

RAMON UBIRAJARA TEIXEIRA

**EFEITO DA PRODUTIVIDADE FLORESTAL E PERMEABILIDADE DA
MADEIRA DE *Eucalyptus* spp. NA VELOCIDADE DE SECAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2015

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal
de Viçosa - Campus Viçosa

T

T266e
2015
Teixeira, Ramon Ubirajara, 1988-
Efeito da produtividade florestal e permeabilidade da madeira de
Eucalyptus spp. na velocidade de secagem / Ramon Ubirajara Teixeira.
- Viçosa, MG, 2015.
viii, 47f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Madeira - Secagem. 2. Madeira - Permeabilidade.
3. *Eucalypto*. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Florestal. Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal.
II. Título.

CDD 22. ed. 634.9812

RAMON UBIRAJARA TEIXEIRA

**EFEITO DA PRODUTIVIDADE FLORESTAL E PERMEABILIDADE DA
MADEIRA DE *Eucalyptus* spp. NA VELOCIDADE DE SECAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 02 de outubro de 2015.

Benedito Rocha Vital
(Coorientador)

Juliana Jerásio Bianche

Marcos Oliveira de Paula

Renato Vinicius Oliveira Castro

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre ilumina meu caminho e me guia por onde quer que eu vá.

Aos meus pais, Antônio e Marta; aos meus irmãos, Glauco e Pablo, por todo carinho, amor e apoio.

Aos meus grandes amigos Nero, Vanessa e Ari Flávio pelo tempo de convivência e ótimos momentos na República. Aos meus grandes amigos Rafael Tassinari e Gustavo Marcatti pela amizade, disposição e grande ajuda nas análises dos dados.

À professora Angélica de Cássia Oliveira Carneiro pela orientação, ensinamentos e, principalmente, pela amizade.

Aos professores Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, Benedito Rocha Vital, e Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho, exemplos de caráter e profissionalismo, pela amizade, oportunidades, ensinamentos e confiança durante esse tempo de LAPEM/LPM.

Aos amigos Éder, Artur, Mateus, Miguel, Danilo, Aílson (Tito), Salvio (Moiado), Jaqueline, Edna, Chico Bizerra, Lawrence, Amélia, Ana Paula Câmara, Leila, Isabela, Eli Braz (Fumo) e José Maria (Zé Avião) pela ajuda imprescindível durante todo desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Renato Castro pelo auxílio na análise dos dados.

Aos estudantes e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, especialmente do LAPEM e LPM, pela amizade, auxílios e por tornarem todos os anos de UFV únicos.

Aos membros da banca, professores, Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, Benedito Rocha Vital, Renato Vinicius Oliveira Castro, Juliana Jerásio Bianche e Marcos Oliveira de Paula pela grande ajuda nesse trabalho.

A CNPq pela concessão da bolsa de estudos e a SECTES/FAPEMIG (Secretaria de Estado Ciência e Ensino Superior de Minas Gerais) e EMBRAPA FLORESTA pelo financiamento da pesquisa.

Ao senhor Sebastião Fernandes, da Fazenda Guaxupé Florestal pela concessão do material genético para a pesquisa, e ao Supervisor Gilvan Gaudereto.

A Clonar Resistencia a Doenças Florestais (Professor Acelino Couto Alfenas, Marcelo Magalhães Coutinho, Talyta Galafassi Zarpelon e Rafael Ferreira Alfenas)

também pela concessão do material genético e, principalmente, pelos ensinamentos, convívio e amizade nesses anos de Viçosa.

À Universidade Federal de Viçosa, pela formação acadêmica e oportunidade de capacitação no mestrado.

BIOGRAFIA

RAMON UBIRAJARA TEIXEIRA, filho de Antonio Amancio Lucinda Teixeira e Marta Regina Barra Teixeira, nasceu em 11 de fevereiro de 1988 na cidade de Barbacena, Minas Gerais.

Em 2007, ingressou no curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Em novembro de 2012, concluiu o curso de Engenharia Florestal e, em abril de 2013, iniciou o curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos necessários à obtenção do título de Magister Scientiae em outubro de 2015.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	3
3.1. Secagem da madeira	3
3.1.1. Água na madeira	3
3.1.2. Movimento da água na madeira.....	3
3.1.3. Fatores que afetam a secagem da madeira.....	4
3.1.3.1. Fatores inerentes ao ambiente.....	5
3.1.3.2. Fatores inerentes à madeira.....	5
3.1.4. Secagem da madeira de Eucalyptus.....	6
3.1.5. Secagem de madeira em tora	6
3.2. Permeabilidade da Madeira	7
3.2.1. Fatores que afetam a permeabilidade.....	8
3.2.1.1. Variação entre espécies.....	8
3.2.1.2. Cerne alburno.....	9
3.2.1.3. Extrativos	9
3.2.1.4. Propriedades anatômicas.....	9
3.2.1.5. Umidade.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1. Preparo das amostras	12
4.2. Propriedades da madeira	12
4.2.1. Relação cerne/alburno (C/A)	12
4.2.2. Densidade básica.....	13
4.2.3. Análise morfológica de fibras e poros	13
4.2.4. Composição química estrutural	14
4.3. Permeabilidade da madeira.....	15
4.3.1. Ensaio de Permeabilidade	15

4.3.2. Teste preliminar para obter a pressão de trabalho da bomba de vácuo	17
4.4. Secagem da madeira em tora	17
4.5. Delineamento experimental	19
4.5.1. Propriedades anatômicas, densidade básica, relação C/A (Sentido longitudinal).....	19
4.5.2. Densidade básica (Sentido radial).....	19
4.5.3. Composição química.....	19
4.5.4. Permeabilidade da madeira	20
4.5.4.1. Permeabilidade da madeira de cerne e alburno no sentido longitudinal..	20
4.5.4.2. Permeabilidade ponderada da madeira por classe de diâmetro	20
4.5.5. Secagem da madeira	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1. Propriedades da madeira	21
5.2. Composição química estrutural	26
5.3. Permeabilidade da madeira ao ar.....	27
5.3.1. Efeito da pressão de trabalho da bomba de vácuo	27
5.3.2. Permeabilidade da madeira	28
5.4. Secagem da madeira	31
5.4.1. Estimativa da perda de umidade em função dos tratamentos	31
5.4.2. Estimativa da perda de umidade em função do material genético.....	34
5.4.3. Estimativa da perda de umidade em função da classe de diâmetro	37
5.4.4. Estimativa da perda de umidade em função da presença e ausência de casca.....	39
6. CONCLUSÕES	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
APÊNDICE A - Teste de identidade de modelos	45
APÊNDICE B - Tabela de Correlações	47

RESUMO

TEIXIERA, Ramon Ubirajara, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2015. **Efeito da produtividade florestal e permeabilidade da madeira de Eucalyptus spp. na velocidade de secagem.** Orientadora: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro. Coorientadores: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho e Benedito Rocha Vital.

O presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito do Incremento Médio Anual (IMA) e permeabilidade da madeira de diferentes clones de Eucalyptus sp. na velocidade de secagem da madeira em tora. Foram utilizados 6 clones comerciais de Eucalyptus sp. (57, 1213, 3335, 3336, GG100 e 3487), aos 9 anos de idade, provenientes de um teste clonal localizado na Fazenda Guaxupé Florestal, no município de Ubá-MG. O experimento de secagem da madeira foi instalado no Delineamento Inteiramente Casualizado utilizando-se três classes de diâmetro, com e sem casca, com 2 repetições cada. Os toretes foram colocados em uma estrutura a 60 cm do chão. Determinou-se a umidade inicial dos toretes e o acompanhamento da secagem foi feito quinzenalmente através de pesagens de cada torete até o 154º dia de observação. Para a determinação da permeabilidade longitudinal da madeira ao ar, foi montado um experimento em DIC, para os 6 clones e 3 classes de diâmetro. Foram determinadas as permeabilidades do alburno para as 3 classes de diâmetro e do cerne para 2 classes de diâmetro. Foi determinada a relação cerne/alburno, a densidade básica da madeira no sentido base-topo e medula-casca, a morfologia dos poros e fibras no sentido base-topo e a composição química estrutural. Para os dados de secagem, foram ajustados modelos exponenciais para explicar o comportamento da perda de umidade e a comparação entre os tratamentos foi feita pelo teste de identidade de modelos. Os demais dados foram submetidos à análise de variância, e quando estabelecidas diferenças entre eles, aplicou-se o teste Tukey em nível de 95% de significância. Concluiu-se que o IMA e, conseqüentemente, o diâmetro afeta diretamente o tempo de secagem, clones que apresentam toras com maiores diâmetros demandam mais tempo para secar e que a permeabilidade da madeira também afeta a secagem. Madeiras mais permeáveis secam mais rapidamente quando comparadas toras de diâmetros semelhantes. Os materiais genéticos que apresentaram menor umidade ao longo do tempo foram os 1213, 57 e GG100, respectivamente.

