesmo de uma mesma espécie. A rapidez da secagem é inversamente proporcional à espessura da peça de madeira. Quanto maior a espessura da madeira maior será a quantidade de parede celular a ser atravessada (KLITZE, 2007).

A orientação do corte influencia a secagem, pois o fluxo da umidade varia de acordo com a direção estrutural. Segundo Severo (2007), o fluxo no sentido longitudinal é 10 a 15 vezes maior que no transversal (radial e tangencial), enquanto esse fluxo é de 20 a 50% maior no sentido radial que no tangencial.

Dentre os fatores inerentes à madeira que influenciam na secagem encontram-se ainda a densidade, tipos de pontuação, deposições celulares, extrativos, presença de tiloses, lenho inicial e lenho tardio e tipos de porosidades (KLITZE, 2007).

2.4 Secagem ao ar livre

A secagem ao ar livre é apontada por Ponce e Watai (1995) como a maneira mais fácil de secar madeira, sendo um processo considerado rápido na etapa inicial, quando a umidade está acima do PSF, e que se torna lento quando a umidade da madeira se aproxima do estágio de equilíbrio com o ambiente.

Na secagem ao ar livre o controle do processo é limitado e, às vezes, inexistente. Apesar disso, a secagem ao ar não é inferior à secagem em estufa, considerando a qualidade do produto final (KLITZKE, 2007). Entretanto, requer mais tempo, durante o qual o capital fica imobilizado e tem um risco prolongado de degradação ou perda (ataques por organismos xilófagos, incêndios e eventos externos).

A secagem ao ar livre pode não ser suficiente para certos usos, como a confecção de móveis e assoalhos, porque a umidade final atingida pela madeira depende das condições climáticas da região onde se realiza a secagem (SEVERO, 2007).

Segundo Mendes et al. (1997) a secagem ao ar livre depende de fatores ambientais que não podem ser totalmente controlados (temperatura, umidade

relativa, velocidade e direção dos ventos). No entanto, o mesmo autor define que podem-se manejar alguns fatores, como a orientação e tamanho das pilhas de madeira, altura da base, dimensões dos tabiques e o espaçamento entre as peças.

O pátio de secagem ao ar livre geralmente se situa próximo ao local onde a madeira foi processada, por questões de custo de transporte. Esse local deve ser alto e plano para favorecer a ventilação, facilitar o empilhamento e a movimentação. Ainda, deve ser bem drenado, sem árvores, arbustos ou construções que possam impedir a incidência direta dos raios solares ou a circulação dos ventos e ainda ausente de corpos de água que possam saturar o ar (PONCE; WATAI, 1985).

Silva et al. (1997) concluíram que a secagem ao ar livre permite alcançar valores de umidade da madeira até a umidade de equilíbrio com as condições climáticas locais. Por isso, recomendaram que a secagem ao ar livre seja executada na região onde a madeira for utilizada definitivamente ou que seja feito, pelo menos, uma aclimatização desta madeira antes de ser utilizada. A umidade final das tábuas de *Eucalyptus grandis* encontrada pelos autores, com largura variando de 150 a 330 mm, espessura entre 21 a 32 mm e comprimento entre 2,1 a 2,75 m, foi de 12,87% a 18,90%, sendo que a umidade de equilíbrio média anual da cidade de Ubá/MG, onde foi realizado o experimento é de 14,37%. O período de secagem foi de 72 dias.

2.6 O eucalipto

Existem mais de 700 espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus*, originárias, sobretudo, da Austrália e da Indonésia. Dentre as principais espécies plantadas em todo o mundo para fins comerciais estão o *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. globulus*, *E. dunnii* e *E. nitens* (DOSSA et al., 2002).

O gênero *Eucalyptus*, pertence à família Myrtaceae, é representado por árvores com alta taxa de crescimento, plasticidade, fuste retilíneo, desrama natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas, adaptadas às mais variadas condições de uso (OLIVEIRA et al., 1999).

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil no século XIX, com mudas oriundas de Portugal e plantadas no estado do Rio Grande do Sul. Os primeiros estudos foram conduzidos por Edmundo Navarro de Andrade a pedido da

Companhia Paulista de Vias Férreas e Fluviais, com a finalidade de reflorestamento (SANTOS, 2002).

Segundo Martini (2004), o objetivo inicial da introdução do eucalipto era de paisagismo, depois passou a ser utilizado para suprir as necessidades de lenha, postes e dormentes das estradas de ferro na Região Sudeste. Na década de 50, passou a ser usado como matéria-prima no abastecimento das fábricas de papel e celulose.

O plantio de eucalipto teve um crescimento expressivo durante o período dos incentivos fiscais, nas décadas de 60 e 70, e perdurou até meados dos anos 80. Esse período foi considerado um marco na silvicultura brasileira, dado os efeitos positivos que gerou no setor. A partir do término dos incentivos fiscais houve um crescimento marginal negativo no plantio de eucaliptos. Os plantios independentes dos investimentos, feitos pelas indústrias de papel e celulose e siderúrgicas a carvão vegetal foram exceções a essa regra (MARTINI, 2004).

De acordo com Ponce (1995) a eucaliptocultura brasileira é uma das mais desenvolvidas do mundo, no que se refere aos aspectos silviculturais. Contudo, o País ainda é carente de tecnologias adequadas para a utilização da madeira deste gênero para uso na indústria moveleira e produtos manufaturados.

Atualmente quase tudo se aproveita do eucalipto. Das folhas, são extraídos óleos essenciais empregados em produtos de limpeza, alimentícios, perfumes e até em remédios. A casca oferece tanino, usado no curtimento do couro e fabricação de adesivos. O tronco fornece madeira para sarrafos, ripas, vigas, postes, varas, esteios para minas, mastros para barco, tábuas para embalagens e móveis. A fibra é utilizada como matéria-prima para a fabricação de celulose e papel (PONCE, 1995).

A produtividade do eucalipto, dado o seu rápido crescimento, pode ser considerada como um dos principais fatores que determinaram sua expansão no mercado de papel e celulose e, também, para serraria (DOSSA et al., 2002)

Moura et al. (1992), apontam o *Eucalyptus grandis*, por seu crescimento, forma e alguns aspectos tecnológicos, uma das espécies preferidas para reflorestamento e, sem dúvida nenhuma, a mais difundida no Brasil. Além disso, ressalta-se a sua utilização no cruzamento com outras espécies para a formação de híbridos, por exemplo, o *Eucalyptus urophylla x grandis*, gerado do cruzamento entre *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, uma nova variedade que associa as propriedades das duas espécies.