ABSTRACT

TEIXIERA, Ramon Ubirajara, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, october of 2015. **Effect of the forest productivity and timber permeability of Eucalyptus spp. in drying rate.** Advisor: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro. Co-Advisors: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho and Benedito Rocha Vital.

This study aimed to evaluate the effect of Mean Annual Increment (MAI) and permeability of wood of different clones of Eucalyptus sp. in the logs drying rate. It analyzed six commercial clones of Eucalyptus sp. (57, 1213, 3335, 3336, GG100 and 3487), at 9 years old, from a clonal test located at Guaxupé Florestal's Farm, in the city of Ubá-MG. The wood drying experiment was in completely randomized design using three diameter classes, with and without bark, and two repetitions each. After measured the logs initial moisture content they were placed in a structure to 60 cm height from the ground, and the monitoring of the drying was done biweekly by weighing each log until the 154th day of observation. An experiment in completely randomized design to six clones and three diameter classes were made for determination of the longitudinal air permeability of wood. It was determined the permeabilities of sapwood in tree classes of diameter and to the heartwood in two diameter classes. In addition, it was determined the relationship between heartwood / sapwood, the wood density in the bottom-up and pitch-bark directions, morphology of the pores and fibers in the bottom-up direction and the structural chemistry composition. For drying data were fitted exponential models to explain the moisture loss behavior and the comparison between treatments was done by model identity test. Other data were submitted to analysis of variance, and when established differences between them, applied the Tukey test at 95% significance level. It follows that the MAI and hence the diameter directly affects the drying time, clones showing logs with larger diameters require longer to dry and that also the permeability affects the wood drying. More permeable timbers dry faster when comparing logs of similar diameters. Genetic materials had lower moisture over time were 1213, 57 and GG100, respectively.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é crescente a busca por pesquisas, cada vez mais avançadas, sobre a madeira e seus derivados visando aprimorar os conhecimentos e os processos de industrialização, a fim de otimizar seu uso e aproveitamento.

Os índices de qualidade presentes na madeira podem variar consideravelmente com a espécie, idade, além de fatores genéticos e ambientais e, afetarão diretamente seu uso final.

A secagem da madeira é fator determinante na maioria dos usos, a exemplo da produção de carvão vegetal, pois influencia diretamente o rendimento gravimétrico, a geração de finos, aumenta o tempo de carbonização, entre outros. Vale salientar que, hoje, no Brasil, existem aproximadamente 7,74 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 38,7% são destinados à produção de carvão vegetal e lenha (IBÁ, 2015), evidenciando a importância deste setor para a cadeia florestal.

As principais espécies utilizadas pela indústria brasileira de celulose e papel, carvão vegetal, painéis, etc. pertencem ao gênero *Eucalyptus*, o qual apresenta mais de 600 espécies. Algumas dessas espécies se adaptaram muito bem ao território brasileiro e possuem um rápido crescimento e podem ser cultivadas em diversas regiões do país, além de uma alta variabilidade genética, o que permite o seu uso para diversos fins. A produtividade média do eucalipto, em 2014, foi de 39 m³/ha.ano de madeira (ABRAF, 2013).

Porém, o melhoramento genético do eucalipto no Brasil, de modo geral, é voltado principalmente para a produção volumétrica de madeira e não para a qualidade da madeira, e isso pode ter consequências impactantes desde a secagem até o produto gerado. Sabe-se que a madeira depende de um longo período de tempo no campo, após o corte, para que se possa perder o máximo de água livre possível, de modo a viabilizar o transporte, reduzindo os custos com logística. Contudo, clones de alta produtividade, de modo geral, apresentam fustes com diâmetros maiores, demandando maiores tempos de secagem.

Além do efeito direto do diâmetro das toras, a secagem também pode ser influenciada pelas características químicas, anatômicas e físicas da madeira, dentre as quais destaca-se a permeabilidade da madeira. De modo geral, madeiras de maiores diâmetros e menos permeáveis necessitam de maiores tempos de secagem. No entanto, ainda tem-se poucos estudos que correlacionam a produtividade das florestas de

eucalipto, ou seja, o Incremento Médio Anual (IMA) e seus efeitos diretos na secagem da madeira.

Neste contexto esse trabalho buscou correlacionar as propriedades da madeira e a produtividade de diferentes clones de eucalipto com a velocidade de secagem de madeira em tora.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito da produtividade florestal (IMA) e permeabilidade da madeira de diferentes clones de eucalipto na velocidade de secagem.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar as propriedades físicas, composição química e estruturas anatômicas dos diferentes clones de eucalipto;
- Determinar a permeabilidade da madeira do cerne e alburno dos diferentes clones no sentido longitudinal ao longo do fuste;
- Avaliar o efeito da classe de diâmetro e da presença de casca na velocidade de secagem de madeira em toras;
- Avaliar o efeito das propriedades da madeira na velocidade de secagem.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Secagem da madeira

3.1.1. Água na madeira

A água na madeira é dividida em água livre, água de adesão e a água de constituição (SIAU, 1971).

A água livre ou de capilaridade ocorre quando a umidade da madeira se encontra acima da umidade de saturação das fibras (USF), é a água que ocupa os espaços intercelulares (SKAAR, 1972). A água livre sai mais facilmente por evaporação no processo de secagem da madeira. Segundo Klitzke (2003) e Kollmann e Côté (1968) quando toda água livre for removida da madeira, ela alcançará a “umidade de saturação das fibras” (USF). Essa umidade pode variar entre 20 e 35% dependendo da espécie.

A água de adsorção está aderida à parede celular, sendo retida por ligações de hidrogênio das polioses e celulose com os grupos hidroxílicos (SKAAR, 1972). Segundo Kollmann e Côté (1968), a retirada dessa água causa perda de volume pois os grupos hidroxílicos da celulose se ligam entre si causando a retração da madeira podendo causar defeitos com rachaduras e empenamentos.

A água de constituição faz parte da estrutura do lenho e está quimicamente combinada com as substâncias da parede celular e não pode ser removida sem que haja decomposição da madeira e a alteração de sua composição química (STEIN, 2003).

3.1.2. Movimento da água na madeira

A movimentação de água na madeira ocorre em função de um gradiente de umidade. Esse movimento se dá em todos os planos, porém a velocidade é maior no sentido longitudinal que no transversal e o radial é maior que no tangencial (SIAU, 1971). Segundo Rezende (2009), essa movimentação está diretamente envolvida com o processo de secagem.

A água livre movimenta-se de forma relativamente simples de ser compreendida quanto aos aspectos físicos. Já a movimentação da água de adesão e do vapor d'água, que ocorrem por difusão, são processos mais complexos (KLITZKE, 2003). Um dos fatores mais importantes que afeta o fluxo capilar é a permeabilidade da madeira. Esta

propriedade depende dos componentes anatômicos da madeira, que são característicos de cada espécie.

Após a remoção da água livre, o processo de secagem se torna mais lento, pois a água de adesão irá se mover por difusão de acordo com o gradiente de umidade que as paredes celulares estabelecerem (GALVÃO; JANKOWSKY, 1988). A diferença entre o movimento capilar e o de difusão é que este último é um processo lento e considerado complexo, porque ocorre simultaneamente, difusão de vapor através das cavidades celulares e difusão de água higroscópica nas paredes celulares da madeira.

De acordo com Hart (1966), a secagem consiste num balanço dinâmico entre a transferência de calor do ar para madeira, a superfície de evaporação da madeira e a difusão da umidade através da madeira.

O processo de secagem pode ser realizado natural ou artificialmente. No processo natural a madeira é exposta às condições climáticas locais com o intuito de remover a maior quantidade de água possível (PONCE; WATAI, 1985). É um método muito utilizado no Brasil que exige um investimento relativamente baixo, porém demanda mais tempo (SANTINI; HASELEIN, 2002). Esse processo é mais efetivo nas épocas do ano em que a temperatura é mais elevada e a umidade relativa do ar mais baixa. A sua eficiência e velocidade, dependem ainda da circulação do vento nas diferentes posições da pilha de madeira (BAUER, 1985), modo de empilhamento da madeira, distância entre o solo e a madeira, inclinação do terreno, presença de vegetação ou barreiras e drenagem do local.

No início da secagem, esse fenômeno pode ocorrer em uma velocidade bastante elevada devido a maior diferença de umidade entre a madeira e o ambiente. À medida em que a umidade se aproxima da umidade de equilíbrio higroscópico, essa velocidade tende a diminuir até que ela encontre o equilíbrio com o meio, isso será diretamente influenciado pela temperatura e umidade relativa do local (JANKOWSKY, 1990).

3.1.3. Fatores que afetam a secagem da madeira

A secagem da madeira é afetada por fatores inerentes ao meio ambiente e a fatores inerentes à madeira. Em relação à madeira tem-se as dimensões da peça e sua composição anatômica e propriedades físicas e químicas, os principais fatores ambientais são a temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

3.1.3.1. Fatores inerentes ao ambiente

Normalmente, quanto mais alta for a temperatura em que se processa a secagem, mais rápida é a taxa de secagem (REZENDE, 2009). Maiores temperaturas implicam no fornecimento de maior quantidade de energia às moléculas de água em menor período de tempo.

A umidade relativa do ar determina a capacidade do ambiente em receber água removida da madeira (GALVÃO; JANKOSWSKY, 1985) e segundo Stein (2003) a redução na umidade relativa do ar resulta em um aumento da velocidade de secagem.

A circulação do ar na superfície da madeira tem a função de remover a umidade próxima à madeira em processo de secagem.

3.1.3.2. Fatores inerentes à madeira

A secagem da madeira pode ser influenciada pela espécie, componentes anatômicos, densidade, permeabilidade, dimensões da madeira e presença de casca, entre outros (KLITZKE, 2003).

A relação entre cerne e alborno também afeta a velocidade de secagem uma vez que o cerne apresenta elevado teor de extrativos de xiloses tornando-o menos permeável (SIAU, 1971). Outro fator importante são as pontuações as quais auxiliam a translocação radial da água no tronco (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

A velocidade de secagem é influenciada pela espécie em questão devido à grande variedade de arranjos anatômicos que podem favorecer ou não esse processo (STEIN, 2003). A madeira do gênero *Eucalyptus* apresenta dificuldades de secagem, devido principalmente a sua anatomia, que de modo geral, tem pontuações de pequenos diâmetros e distribuição difusa dos poros, características essas que tornam a secagem mais lenta.

A casca é outro componente que afeta a velocidade de secagem da madeira, pois contém muita suberina o que pode dificultar o processo (REZENDE et al., 2010).

A densidade básica é inversamente proporcional à velocidade de secagem, quanto maior a densidade menor será a velocidade de secagem devido a menor existência de espaços vazios. O diâmetro das toras também é inversamente proporcional à velocidade de secagem, ou seja, quanto maior o diâmetro das toras, maior será o tempo de secagem devido ao maior caminho que a água tem a percorrer (BERBEROVIC; MILOTA, 2011; REZENDE et al., 2010).

De acordo com Rezende (2009), a permeabilidade afeta diretamente a secagem da madeira, madeira mais permeáveis tendem a secar mais rapidamente. A permeabilidade por sua vez, depende das pontuações, da distribuição e frequência de poros, bem como a presença de tilos e gomas (GARBE, 2008).

3.1.4. Secagem da madeira de Eucalyptus

As madeiras desse gênero são de difícil secagem devido à sua constituição anatômica aliada aos elevados gradientes de umidade no seu interior o que, conseqüentemente, dificulta consideravelmente a saída da água (ROSSO, 2006).

Se tratando de anatomia, a ocorrência de pontuações de pequeno diâmetro, presença de tilos, pequena largura e baixa frequência de vasos, entre outros fatores, afetam a permeabilidade da madeira, dificultando o deslocamento de água. Tilos, quando presentes, obstruem o lume dos vasos, reduzindo a permeabilidade e a velocidade de secagem. Os vasos dispersos, pouco numerosos, de pequenos a médios diâmetros, predominantemente solitários e porosidade difusa contribuem para uma secagem mais complexa e lenta (REZENDE, 2009).

A madeira do gênero Eucalyptus possui uma variação nos padrões de distribuição da umidade na direção radial e longitudinal, dificultando o processo de secagem e proporcionando o aparecimento dos defeitos (SANTOS, 2002). Rezende (2009), ressalva que 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 são de grande importância para a secagem.

3.1.5. Secagem de madeira em tora

Para utilização da madeira na forma de toras, por exemplo, na produção de carvão vegetal, a madeira necessita passar pelo processo de secagem, uma vez que esta fase agrega valor ao produto final, pois aumenta o rendimento gravimétrico, reduz o tempo de carbonização, além de melhorar sua qualidade, principalmente resistência mecânica, reduzindo assim a friabilidade do carvão vegetal. Na literatura são encontrados vários estudos relacionados à secagem da madeira, mas tais esforços se concentram principalmente na secagem artificial e ao ar livre de madeira serrada.

Vital et al. (1985), estudando a secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis*, aos 5 anos de idade, em Viçosa, MG, observaram que a redução de umidade em função do tempo é afetada pelo diâmetro das toras e presença de casca. As toras sem casca atingiram 23% de umidade média após 175 dias de secagem e as toras com casca atingiram 32%, 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 12,0 cm apresentaram umidade superior a 50% após os 175 dias de secagem, enquanto as toras de menores diâmetros apresentaram umidade entre 16 e 27%.

A redução da taxa de secagem, em razão do aumento da classe de diâmetro, ocorre devido ao maior percurso que as moléculas de água existentes no interior da madeira, necessitam percorrer para atingirem as camadas superiores da madeira e serem evaporadas (VITAL et al., 1985).

Barros (2006) estudando a secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis* aos 11 anos de idade 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%. Aos 60 dias de secagem, a umidade média aproximou-se de 40%. Após os 180 dias de secagem, a umidade média da madeira alcançou valores médios de 27%.

3.2. Permeabilidade da Madeira

Permeabilidade é a capacidade com que fluidos são transportados através de um sólido poroso, sob a influência de um gradiente de pressão (SIAU, 1971). A permeabilidade depende da porosidade, mas nem todo corpo poroso é permeável. A permeabilidade da madeira aos líquidos e gases é de extrema importância para os mais variados processos, como impregnação, polpação, colagem etc. A madeira mais permeável, evidentemente, pode ser mais facilmente tratada ou seca (SILVA, 2008; TARMIAN; PERRE, 2009). Segundo Lepage et al. (1986), a permeabilidade da madeira correlaciona-se com sua respectiva tratabilidade.