2.7 A secagem da madeira de eucalipto

Zenid (2009) define que as madeiras de espécies de eucalipto são consideradas difíceis de secar, podendo ocorrer defeitos como colapso, empenamentos e rachaduras, sendo recomendável a secagem ao ar, ou o uso de pré-secador, antes da secagem em câmara convencional.

O eucalipto foi introduzido no País para a produção de lenha e carrega até hoje, o estigma de madeira de baixa qualidade, que racha e empena demasiadamente e que dificilmente poderia ser usada para fins mais nobres (MARTINI, 2004). Na verdade, a madeira de eucalipto é como as demais madeiras, devendo ser processada com cuidados no desdobro e na secagem (PONCE, 1995).

A madeira de eucalipto de acordo com a Figura 2 não apresenta a fase de taxa constante na sua curva característica de secagem (Jankowsky; Santos; Andrade, 2003).

A baixa permeabilidade do eucalipto favorece o colapso, enquanto os gradientes de umidade favorecem as rachaduras, defeitos que tendem a aumentar com a elevação da temperatura de secagem. Essa é a razão fundamental da madeira de eucalipto ser conhecida pela secagem lenta e difícil e com propensão a defeitos, que podem ser agravados pela liberação das tensões de crescimento (Jankowsky; Santos; Andrade, 2003).

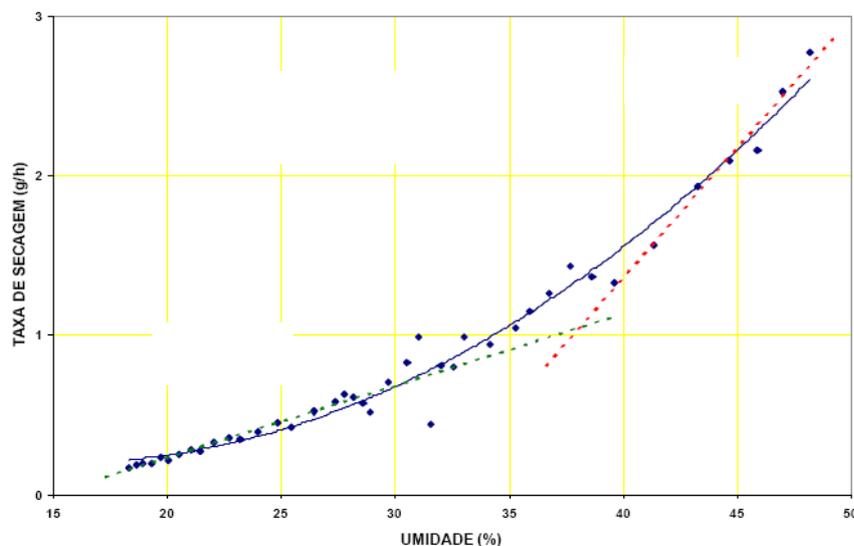


Figura 2 – Curva característica de secagem

Fonte: Jankowsky; Santos; Andrade (2003).

Silva et al. (1997) estudaram a secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis* e concluíram que o uso de placas de concreto sobre a pilha, para impedir que as tábuas se movimentassem e empenassem durante a secagem, sendo esse o fator principal na redução do número dos empenamentos. Os mesmos autores afirmam que as peças localizadas na porção inferior-central da pilha possuíam os maiores valores de umidade, indicando que a altura da base utilizada foi insuficiente, para garantir a troca do ar úmido localizado nestas regiões, recomendando alturas superiores a 50 cm para as bases das pilhas de secagem ao ar livre.

3 METODOLOGIA

3.1 Localização e características do material utilizado

A madeira utilizada neste trabalho foi oriunda de um povoamento de *Eucalyptus grandis* de 34 anos, localizado na Fazenda Paraíso, 20° 32' 44,36" S e 41° 49' 30,03" W, município de Espera Feliz, estado de Minas Gerais. O espaçamento é variável e nenhuma forma de manejo foi adotada devido à topografia inclinada do terreno.

Foram abatidas duas árvores com motosserra, e posteriormente transformadas em toras e desdobradas com o uso de motosserra em vigas (peças menores) e pranchões (peças maiores) com espessura variável entre 70 e 80 mm, largura variável entre 130 e 260 mm e comprimento de 2000 mm. A nomenclatura das peças obedeceu à norma NBR 14807: 2002 – Peças de madeira serrada – Dimensões (ABNT, 2002).

3.2 Densidade básica

O cálculo da densidade básica das árvores baseou-se na metodologia proposta por Vital (1984) modificada. Cada árvore foi seccionada em toras de 2 m e entre cada tora foi retirado um disco de 2,5 cm, Figura 3.

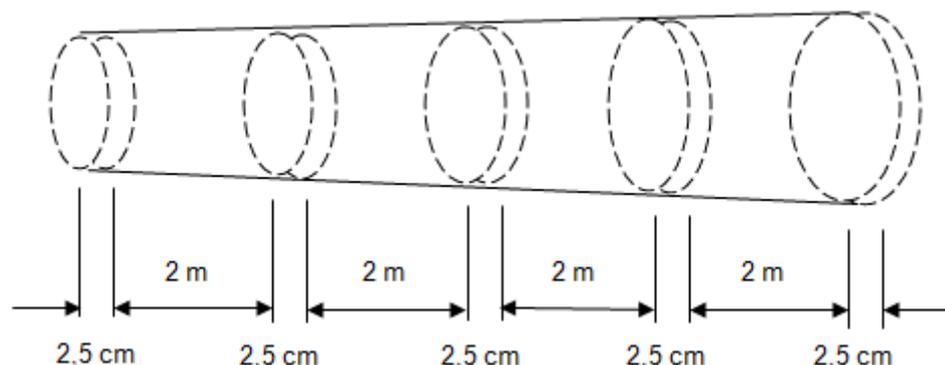


Figura 3 – Método de amostragem para determinação da densidade média

Fonte: Adaptado de Vital (1984).

De cada disco foi retirado a maior porção diametral (bagueta), Figura 4. Desta porção, foram confeccionados corpos de prova (2 x 2 x 2,5 cm), que foram saturados em água e tiveram seus volumes determinados pelo método da balança hidrostática. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a $103 \pm 3^\circ\text{C}$ até atingirem massa seca constante, ocasião em que tiveram suas massas determinadas em balança digital (0,01 g de precisão).