De acordo com Siau (1971), o escoamento de fluidos através da madeira segue a lei de Darcy. A condição fixa para escoamento existe quando o fluxo e gradientes são constantes em espaço e tempo. Fluxo é a taxa de escoamento por unidade de área da seção transversal, dada em $[\text{cm}^3(\text{fluido})/\text{cm}^2(\text{área})\cdot\text{seg.}]$. Gradiente é a diferença de pressão causando o escoamento por unidade de comprimento na direção de escoamento,

dada por (atm/cm) ou (dina/cm².cm). Logo, para que obedeça a condição para a lei de Darcy, a permeabilidade será igual ao fluxo dividido pelo gradiente. Logo, a permeabilidade é uma medida da facilidade com que o fluxo escoar através de um material sob um gradiente de pressão.

A permeabilidade pode ser calculada pela relação entre o fluxo e o gradiente segundo a Lei de Darcy, a qual é expressa por:

$$K = \frac{V.L}{\Delta P.t.A}$$

Sendo,

K = permeabilidade, cm³/cm.atm.s ou m³/m(N/m²).s;

V = volume do líquido fluindo através da amostra, cm³ ou m³;

t = tempo do fluxo, s;

L = comprimento da amostra em direção do fluxo, cm ou m;

A = área transversal da amostra, perpendicular à direção do fluxo, m²;

Segundo Kollmann e Côté (1968) e Siau (1971), o procedimento para a medição da permeabilidade gasosa é mais simples quando comparado a líquidos, devido à eliminação de problemas associados com forças capilares. Também, as principais diferenças da lei de Darcy no fluxo gasoso, como expansão do gás e difusão de Knudsen, podem ser desconsideradas. Os autores afirmam que essa medição é vantajosa porque ela torna possível calcular raios e separar alta e baixa permeabilidade em série. Medições gasosas são mais convenientemente feitas com ar, mas devem-se tomar precauções, como remover a umidade e particulados do ar, mediante a ação de dessecantes e microfiltração.

3.2.1. Fatores que afetam a permeabilidade

3.2.1.1. Variação entre espécies

A variação entre espécies é fator importante que afeta a permeabilidade da madeira. Segundo Siau (1984), essa variação pode chegar a relações de 5 x 10⁶ e 5 x 10⁵ para folhosas e coníferas, respectivamente devido à variação na estrutura da

madeira como tamanho, distribuição e número de elementos condutores, além, também, da presença e intensidade de obstruções.

3.2.1.2. Cerne alburno

De acordo com Siau (1971), o alburno recebe tratamentos preservantes ou secagem com mais facilidade do que o cerne. De acordo com o mesmo autor, a permeabilidade no cerne é menor devido a três características principais: i) as aspirações que ocorrem na árvore durante as mudanças fisiológicas da madeira; ii) obstrução das pontoações, formadas por gomas e resinas; iii) incrustação das membranas de pontoações por substâncias ligninosas. O autor afirma ainda que, as relações de fluxo entre o alburno e o cerne de algumas espécies, chegam a variar em 34:1 (*Pseudotsuga* sp.), em 10:1 (*Tsuga* sp.) e em 6:1 (*Thuja* sp.). Silva et al. (2010), afirmam que, em *E. grandis*, o fluxo no cerne é cerca de 28 vezes inferior ao do alburno.

3.2.1.3. Extrativos

Os Extrativos também podem influenciar na permeabilidade da madeira, madeiras com elevado teor de extrativos são menos permeáveis que madeiras de menor teor. De acordo com Klock et al. (2005) e Pereira et al. (2000) alguns extrativos que se localizam nas células do parênquima dos raios conectados aos vasos, podem dificultar a passagem de fluidos.

3.2.1.4. Propriedades anatômicas

Os vasos são os principais meios por onde um fluido se propaga na madeira. Vasos são estruturas tubulares alinhadas longitudinalmente que se comunicam por meio de placas de perfuração e pontoações (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; LEPAGE et al., 1986). As características dos vasos, como o diâmetro, frequência e distribuição e também o tipo de pontoação, afetam diretamente a permeabilidade da madeira. Lepage et al. (1986) afirmam que os vasos que apresentam formação de tilos, que são expansões de células parenquimáticas adjacentes, podem obstruir a passagem de fluidos tornando a madeira menos permeável.

3.2.1.5. Umidade

A umidade também pode influenciar na permeabilidade, espera-se que madeira com teores de umidade acima da umidade de saturação das fibras (USF) possuam baixa permeabilidade pois altas pressões capilares devem ser superadas para forçar as bolhas de ar através de minúsculas aberturas (LEPAGE et al., 1986).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados seis clones comerciais de eucalipto (Tabela 1) selecionados de acordo com suas produtividades em volume de madeira e, também, resistentes à ferrugem do eucalipto. Os materiais genéticos são provenientes de um teste clonal, de espécies do gênero *Eucalyptus*, implantados em blocos casualizados com parcelas quadradas de 7 x 7 plantas por clones em espaçamento 3 x 3 m, aos 9 anos de idade, localizado na Fazenda Guaxupé Florestal no município de Ubá-MG.

Tabela 1 – Informações gerais sobre os diferentes materiais genéticos utilizados no estudo

Clone	Material Genético	Procedência	Altura total (m) (média)	DAPcc (média)	Incremento médio anual - IMA (9 anos)
3487	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Plantar	32,37	22,21	77,52
3336	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Acesita	29,67	21,74	70,23
GG100	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Gerdau	28,25	21,62	64,88
3335	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Acesita	29,5	20,53	60,53
1213	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Copener	26,25	19,67	50,37
57	<i>E. grandis</i>	Cenibra	26,25	18,02	43,11

- DAPcc = Diâmetro

O experimento foi conduzido no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira – LAPEM e no Laboratório de Propriedades da Madeira – LPM, do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV.

O teste clonal localiza-se no bioma mata atlântica, a 20° 47' 01'' S e 42° 52' 29'' W e a 750 m de altitude. O clima é tropical, com predominância de chuvas durante o verão e um índice pluviométrico anual médio de 1570 mm. O relevo é montanhoso a ondulado e as temperaturas médias anuais estão entre 18,2 e 31°C (ALMG, 2014).

4.1. Preparo das amostras

Foram selecionadas quatro árvores de diâmetro médio para cada um dos seis clones, totalizando 24 árvores (parcelas). A seleção foi feita excluindo-se as árvores que apresentavam defeitos visuais e também aquelas que se encontravam nas bordas.

De cada árvore foram retirados seis discos de 5 cm de espessura, correspondentes a 0%, DAP (diâmetro à altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, até o diâmetro mínimo médio de 5 cm. Inicialmente, foram determinadas as circunferências dos discos com e sem casca ao longo do tronco, os percentuais de cerne e alburno de cada disco, bem como a densidade básica da madeira no sentido longitudinal e radial (cerne, cerne-periférico e alburno) e as análises anatômicas na região do cerne periférico. O restante de cada disco foi seccionado formando-se uma amostra composta para determinação da composição química estrutural da madeira.

A permeabilidade da madeira foi determinada a partir de toretes de madeira retirados ao longo do fuste da árvore, sentido longitudinal.

4.2. Propriedades da madeira

4.2.1. Relação cerne/alburno (C/A)

Os procedimentos utilizados para determinação da relação cerne/ alburno (C/A) estão de acordo com a metodologia descrita por Evangelista (2007). Inicialmente identificou-se, em cada torete, a região do cerne periférico, região limite entre cerne e alburno, com o auxílio de uma lupa com aumento de dez vezes, observando-se a alteração na cor e ocorrência de poros obstruídos por tilos no cerne. De uma extremidade à outra de cada torete, traçaram-se duas retas perpendiculares, passando pelo centro da medula. Foram feitas as medições do diâmetro total e do diâmetro do cerne com uma régua de 0,1 cm de precisão. A relação cerne/alburno (C/A) foi calculada pela fórmula:

$$C/A = \frac{Dc^2}{D^2 - Dc^2}$$

Sendo,

Dc: Diâmetro do cerne, em cm; e,

D: Diâmetro do disco sem casca, em cm.

Os valores médios da relação C/A para cada clone foram calculados a partir da média ponderada da relação C/A dos discos de madeira de cada árvore, utilizando o volume das toras entre dois discos consecutivos como fator de ponderação.

4.2.2. Densidade básica

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003). Foi determinada a densidade no sentido medula casca (cerne, cerne periférico e alburno) e também no sentido base topo.

Os valores médios de densidade básica foram calculados pela média ponderada das densidades do cerne e alburno observando as proporções de cada um destes ao longo da árvore (3 classes de diâmetro).

4.2.3. Análise morfológica de fibras e poros

Para esta análise, inicialmente retirou-se pequenos fragmentos de todos os discos na região do cerne periférico.

Para individualização das fibras, as amostras foram acondicionadas com solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial, segundo o método preconizado por Dadswell (1972). Posteriormente, montaram-se lâminas temporárias e mediram-se a largura e o diâmetro de 30 fibras por árvore. Foram utilizados um microscópio ótico com câmera acoplada, sistema de aquisição de imagens, e o software Axio-Vision. A espessura da parede celular da fibra foi determinada matematicamente pela metade da diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lume. A fração parede (FP) foi estimada conforme Foelkel et al. (1975).

$$\text{Fração parede} = \frac{2 * Ep}{Df} * 100$$

Sendo,

Ep: Espessura de parede, em μm ; e,

Df: Diâmetro de fibra, em μm .

Para medição do diâmetro e da frequência de poros foram utilizadas amostras da região do cerne periférico de cada árvore, provenientes da parte superior do torete relativo ao DAP. Os cortes anatômicos foram feitos com espessura média de 16 μm , utilizando um micrótomo de deslize horizontal. De cada amostra foram realizados cortes nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial. Os cortes anatômicos foram desidratados em uma série alcoólica, corados com solução de safranina, e as lâminas foram fixadas com Entelan. Com o auxílio do software Axio-Vision 4.3, foram realizadas as medições do diâmetro de 30 poros para cada árvore e a frequência foi mensurada em 5 micrografias por árvore.

4.2.4. Composição química estrutural

Para determinação da composição química da madeira foram empregadas as amostras de madeira já moídas, formando uma amostra composta por árvore, utilizando-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982). A determinação do teor absolutamente seco da madeira foi realizada conforme a norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 2001).

Os teores de extrativos da madeira foram determinados em duplicatas, de acordo com a norma TAPPI 204 om-88 (TAPPI, 2001), utilizando-se o método de determinação de extrativos totais, apenas substituindo o etanol/benzeno, pelo etanol/tolueno.

Os teores de lignina insolúvel foram determinados em duplicata pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971), a partir da diluição do filtrado proveniente do procedimento para obtenção da lignina insolúvel. O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel.

A porcentagem de cinzas na madeira foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), utilizando-se cadinho de porcelana e temperatura de 600°C por 6 horas.

4.3. Permeabilidade da madeira

4.3.1. Ensaio de Permeabilidade

A permeabilidade da madeira foi determinada ao longo do fuste da árvore, considerando 3 classes de diâmetro (6-10 cm; 10,1-16 cm e 16,1 - 25 cm), ou seja, três alturas diferentes. De cada árvore foram retirados toretes de aproximadamente um metro de comprimento para compor cada classe de diâmetro. Em seguida, de cada torete foram retiradas amostras retangulares com aproximadamente 30 x 3 x 3 cm (comprimento, largura e altura) para facilitar o torneamento. Em seguida, as amostras retangulares foram torneadas até que atingissem 2 cm de diâmetro e, por fim, seccionadas com 5 cm de comprimento conforme metodologia, adaptada, de Baraúna (2010). As amostras de madeira utilizadas apresentaram $\pm 16\%$ de umidade (b.s). Ressalva-se que para os toretes que não foi possível a retirada de amostras apenas de alburno, as mesmas foram retiradas na região do cerne periférico.

Após o torneamento e o seccionamento, os corpos de provas foram impermeabilizados, no sentido radial, com parafina a fim de evitar a passagem de ar e comprometer as medições. As extremidades dos corpos de provas foram isoladas com fita adesiva para não entrarem em contato com a parafina, mantendo-se livre a área do fluxo (ar atmosférico). Para esse procedimento, foi utilizado um bico de Bunsen, como fonte de calor para derreter a parafina e um béquer para parafina líquida. Após o derretimento da parafina, mergulhou-se a amostra, devidamente protegida no sentido longitudinal com fita adesiva, e poucos segundos após o mergulhamento, a mostra se encontrava com as laterais todas impermeabilizadas.

Retirou-se amostras tanto da região do cerne quanto do alburno para determinação de suas permeabilidades e, posteriormente, fez-se uma média ponderada entre as permeabilidades do cerne e alburno de acordo com a relação cerne/alburno de cada classe de diâmetro a fim de determinar a permeabilidade da madeira por classe de diâmetro.

A permeabilidade da madeira ao ar atmosférico foi determinada pelo método do fluxômetro conforme metodologia descrita por Siau (1971), adaptada por Baraúna (2010).

O equipamento para o ensaio da permeabilidade ao ar atmosférico foi dotado de quatro fluxômetros conectados em série nas seguintes escalas e sequência: 0,04 a 0,5 LPM (Litros por minuto); 0,2 a 2,5 LPM; 0,4 a 5,0 LPM e 2,0 a 25,0 LPM, conectados

por mangueiras de pvc a uma bomba de vácuo marca Prismatec, modelo 131 2 VC em uma das extremidades e, na outra, foi encaixadas as amostras (Figura 1). O vácuo aplicado foi de -3 pol.Hg. A leitura de vazão de ar foi obtida pelo fluxômetro de menor escala e, quando não foi possível a leitura neste, prosseguia-se para o subsequente até que a leitura fosse obtida. È importante ressaltar que quando se fez a leitura em um fluxômetro, os demais permaneciam fechados. Esses fluxômetros têm a finalidade de medir o fluxo de ar por meio dos corpos-de-prova.

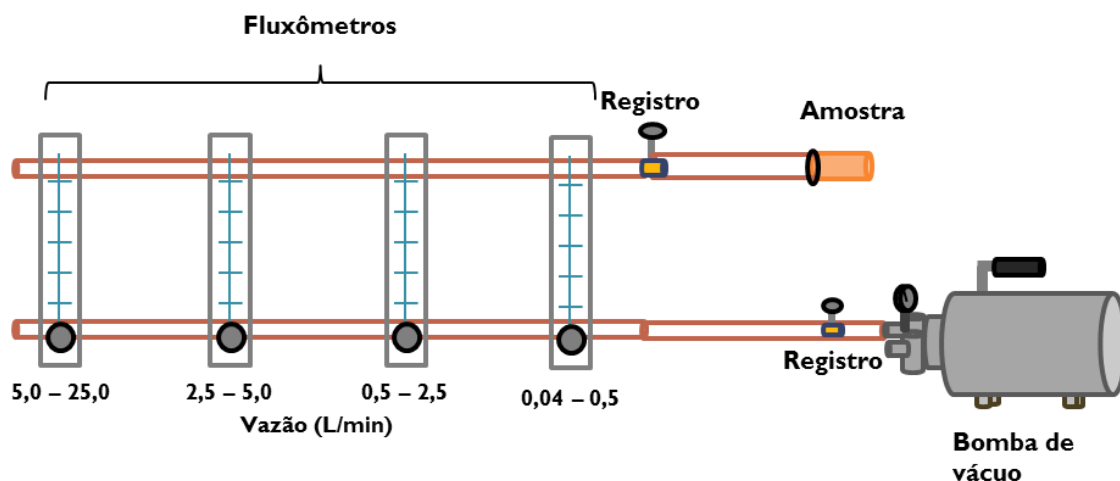


Figura 1 - Ilustração do sistema utilizado na medição da permeabilidade da madeira ao ar.