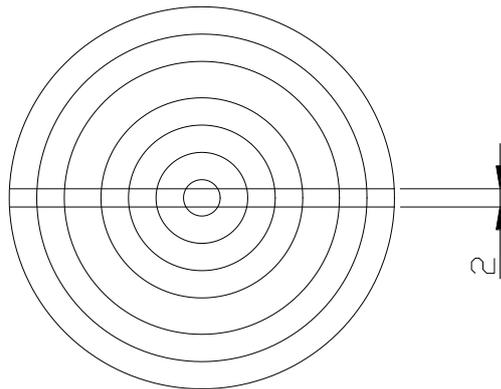


Figura 4 – Amostragem para determinação da densidade básica

Fonte: Elaborado pelo autor (2010).

Utilizando-se a Equação 1 foi possível calcular a densidade básica média de cada disco. Já a densidade básica da árvore foi calculada pela Equação 2 (VITAL,1984).

$$\rho_b = \frac{M_{seca}}{V_{saturado}} \quad (1)$$

Em que:

ρ_b : densidade básica média do disco (g/cm^3);

M_s : massa seca (g);

V_s : volume saturado (cm^3).

$$\rho_{B\acute{a}rvore} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} V_{S(i)} \times \rho_{B(i)}}{\sum_{i=1}^{N-1} V_{S(i)}} \quad (2)$$

Em que:

$\rho_{B\acute{a}rvore}$: densidade básica média da árvore (g/cm^3);

$V_{S(i)}$: volume da tora i (cm^3);

$\rho_{B(i)}$: densidade básica média da tora i (g/cm^3);

A densidade básica de cada tora foi calculada pelas médias dos discos das extremidades. Para a determinação do volume sem casca das toras foi utilizada a equação de Newton (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003), descrita na Equação 3.

$$V_{S(i)} = \frac{(AS_1 + 4AS_2 + AS_3)}{6} \times L \quad (3)$$

Em que:

$V_{S(i)}$: volume da tora i (m^3);

L : comprimento da tora (m);

AS_1 , AS_2 e AS_3 : áreas das seções transversais das extremidades da tora (m^2).

A área da seção transversal de cada tora foi calculada de acordo com a Equação 4.

$$AS = \frac{\pi D^2}{40000} \quad (4)$$

Em que:

AS : área da seção (m^2);

D : diâmetro da seção (cm).

3.3 Tratamentos

O delineamento experimental foi composto por três tratamentos correspondentes a duas condições de exposição, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados

Tratamento	Exposição	Descrição
1	Ar livre	Pilha de madeira com cobertura de telhas de fibrocimento.
2		Pilha de madeira semcobertura.

3

Galpão

Pilha de madeira abrigada em um galpão de alvenaria com cobertura em zinco e com entradas de ar na porção superior das paredes.

Fonte: Elaborado pelo autor (2010).

3.4 Preparação das pilhas

As pilhas foram montadas no dia 28 de abril de 2010 (outono).

3.4.1 Pilhas de secagem ao ar livre

A base das pilhas de secagem ao ar livre foi composta por 12 toretes, com altura suficiente para que a pilha ficasse cerca de 50 cm acima do solo, e quatro pontaletes (5 cm de espessura, 10 cm de largura e 1,5 m de comprimento) usados como suporte para as peças, conforme as Figuras 5 e 6.

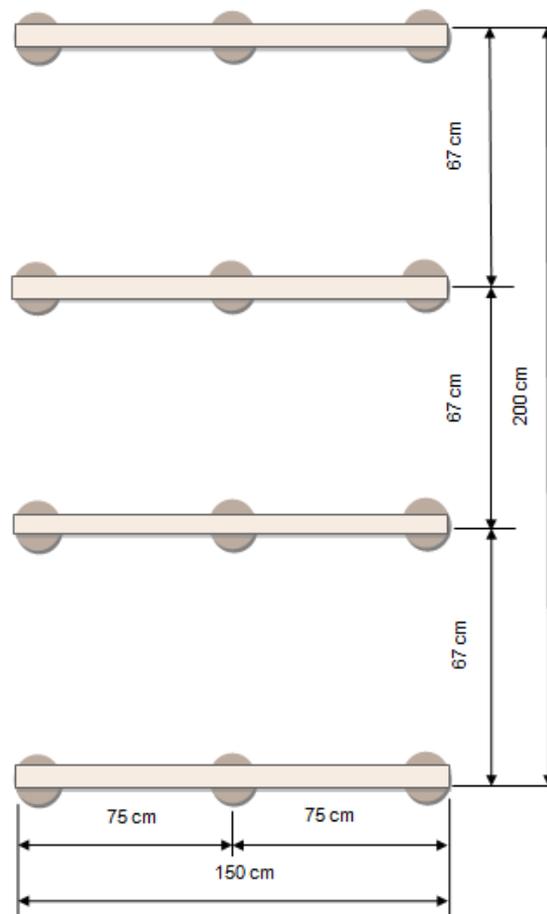


Figura 5 – Vista superior da base da pilha

Fonte: Elaborado pelo autor (2010).

Cada pilha foi composta por 24 peças de madeira, quatro peças por camada, resultando em seis camadas. Foram utilizados tabiques de madeira para separar as camadas, deixando espaços para a circulação de ar durante a retirada da água da madeira, Figura 6.

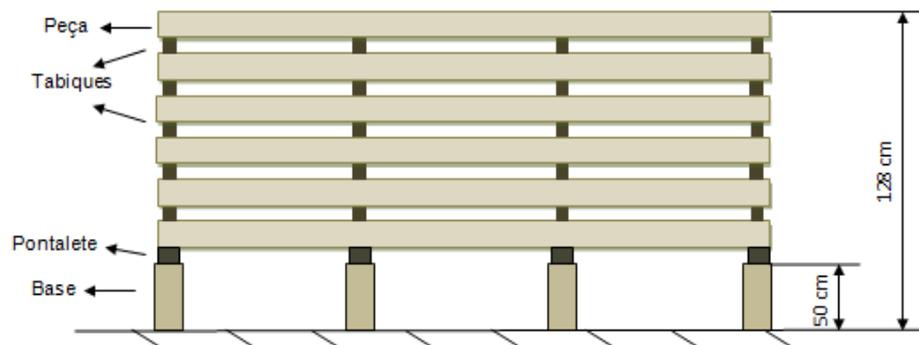


Figura 6 – Vista lateral da pilha montada

Fonte: Elaborada pelo autor (2010).

As dimensões e a distância entre os tabiques adotados obedeceram ao proposto por Galvão e Jankowsky (1985), em função da espessura das peças a secar e do tipo de madeira. Assim, os tabiques mediram 5 x 5 x 150 cm e distaram entre si 67 cm.



Figura 7 – Pilhas exposição ao ar livre

Fonte: Elaborado pelo autor (2010).

3.4.2 Pilha de secagem do galpão

A pilha montada no galpão teve como base peças de madeira com 8 cm de espessura, assim a pilha ficou 8 cm acima do piso. As dimensões da pilha foram 81 cm de altura, 150 cm de largura e 200 cm de comprimento, conforme a Figura 8.



Figura 8 – Galpão e parte da pilha de secagem durante a preparação
Fonte:Elaborado pelo autor (2010).

3.5 Confeção das amostras de controle de secagem

3.5.1 Posicionamento no fuste das peças que deram origem as amostras de controle

Buscou-se retirar as amostras de controle das peças oriundas das toras mais próximas a base da árvore, pois se espera que seja a madeira de maior densidade e conseqüentemente de secagem mais lenta. No entanto, não foi possível devido ao elevado número de rachaduras nessa peças, desta forma as amostras de controle foram retiradas das toras conforme a Figura 9 (os números representam as amostras de controle) e a Tabela 2.

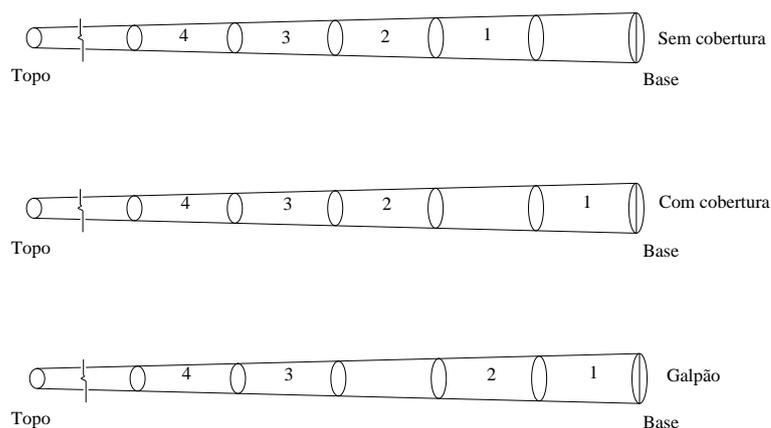


Figura 9 – Origem das peças das amostras de controle de secagem

Fonte: Elaborado pelo autor (2010).

Tabela 2 – Posicionamento das amostras de controle no fuste da árvore

Tratamento	Amostra de controle	Tora	Observação
1	1	2	–
	2	3	–
	3	4	Medula
	4	5	–
2	1	1	–
	2	3	–
	3	4	–
	4	5	Medula
3	1	1	–
	2	2	–
	3	4	–
	4	5	–

Fonte: Elaborado pelo autor (2010).

3.5.2 Amostras de controle

As amostras de controle de secagem foram obtidas de acordo com a Figura 10.

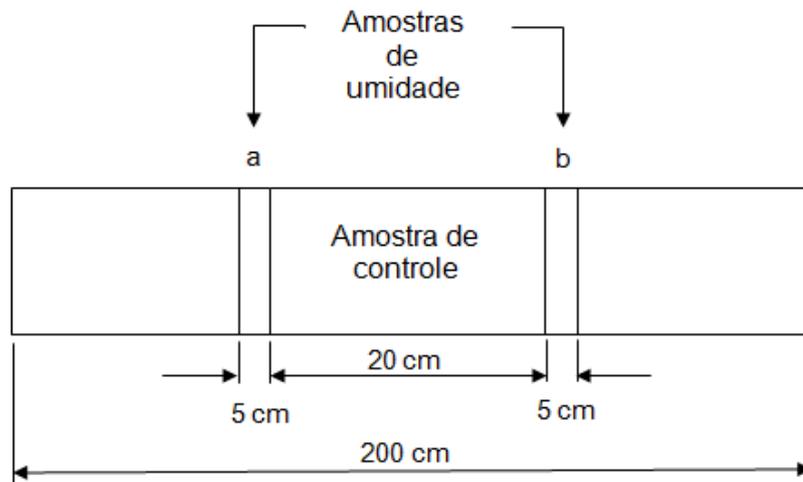


Figura 10 – Esquema da retirada das amostras de controle e de umidade

Fonte: Elaborado pelo autor (2010).

Cada pilha teve 4 amostras de controle, assim distribuídas: uma na segunda camada, duas na quarta camada e uma na sexta e última camada, Figura 11.

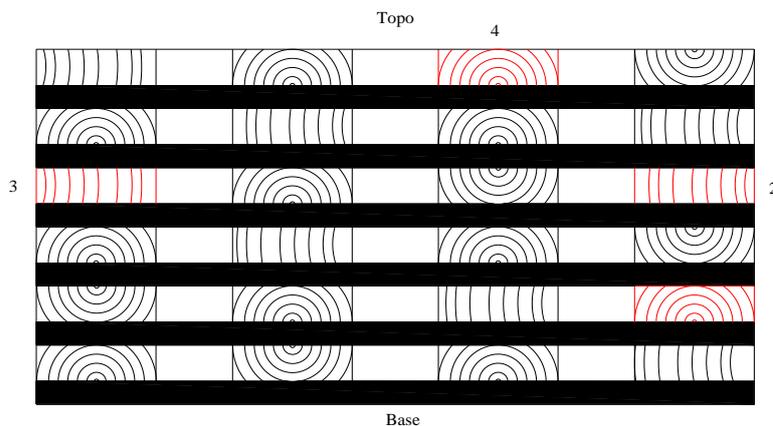


Figura 11 – Posicionamento e designação das amostras de controle – Seção transversal

Fonte: Elaborado pelo autor (2010).

As amostras de controle foram identificadas de acordo com a pilha e seu posicionamento na mesma, para facilitar o correto posicionamento durante o desenvolvimento da metodologia. Cada amostra de controle teve os topos impermeabilizados com cola e tinta para evitar a secagem e diferenciar os tratamentos.

3.5.3 Amostra de umidade inicial

As amostras para determinação da umidade inicial (Figura 10) foram lixadas, retirando-se assim todas as farpas e o pó de serra. Em seguida, tiveram a massa inicial (verde) determinada em uma balança digital (precisão de 0,01g) e as amostras foram levadas a uma estufa com temperatura $103 \pm 3^\circ\text{C}$ até obterem massas secas constantes e pesadas pela última vez, determinando-se a massa seca.

A umidade inicial de cada amostra de umidade foi calculada de acordo com a Equação 5 (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

$$U = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

U: umidade (%);

M_s: massa seca (g);

M_u: massa inicial (g).

A estimativa da umidade inicial das amostras de controle foi determinada pela média aritmética das duas amostras de determinação de umidade (a e b).