Para evitar possíveis vazamentos entre a amostra e a mangueira, foi utilizada uma abraçadeira a qual era apertada com um auxílio de uma chave de fenda. Esta pressão de trabalho da bomba foi estabelecida em testes preliminares, conforme descrito no item 4.3.2.

Após o acionamento da bomba, aguardou-se por um período de aproximadamente 10 segundos para estabilização do fluxo e em seguida coletou-se os dados de vazão após a passagem do fluxo de ar no corpo-de-prova e a pressão de saída indicada pela bomba de vácuo.

Para a determinação da permeabilidade gasosa da madeira, foi utilizada a equação abaixo, seguindo a lei de Darcy, sendo que:

$$Kg = \frac{Q \cdot L \cdot Pi}{L \cdot \Delta P \cdot Pm}$$

Sendo,

K_g : permeabilidade ao gás ($\text{cm}^3/\text{cm}\cdot\text{atm}\cdot\text{s}$);

Q : volume do fluxo de gás que percorre o corpo de prova (cm^3/s);

L : comprimento da amostra (cm);

P_i : pressão de entrada, a do ambiente (atm);

A : área da seção transversal (cm^2);

ΔP : diferença de pressão (atm);

P_m : média da pressão no corpo-de-prova (atm).

4.3.2. Teste preliminar para obter a pressão de trabalho da bomba de vácuo

Para realização do ensaio de permeabilidade da madeira, inicialmente realizou-se um teste preliminar para avaliar a influência da pressão inicial da bomba de vácuo na permeabilidade da madeira. Para tanto, foram selecionadas amostras de cerne e alburno, em seis repetições de cada, as quais foram submetidas às medições, conforme metodologia descrita no item 4.3.1., utilizando 5 pressões diferentes na bomba de vácuo: 1, 2, 3, 4 e 5 pol.Hg.

4.4. Secagem da madeira em tora

Para proceder o estudo da secagem da madeira, após a coleta das árvores, foram retiradas, de cada árvore, cinco toras de, um metro cada, correspondentes às alturas 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Foi mensurada a circunferência da base e a do topo de todas as toras e, pela média aritmética foi calculado o diâmetro médio de cada tora. A seguir, cada clone foi separado em três classes diamétricas, denominadas: classe 1, toras de diâmetros entre 16,1 a 25 cm, classe 2, toras de diâmetros entre 10,1 e 16 cm e classe 3, toras com diâmetros de 6 – 10 cm.

Para avaliar o efeito da presença de casca na velocidade de secagem, metade das toras permaneceu com casca e a outra metade retirou-se as cascas, manualmente, com auxílio de um facão.

A secagem foi conduzida em um galpão coberto para evitar o efeito das condições climáticas nos tratamentos. Os toretes ficaram dispostos em uma estrutura elevada a 0,6 m do chão e 0,10 m distantes entre si para que houvesse uma maior circulação do ar entre eles (Figura 2).

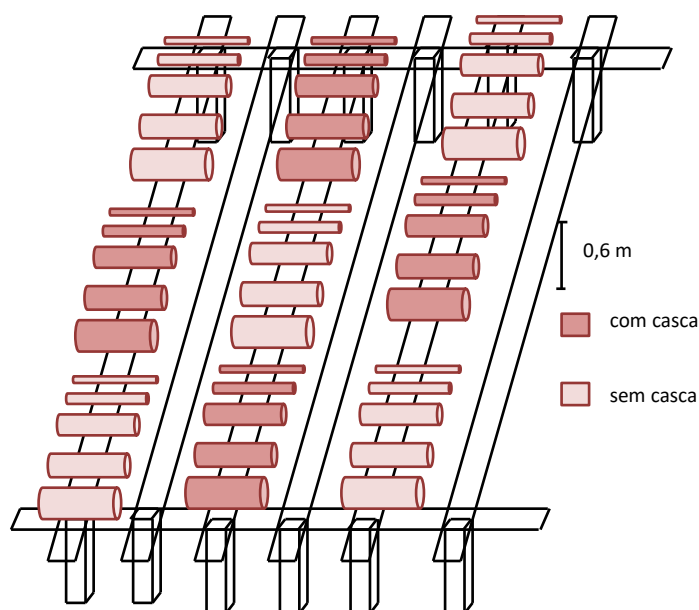


Figura 2 - Imagem ilustrativa da disposição das toras para secagem.

Todas as toras de madeira foram pesadas individualmente e determinou-se o teor de umidade inicial. Durante o período de secagem avaliado, julho a dezembro/2013, as toras foram pesadas em intervalos de 2 semanas até o 154º dia e a umidade foi estimada para cada avaliação em função da massa seca estimada obtida pela umidade inicial observada, ou seja, com os valores de umidade inicial observados para cada tora, estimou-se a massa seca através da equação da umidade. A partir dos valores de massa seca de cada tora, estimou-se a umidade em cada avaliação de acordo com a massa observada em cada avaliação.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar para a cidade de Viçosa-MG, no período de avaliação da secagem da madeira.

Tabela 2 - Valores médios de temperatura (°C) e umidade relativa (%) do ar para a cidade de Viçosa-MG, entre os meses de agosto/2013 janeiro/2014

Parâmetro	Ago/2013	Set/2013	Out/2013	Nov/2013	Dez/2013	Jan/2014
Temperatura do ar (°C)*	17,3	19,7	19,7	21,1	22,4	23,4
Umidade Relativa (%)*	74,2	74,3	77,4	76,5	84,6	72,2

* Dados obtidos na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa.

4.5. Delineamento experimental

Todos os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors para testar a normalidade e de Cochran para testar a homogeneidade das variâncias e, em seguida, submetidos à análise de variância (ANOVA). Observando-se diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si, por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade e 95% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa Statistica 8.0 (STATSOFT, 2007).

4.5.1. Propriedades anatômicas, densidade básica, relação C/A (Sentido longitudinal)

Para avaliar efeito do clone e da altura do fuste nas propriedades anatômicas, densidade básica e relação cerne\alburno instalou-se um experimento segundo um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (6 x 5), sendo 6 clones de eucalipto e 5 alturas ao longo do fuste da árvore, totalizando 30 tratamentos, em 4 repetições.

4.5.2. Densidade básica (Sentido radial)

Para avaliar o efeito da posição radial na densidade básica da madeira instalou-se um experimento segundo um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (6 x 3), sendo 6 clones de eucalipto e 3 posições no sentido radial da madeira (cerne, cerne periférico e alburno), totalizando 18 tratamentos, em 4 repetições.

4.5.3. Composição química

Para avaliar o efeito do material genético na composição química da madeira instalou-se um experimento segundo um delineamento inteiramente casualizado, com 6 clones de eucalipto, em 4 repetições, totalizando 24 unidades amostrais.

4.5.4. Permeabilidade da madeira

4.5.4.1. Permeabilidade da madeira de cerne e alburno no sentido longitudinal

Para avaliar o efeito dos tratamentos na permeabilidade da madeira do alburno instalou-se um experimento segundo um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (6 x 3), sendo 6 clones de eucalipto e 3 classe de diâmetro, totalizando 18 tratamentos, em 4 repetições.

Para avaliar o efeito dos tratamentos na permeabilidade da madeira do cerne instalou-se um experimento segundo um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (6 x 2), sendo 6 clones de eucalipto e 2 classe de diâmetro, totalizando 12 tratamentos, em 4 repetições. Ressalta-se que não foi mensurado a permeabilidade do cerne na classe 3 por não conter madeira de cerne nesta classe.

4.5.4.2. Permeabilidade ponderada da madeira por classe de diâmetro

Avaliou-se, também, a permeabilidade da madeira por classe de diâmetro ponderando-se o percentual de cerne e alburno presente em cada classe pelo seus respectivos valores de permeabilidade.

Para tanto, instalou-se um experimento segundo um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (6 x 3), sendo 6 clones de eucalipto e 3 classe de diâmetro, totalizando 18 tratamentos, em 4 repetições.