3.6 Controle da umidade das pilhas

O controle da umidade das pilhas foi realizado pela verificação da massa das amostras de controle, duas vezes por semana (as terças e quintas-feiras). Para tal empregou-se uma balança analógica de precisão de 1 g, utilizando a Equação 6 para a estimativa da massa seca das amostras de controle (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

$$M_{se} = \frac{(100 \times M_i)}{(U_{ac} + 100)} \quad (6)$$

Em que:

M_{se}: massa seca estimada (g);

M_i: massa inicial (g);

U_{ac} : umidade média da amostra de controle (%).

De posse da massa seca estimada de cada amostra de controle e das massas determinadas a cada semana, calculou-se a umidade corrente (Equação 5) que foi utilizada na construção dos gráficos de secagem de cada pilha.

3.7 Taxa de secagem

A taxa de secagem foi determinada a partir da Equação 7.

$$TS = \frac{\Delta U}{\Delta t} \quad (7)$$

Em que:

TS: taxa de secagem (%/dia);

ΔU : variação da umidade (%);

Δt : variação de tempo (dias).

3.8 Umidade de equilíbrio

A cada medição da massa das amostras de controle, pela manhã, foram registradas também a temperatura do ar e a umidade relativa com a utilização de termohigrômetros digitais. A partir das informações do termohigrômetro e da Equação 8 foi possível determinar a umidade de equilíbrio de cada ambiente de secagem. A umidade de equilíbrio do ambiente, em geral, foi calculada com dados fornecidos pelo proprietário coletados durante todos os meses do ano por um termohigrômetro (SIMPSON, 1971).

$$UE = \left[\frac{K_1 K_2 h}{1 + K_1 K_2 h} + \frac{K_2 h}{1 - K_2 h} \right] \times \frac{1800}{w} \quad (8)$$

Em que:

UE: umidade de equilíbrio (%);

T: temperatura (°C);

h : pressão relativa de vapor de água;

$K_1 = 4,737 + 0,04773T - 0,00050123T^2$;

$K_2 = 0,705941 + 0,001698T - 0,000005553T^2$;

$W = 223,384 + 0,6942T + 0,0185324T^2$

3.9 Densidade anidra

Por último, estimou-se a densidade anidra das amostras de controle a partir das amostras de umidade. Para tal, confeccionaram-se três corpos de prova (2 x 2 x 2 cm) por amostra de umidade, utilizando-se a porção central (Figura 12), que foram em seguida levados a uma estufa a 103 ± 3 °C até obterem massa constante, ocasião em que tiveram a massa seca determinada em balança digital (0,01 g de precisão). Depois, determinou-se o volume seco em mercúrio de acordo com o método de imersão. Com a massa seca e o volume seco através da Equação 9 calculou-se a densidade anidra (VITAL, 1984).

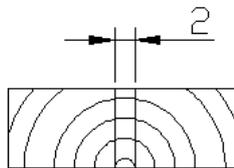


Figura 12 – Amostragem para a densidade anidra

Fonte: Elaborado pelo autor (2010).

$$\rho_0 = \frac{M_{seca}}{V_{seco}} \quad (9)$$

Em que:

ρ_0 : densidade anidra (g/cm³);

M_s : massa seca (g);

V_s : volume seco (cm³).

O volume seco foi determinado pela imersão em mercúrio a partir da Equação 10. Na ocasião, a temperatura do ambiente foi de 25°C, correspondendo a uma densidade do mercúrio igual a 13,543 g.cm⁻³.

$$V_s = \left(\frac{M_{\text{Hg}} - 0,4}{\rho_{\text{Hg}}} \right) \quad (10)$$

Em que:

M_{Hg} : Massa de mercúrio deslocado (g);

0,4: Fator de correção devido à agulha;

ρ_{Hg} : Densidade do mercúrio a dada temperatura (g/cm^3).

4 RESULTADOS

4.1 Densidade básica das árvores

A densidade básica média das árvores foi igual a 0,53 g/cm³, semelhante ao estudo de Andrade, Jankowsky e Ducatti (2001) que obtiveram densidade básica de 0,54 g/cm³ e inferior ao obtido por Ciniglio (1998), que para árvores com 18 anos de idade, obteve densidade de 0,57 g/cm³.

4.2 Comportamento da secagem por tratamento

Nos subitens abaixo encontram-se os resultados da umidade final obtida para cada tratamento. O processo de secagem foi finalizado em 18 de agosto de 2010, totalizando 112 dias. Os resultados indicaram que o mesmo não ocorreu de maneira homogênea.

4.2.1 Pilha ao ar livre sem cobertura

Conforme a Tabela 3, a amostra 3 (oriunda da medula) apresentou a maior umidade final, a menor taxa de secagem e o maior potencial de secagem. Supõe-se que esse resultado seja devido a esta peça conter mais cerne do que as demais, que é um tecido que possui menor permeabilidade. A maior taxa de secagem foi observada na amostra 2, enquanto amostra 1 obteve a menor umidade final.

Todas as amostras atingiram umidade final abaixo do PSF, no entanto, nenhuma atingiu a umidade de equilíbrio com o ambiente, conforme a Figura 13.

Tabela 3 – Médias dos parâmetros da secagem ao ar livre da pilha de secagem sem cobertura, por amostra de controle

Parâmetro	Amostra de controle de umidade			
	1	2	3*	4
Umidade inicial (%)	59,46	61,25	61,49	62,27
Umidade final (%)	17,11	19,54	21,88	15,59
Taxa de secagem (%/dia)	0,38	0,37	0,35	0,42
Densidade anidra (g/cm ³)	0,51	0,61	0,62	0,60
Potencial de secagem	2,53	2,78	3,08	2,24

*Peça oriunda da medula.

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

A partir da Figura 13 foi possível observar a ocorrência de variação nas condições ambientais (temperatura e umidade relativa) que determinam a umidade de equilíbrio do ambiente. Também é possível observar o comportamento das amostras de controle durante o período de secagem.