4.5.5. Secagem da madeira

Para avaliar o efeito do clone (6 clones), da classe diamétrica (6-10; 10,1-16; 16,1-25 cm) e da presença ou ausência de casca no tempo de secagem foi considerado um delineamento inteiramente casualizado, com 2 repetições (árvore), totalizando 36 tratamentos, em 72 unidades amostrais.

Com o auxílio do programa R, definiu-se modelos que melhor explicaram a distribuição dos dados. Foram observados o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão residual, distribuição dos resíduos, a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e o coeficiente de determinação.

A comparação entre os tratamentos, foi feita pelo teste de identidade de modelos (REGAZZI; SILVA, 2004).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Propriedades da madeira

De acordo com a análise de variância, houve efeito significativo dos tratamentos nas propriedades da madeira, exceto para a composição química, conforme apresentado nas Tabelas de 3 a 9.

Na tabela 3 estão apresentados os valores médios de frequência de vasos da madeira, sentido longitudinal, para os diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

Tabela 3 - Valores médios de frequência (poros/mm²) dos vasos da madeira dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp. no sentido longitudinal

Clone	Sentido longitudinal (Base-topo)				
	0%	25%	50%	75%	100%
57	9.5 Bab	9.1 Ba	9.0 Bbc	8.7 Bb	15.1 Ab
1213	12.4 ABa	10.4 BCa	8.9 Cbc	10.9 BCb	15.0 Ab
3335	8.6 Bb	9.5 Ba	9.2 Bbc	9.3 Bb	15.1 Ab
3336	8.9 Cb	12.0 BCa	13.8 ABa	16.0 Aa	13.1 Bb
3487	8.8 Bb	9.4 Ba	10.5 Bab	9.6 Bb	23.7 Aa
GG100	11.5 Bab	9.0 Ba	8.0 Bbc	9.4 Bb	22.1 Aa

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas entre alturas e minúsculas entre clones, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se que a frequência de vasos é maior no topo das árvores, com exceção do clones 3336 que apresentou maiores frequências de vasos na parte média do fuste da árvore. Observando o efeito clone, nota-se que clones de menores produtividades em madeira, ou seja, menor Incremento Médio Anual (IMA), que são os clones 57 e 1213, apresentaram valores médios de frequência de vasos menores que os clones de maiores IMA, principalmente no topo das árvores. Em estudo realizado por Pereira (2012) com 6 clones do gênero *Eucalyptus* aos 7.5 anos de idade foram encontrados valores semelhantes que variaram de 8.6 a 14.14 poros/mm². Valores semelhantes, também, foram obtidos por Evangelista et al. (2010), ao estudarem dois clones de *E. urophylla*, aos 6 e 7 anos, e um clone de *E. camaldulensis*, aos 8 anos.

Na tabela 4 estão apresentados os valores médios de diâmetro dos poros no sentido longitudinal para os diferentes clones de *Eucalyptus* sp.

Tabela 4 - Valores médios de diâmetro dos vasos (μm) da madeira dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp. no sentido longitudinal

Clone	Sentido longitudinal (Base-topo)				
	0%	25%	50%	75%	100%
57	121.7 Aa	129.1 Aab	118.3 Ab	129.3 Aa	99.8 Bb
1213	123.4 Ba	139.7 Aa	145.3 Aa	139.8 Aa	120.1 Ba
3335	133.1 Aa	116.7 Bbc	143.6 Aa	140.4 Aa	114.5 Bab
3336	123.1 Aa	113.9 ABc	116.6 ABb	103.5 Bb	76.4 Cc
3487	131.7 Aa	136.2 Aa	137.5 Aa	125.9 Aa	100.9 Bb
GG100	101.5 Cb	120.9 Bbc	150.7 Aa	133.2 Ba	101.3 Cb

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas entre alturas e minúsculas entre clones, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se, em geral, que os maiores diâmetros de vasos foram observados, principalmente, na parte basal e média do fuste das árvores de todos os clones avaliados. Observando o efeito clone, nota-se que, em média, o clone 3336 apresentou os menores valores médios de diâmetro de vaso. Segundo Evangelista et al. (2010) e Lima et al. (2011), maiores diâmetros dos poros, geralmente, implicam em menores frequências, o que foi observado nesse trabalho, principalmente para o clone 3335, que apresentou, em média, uma frequência de 10,3 poros/ mm^2 e diâmetro de vasos, em média, de 129,7 μm . Pinheiro (2013), estudando *E. urophylla* aos 5 anos de idade encontrou um diâmetro de poros médio de 97,15 μm , valores esses abaixo dos encontrados neste trabalho que, pode estar associado a vários fatores como idade, procedência, condições edafoclimáticas ou tratamentos silviculturais.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios da fração parede das fibras dos diferentes clones de *Eucalyptus* sp. em estudo.

Tabela 5 - Valores médios de fração parede (%) dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

Clone	Sentido longitudinal (base-topo)				
	0%	25%	50%	75%	100%
57	48.7 Cc	57.4 Ab	55.6 Aa	55.0 ABab	50.6 BCbc
1213	53.2 Bbc	63.6 Aa	55.0 Ba	56.0 Bab	51.8 Bab
3335	59.6 Aa	46.5 Cc	43.9 Cb	51.9 Bb	52.2 Bab
3336	56.1 Aab	55.4 Ab	57.4 Aa	57.3 Aa	55.0 Aab
3487	53.4 Abc	53.6 Ab	54.8 Aa	55.3 Aab	58.2 Aa
GG100	54.7 Aab	54.0 Ab	47.2 Bb	45.8 Bc	48.0 Bc

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas entre alturas e minúsculas entre clones, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se que a fração parede variou significativamente, entre as diferentes alturas do fuste, para os clones de menor IMA (57 e 1213), sendo que os maiores

valores foram encontrados na parte média do fuste da árvore, enquanto que para os clones de maiores produtividades (3487 e 3336), essa propriedade não variou, significativamente, no sentido longitudinal. Observando-se o efeito clone, nota-se que os de maiores IMA apresentaram maiores médias nessa propriedade, 55,06 e 56,24 %, respectivamente para os clones 3487 e 3336. Provavelmente devido à alta produtividade em madeira destes, em função da alta taxa de crescimento, tendo fibras com paredes mais espessas e diâmetro de lume pequeno. Pereira (2012) estudando madeiras de 6 clones de *Eucalyptus* spp. aos 7,5 anos de idade encontrou valores variando de 47,0 a 55,6 %. Já Pinheiro (2013), estudando madeira de *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade encontrou um valor médio de 60,58% de fração parede.

Na tabela 6 são apresentados os valores médios de relação cerne/alburno para os diferentes clones de *Eucalyptus* sp. em estudo.

Tabela 6 - Relação Cerne/Alburno (C/A) para madeira dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

Clone	Sentido Longitudinal (base-topo)				
	0%	25%	50%	75%	100%
57	2.18 Ab	1.71 ABb	1.12 Ba	0.27 Ca	0.00 Ca
1213	1.86 Ab	1.47 ABb	1.18 BCa	0.60 CDa	0.00 Da
3335	2.07 Ab	1.89 ABb	1.33 BCa	0.81 Ca	0.00 Da
3336	3.34 Aa	2.63 Ba	1.56 Ca	0.96 Ca	0.00 Da
3487	2.10 Ab	1.74 ABb	1.30 BCa	0.68 Ca	0.00 Da
GG100	2.39 Ab	1.30 Bb	1.05 BCa	0.45 CDa	0.00 Da

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas entre alturas e minúsculas entre clones, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se que a relação cerne/alburno diminui no sentido longitudinal para todos os materiais genéticos, e ressalta-se que na altura de 100% do fuste não foi observada a presença de cerne. Em geral, os clones seguiram um mesmo padrão nas diferenças entre as alturas, ou seja, quando se analisa a diferença na relação cerne/alburno de uma altura para a seguinte, independente do clone, de modo geral, houve uma redução significativa. Porém, quando se analisa o efeito clone, observa-se que o clone 3336 apresenta significativamente mais cerne nas alturas 0 e 25% em relação aos demais clones avaliados. Nas demais alturas ao longo da árvore, não se observou diferenças significativas entre clones. Vale salientar que o clone 3336 é um clone alta produtividade.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980) podem existir variabilidades, nesta propriedade, entre espécies, procedências e clones, como observado neste trabalho. A

relação cerne/alburno apresentou uma ligeira tendência em ser maior em clones de maiores produtividades de madeira e maiores diâmetros à altura do peito (DAP).