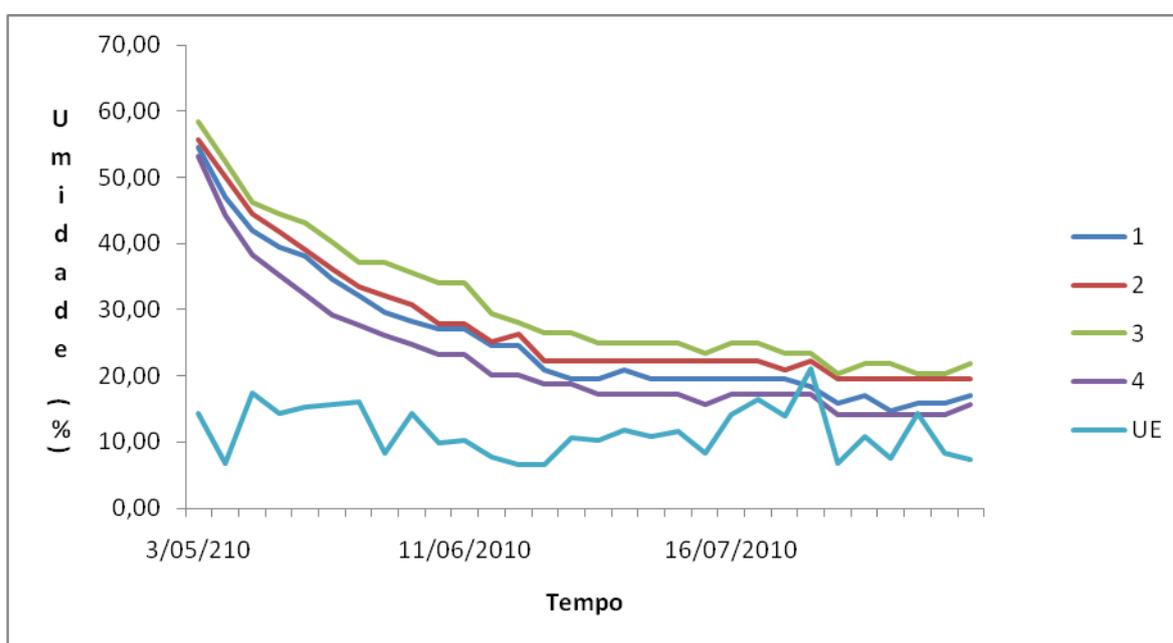


Figura 13 – Comportamento da secagem ao ar livre das amostras de controle da pilha sem cobertura em relação à umidade de equilíbrio

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

4.4.2 Pilha ao ar livre com cobertura

A partir dos dados apresentados na Tabela 4 deprende-se que, semelhante ao tratamento anterior, a amostra 4 (retirada da medula) foi a que atingiu a maior umidade final, menor taxa de secagem e maior potencial de secagem. A amostra 1, de menor densidade anidra, foi a que atingiu umidade final mais próxima a umidade de equilíbrio do ambiente. No entanto, a densidade anidra não pode ser considerada com fator principal, pois a amostra 2 com maior densidade foi a segunda que mais se aproximou da umidade de equilíbrio.

Tabela 4 – Médias dos parâmetros da secagem ao ar livre da pilha de secagem com cobertura, por amostra de controle

Parâmetro	Amostra de controle de secagem			
	1	2	3	4*
Umidade inicial (%)	59,41	65,22	59,79	74,76
Umidade final (%)	12,91	23,21	14,76	32,75
Taxa de secagem (%/dia)	0,42	0,38	0,40	0,38
Densidade anidra (g/cm ³)	0,52	0,63	0,65	0,63
Potencial de secagem	2,46	3,16	2,18	4,00

*Peça oriunda da medula.

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

As amostras 1 e 3 atingiram umidades finais mais próximas a umidade de equilíbrio, enquanto a amostra 2 obteve um resultado intermediário e amostra 4 obteve a maior umidade final, próximo ao ponto de saturação das fibras, conforme exposto na Figura 14. De um modo geral, as amostras tendem a atingir a umidade de equilíbrio do ambiente.

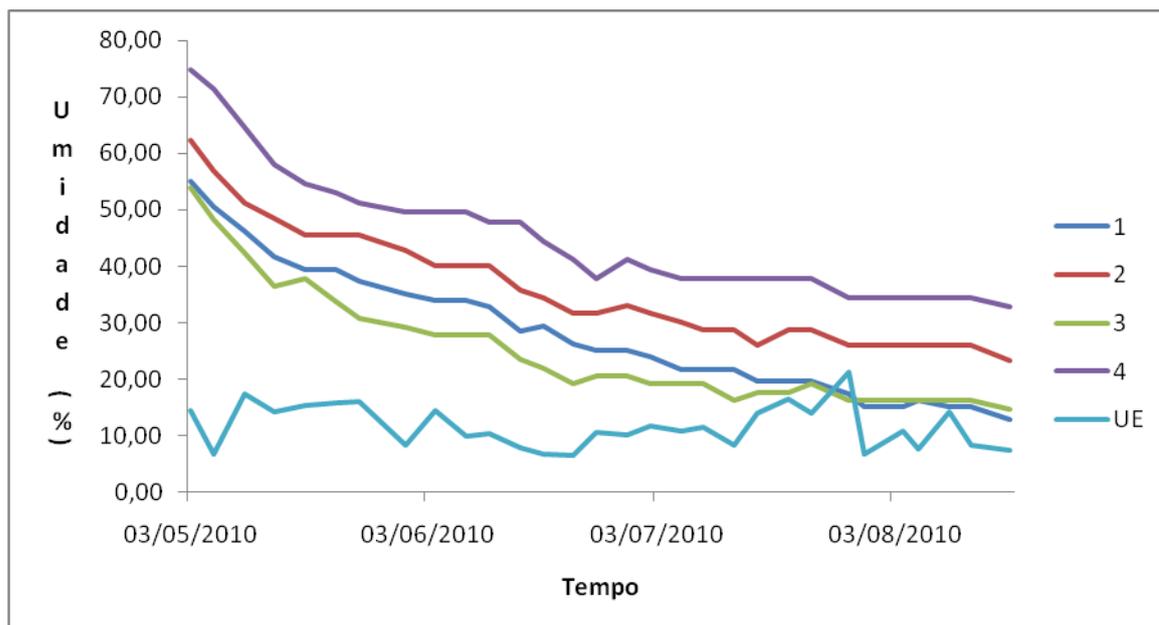


Figura 14 – Comportamento da secagem ao ar livre das amostras de controle da pilha com cobertura em relação a umidade de equilíbrio

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

4.4.3 Pilha no galpão

De acordo com a Tabela 5 e com a Figura 15 todas as amostras ficaram com umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, no entanto, nenhuma amostra atingiu a umidade de equilíbrio com o ambiente.

Tabela 5 – Médias dos parâmetros da secagem no galpão, por amostra de controle

Parâmetro	Amostra de controle de secagem			
	1	2	3	4
Umidade inicial (%)	54,04	67,36	55,22	62,65
Umidade final (%)	21,85	28,31	26,47	29,52
Taxa de secagem (%/dia)	0,29	0,35	0,26	0,30
Densidade anidra (g/cm ³)	0,59	0,64	0,60	0,61
Potencial de secagem (%/%)	2,80	3,34	2,88	3,06

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

A amostra 1, de menor densidade anidra, atingiu a menor umidade final, no entanto a maior taxa de secagem foi obtida pela amostra 2, que teve a maior densidade anidra. Esse tratamento foi o que apresentou menor variação das

condições ambientais (temperatura e umidade relativa), que determinam a umidade de equilíbrio, conforme a Figura 15.

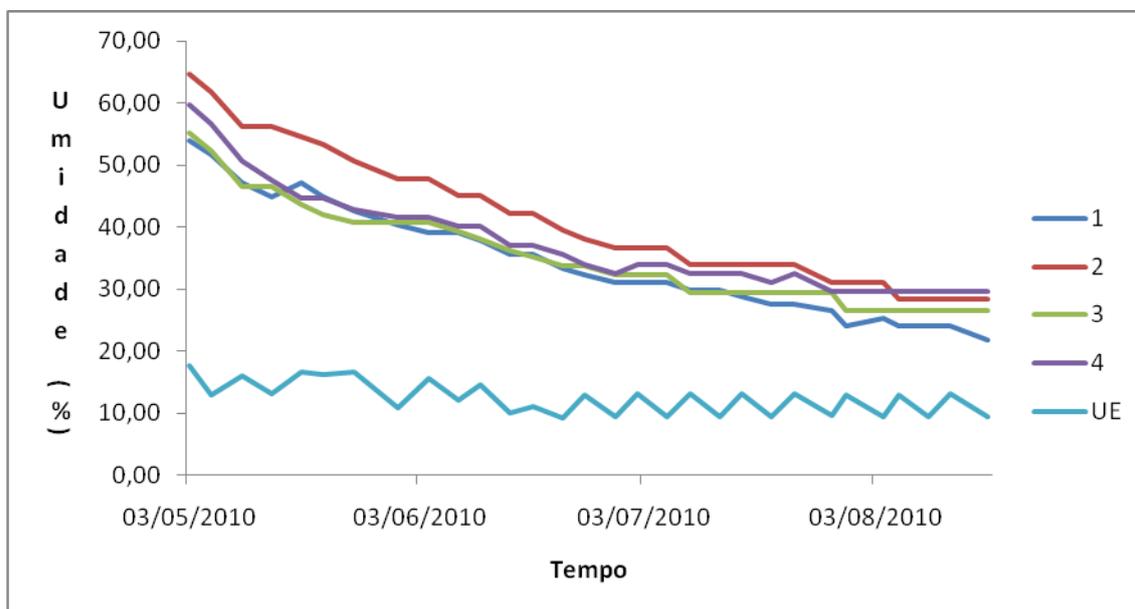


Figura 15 – Comportamento da secagem ao ar livre das amostras de controle da pilha do galpão em relação a umidade de equilíbrio

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

4.3 Comportamento da secagem entre os tratamentos

Na Tabela 6 encontram-se os resultados da secagem natural dos diferentes tratamentos.

O tratamento 1 (pilha ao ar livre sem cobertura) foi o que obteve a menor umidade média final (18,53%), concomitantemente, mais próxima da umidade de equilíbrio com o ambiente. Porém, apresentou taxa de secagem intermediária aos demais tratamentos (0,38%/dia).

O tratamento 2 (pilha de secagem ao ar com cobertura) foi o que apresentou comportamento mais heterogêneo com relação a umidade final, comprovado pelo maior coeficiente de variação. Porém, este tratamento foi o que obteve a maior taxa de secagem (0,39%/h).

O tratamento 3 (pilha do galpão) apresentou a maior umidade final (26,54%), porém, com a maior homogeneidade de secagem, comprovada pelo menor

coeficiente de variação da umidade final; menor taxa de secagem (0,30%/dia) e maior densidade anidra (0,61 g/cm³).

Em geral, o tratamento 2, que apresentou a densidade anidra intermediária (0,60 g/cm³), foi o que mais perdeu massa (43,88 pontos percentuais de umidade), seguido pelo tratamento 1 (42,59 pontos percentuais) e tratamento 3 (33,28 pontos percentuais).

Tabela 6 - Médias dos parâmetros da secagem natural dos tratamentos

Parâmetro	Tratamento		
	1	2	3
Condição	Ar livre		Galpão
Cobertura	Sem	Com	-
Umidade inicial (%)	61,12 (1,94)*	64,79 (11,04)*	59,82 (10,55)*
Umidade final (%)	18,53 (14,91)*	20,91 (43,43)*	26,54 (12,69)*
Umidade de equilíbrio (%)	11,59 (33,00)*	11,59 (33,00)*	12,43 (21,12)*
Taxa de secagem (%/dia)	0,38 (6,97)*	0,39 (5,12)*	0,30 (12,88)*
Densidade anidra (g/cm ³)	0,58 (8,64)*	0,60 (9,51)*	0,61 (3,32)*

*Coeficiente de variação

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

As médias de umidade inicial de todos os tratamentos ficaram compreendidas no intervalo obtido por Ciniglio (1998), que apresentou umidade inicial entre 57,7% e 107,7%, e inferiores aos 66,30% obtidos por Silva et al. (1997). A umidade inicial média também ficou dentro do intervalo obtido por Eleotério e Badia (2008), que obtiveram umidade inicial entre 47,40% e 121,50%.

A taxa de secagem de todos os tratamentos foi inferior aos 0,67%/dia obtidos por Silva et al. (1997). No entanto, a taxa de secagem dos tratamentos 1 e 2 ficou compreendida no intervalo obtido por Eleotério e Badia (2008), que apresentaram taxa de secagem entre 0,34 %/dia e 0,69 %/dia. A taxa de secagem do tratamento 3

foi inferior a de todos os resultados discutidos, pois os dois autores estudaram secagem ao ar livre e não em ambiente coberto, como o galpão utilizado neste trabalho.

A espessura das peças foi um fator que também afetou a taxa de secagem, enquanto os autores citados (SILVA et al., 1997; ELEOTÉRIO; BADIA, 2008) secaram tábuas, nesse trabalho foram secados pranchões e vigas. Segundo Klitzke (2007) a rapidez da secagem é inversamente proporcional à espessura da peça de madeira. Assim, quanto maior a espessura da madeira maior será o tempo de secagem e conseqüentemente menor a taxa de secagem.

Na Figura 16 encontra-se o comportamento da secagem dos tratamentos e a umidade de equilíbrio do local, mostrando que, prolongando-se o tempo de secagem a umidade das amostras tende a alcançar o equilíbrio com o ambiente, ponto no qual é indicado o fim da secagem.

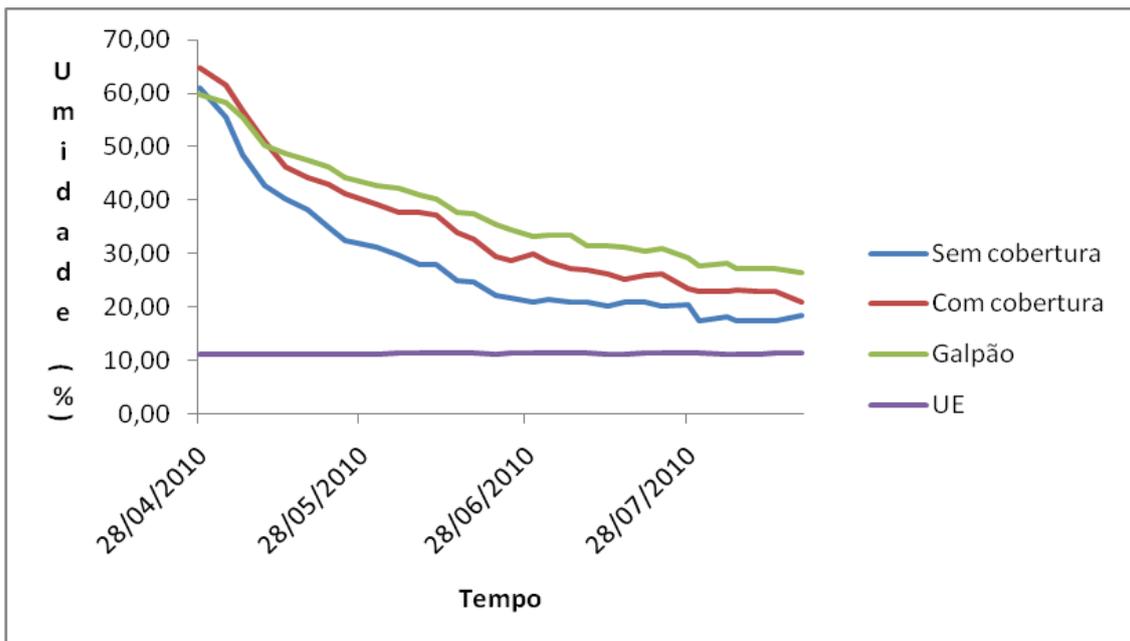


Figura 16 – Comportamento da secagem natural dos tratamentos em relação a umidade de equilíbrio

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

5 CONCLUSÕES

Para a secagem natural de *Eucalyptus grandis* conclui-se:

Com relação ao ambiente de exposição, os tratamentos ao ar livre secaram mais rápido do que o tratamento do galpão.

Dentre os dois tratamentos expostos ao ar livre o tratamento sem cobertura atingiu a menor umidade final.

O tempo de secagem de 112 dias (abril a agosto de 2010) não foi suficiente para que a umidade final dos tratamentos atingisse a umidade de equilíbrio com o ambiente. Assim, para que a madeira atinja umidades finais menores, recomenda-se que o período de secagem seja prolongado.

Para completar a avaliação da secagem natural dos tratamentos, propõe-se que seja feita uma análise de defeitos (empenamentos e rachaduras) depois de atingida a umidade final desejada.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, SP, n. 50, p. 89-99, jun. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico 2009**: ano base 2008. Brasília, DF: ABRAF, 2009. 120 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 14807**: Peças madeira serrada – Dimensões. Rio de Janeiro, 2002.

BATISTA, D. C. **Qualidade de secagem convencional conjunta da madeira de nove clones do gênero *Eucalyptus***. UFPR: Curitiba, PR, 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2009.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem da madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. ESALQ: Piracicaba, SP, 1998. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeiras). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 1998.

DOSSA, D. et al. Comunicado Técnico 83: produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais. **Embrapa Florestas**, Paraná. 2002. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/ouvidoria>>. Acesso em: 27 mar. 2010.

ELEOTÉRIO, J. R.; BADIA, S. B. Estimativa do tempo de secagem ao ar para madeira de *Eucalyptus grandis* em municípios catarinenses. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008. Londrina, PR. **Anais...** Londrina, PR: EBRAMEM, 2008.

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

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. Brasília, DF: IPHAN, 2006. 247 p. (Programa Monumenta – Cadernos Técnicos). Disponível em: <<http://www.monumenta.gov.br/site/?p=150>>. Acesso em: 27 mar. 2010.

JANKOWSKY, I. P. et al. Estimativas da umidade de equilíbrio para cidades da região sul do Brasil. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 32, p. 61-64, abr. 1985.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos da secagem de madeiras**. Piracicaba, SP: (Documentos Florestais), 1990. 13 p. Disponível em: <<http://www.ltpf.ufra.edu.br/sec.htm>>. Acesso em: 25 mar. 2010.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira de eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, SP. n. 199, p. 01-11, dezembro. 2003.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Org.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro, ES: Suprema, 2007. p. 271-341.

KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C. Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP. v. 38, n. 85, p. 95-105, março. 2010.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba, PR: A. Figueiredo Filho. 2003, 309p.

MARTINI, A. J. **O plantador de eucalipto: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. USP, São Paulo, SP, 2004. 320 f. Dissertação (Mestrado em História Social). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004

MENDES, L. M. et al. Técnicas corretas de secagem da madeira de eucalipto ao ar livre. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, Salvador, BA, 1997. **Anais...** Colombo, PR: EMBRAPA, 1997. v. 3, p. 373-380

MOURA, V. P. G. et al. Comportamento e resistência de procedências de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden à formação de veios de “kino” em Planaltina, DF, área de cerrado. **Embrapa Florestas**, Colombo, PR, n. 24/25, p. 19-35, Jan./Dez. 1992.

OLIVEIRA, J. T. L. et al. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 56, p. 113-124, dezembro. 1999.

PONCE, R.H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais...** Piracicaba, SP: IPEF, 1995. p. 50-58

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

SANTOS, G. R. V. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden]**. ESALQ, Piracicaba, SP, 2002. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeiras). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2007.

SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 3, p. 214-220, junho. 2003

SEVERO, E. T. D. A secagem da madeira de eucalipto e seus desafios. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Org.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Vitória, ES: Aquarius, 2007. p. 185-216.

SILVA, J. R. M. et al. Nota técnica 1: Secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de móveis. **Cerne**, Lavras, MG, v. 3, n. 1, 1997.

SIMPSON, W.T. Equilibrium moisture content prediction for wood. **Forest Products Journal**, Madison, EUA, p. 48-49, mai. 1971.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico Sociedade de Investigações Florestais**: Viçosa, MG, v. 1, p.1-21, 1984.

ZENID, J. G. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/.../manual_madeira.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2010.