A relação cerne/alburno afeta diretamente o processo de carbonização da madeira, principalmente na etapa inicial a qual se dá pela secagem da madeira, pois considerando que o cerne é extremamente mais impermeável que o alburno, madeiras com alta porcentagem de cerne irá aumentar o tempo desta etapa inicial e, conseqüentemente, atrasando o processo de carbonização como um todo (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). Considerando essa propriedade apenas nesta etapa inicial, os clones mais recomendados para produção de carvão vegetal seriam o 57, 1213 e GG100. Quanto a secagem da madeira no campo, também é aconselhável a escolha de materiais genéticos com baixa relação cerne/alburno, seguindo o mesmo critério acima. Porém, outros fatores influenciam na secagem, como densidade da madeira, tamanho das peças e fatores inerentes ao ambiente.

Em um estudo realizado por Pinheiro (2013) em *E. urophylla* aos 5 anos de idade, foi encontrada uma relação cerne/alburno de 1,36. Essa diferença de valores se deve principalmente à diferença de diâmetro entre os materiais em estudo, segundo Evangelista (2007), quanto maior o diâmetro da árvore maior é a porcentagem de cerne.

Na tabela 7 são apresentados os valores médios da densidade básica da madeira dos diferentes clones no sentido radial.

Tabela 7 - Valores médios da densidade básica da madeira, no sentido radial, dos clones de *Eucalyptus* spp.

Clone	Densidade básica (g/cm ³) no sentido radial			Média
	Cerne	Cerne periférico	Alburno	
57	0.46 Ca	0.49 Ba	0.55 Aa	0.50
1213	0.49 Ba	0.51 Aba	0.54 Aab	0.52
3335	0.40 Bc	0.49 Aa	0.50 Abc	0.47
3336	0.40 Cc	0.48 Ba	0.52 Aabc	0.47
3487	0.47 Ba	0.50 Ba	0.54 Aab	0.51
GG100	0.42 Bbc	0.47 Aa	0.49 Ac	0.46
Média	0.44	0.49	0.53	0,49

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas no sentido radial e minúsculas entre clones, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se, independente do clone, que a densidade básica aumentou no sentido medula-casca, ou seja, para todos os clones a madeira de alburno apresentou-se mais densa que a madeira de cerne. A densidade básica, em média, para os materiais genéticos, foi de 0,44 para cerne, 0,49 para o cerne periférico e 0,53 g/cm³ para o alburno. Quando observa-se o efeito clone, nota-se que tanto a madeira de cerne quanto

a de alburno são mais densas nos clones 1213, 57 e 3487 quando comparados aos demais, além de possuírem também, baixa relação cerne/alburno. Esses parâmetros, de modo geral, contribuíram para que estes clones tivessem maior densidade básica em relação aos demais, conforme apresentado na Tabela 7.

Resultados semelhantes foram encontrados por Tomazello Filho (1985) quando avaliou a variação radial da densidade em árvores das espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus acmenioides* e também por Pinheiro (2013), estudando a variação da densidade básica em *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade. Essa diferença na densidade pode ser ocasionada, segundo Oliveira e Silva (2003), pela proporção de vasos em relação às fibras e também pela espessura da parede das fibras, altas proporções de vasos podem implicar em diminuição da densidade, enquanto que paredes celulares mais espessas e maiores proporções de fibras podem acarretar em maiores valores de densidade. Segundo Kollmann e Côté (1968), as variações da densidade da madeira se dão por conta das diferenças na estrutura anatômica e na quantidade de substâncias extrativas por unidade de volume, ou seja, tamanho e proporções e tipo de determinadas células além de sua espessura de parede, características estas, que estão diretamente relacionadas com a idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratamentos silviculturais.

Na tabela 8 são apresentados os valores médios de densidade básica da madeira no sentido longitudinal para os diferentes clones de *Eucalyptus* sp.

Tabela 8 - Valores médios da densidade básica da madeira (g/cm^3), no sentido longitudinal, dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

Clone	Sentido Longitudinal (base-topo)					Média
	0 (%)	25 (%)	50 (%)	75 (%)	100 (%)	
57	0.45	0.46	0.51	0.50	0.48	0.48 B
1213	0.47	0.50	0.52	0.54	0.52	0.51 A
3335	0.41	0.43	0.44	0.43	0.43	0.43 C
3336	0.38	0.40	0.45	0.46	0.44	0.43 C
3487	0.44	0.47	0.51	0.53	0.53	0.50 AB
GG100	0.42	0.44	0.45	0.47	0.44	0.44 C
Média	0.43 b	0.45 b	0.48 a	0.49 a	0.48 a	0.47

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas entre alturas e maiúsculas entre clones, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se que não houve efeito significativo da interação clone e altura na densidade básica da madeira. Porém, observa-se, em média, uma tendência de a densidade básica apresentar valores menores na parte basal do fuste, aumentar até a altura de 75% do fuste comercial e, apresentar uma leve redução no topo do fuste, com

exceção do clone 3487, o qual apresentou uma tendência em aumentar no sentido longitudinal. O fato de todos os materiais genéticos apresentarem baixa densidade na base em relação ao topo pode ser explicado pela baixa densidade do cerne e a alta relação cerne/alburno na região basal (Tabela 6), ou seja, quando se faz uma média ponderada das densidades do cerne (baixa densidade) e alburno (alta densidade), obtém-se uma baixa densidade básica média devido a predominância do cerne.

Quando se avalia o efeito isolado do clone, nota-se que os clones 1213 e 3487 apresentaram os maiores valores de densidade básica da madeira, tendo os mesmos o segundo menor e o maior IMA, respectivamente. Portanto, não evidenciando efeito da produtividade volumétrica sobre a densidade básica. Os demais clones apresentaram as menores densidades básicas médias, não diferindo significativamente entre si.

As variações na densidade básica da madeira podem estar ligadas principalmente à sua anatomia como variação na proporção de vasos e espessura de parede das fibras (OLIVEIRA; SILVA, 2003). Segundo Vale et al. (2009), o grau de variação da densidade básica tanto no sentido longitudinal quanto radial é determinado por fatores ambientais e intrínsecos à própria espécie como a anatomia da madeira.

5.2. Composição química estrutural

Na Tabela 9 são apresentados os valores médios dos componentes químicos da madeira dos diferentes clones de Eucalyptus.

Tabela 9 – Composição química estrutural dos diferentes clones de eucalipto em estudo

Clone	Extrativos totais (%)	Lignina total (%)	Holocelulose (%)	Teor de Cinzas (%)
3487	2,85 (0,45)	28,28 (0,99)	68,71 (1,10)	0,17 (0,02)
3336	3,22 (0,23)	29,61 (0,92)	66,99 (1,08)	0,18 (0,01)
GG100	2,75 (0,97)	29,97 (0,75)	67,06 (1,22)	0,22 (0,03)
3335	2,86 (0,56)	29,26 (1,00)	67,66 (0,94)	0,23 (0,01)
1213	2,83 (0,38)	28,68 (0,18)	68,26 (0,56)	0,23 (0,05)
57	2,72 (0,42)	29,98 (2,93)	67,07 (3,31)	0,22 (0,03)
Média	2,87	29,29	67,62	0,21

() Desvio padrão

De acordo com os resultados da ANOVA não houve efeito significativos dos tratamentos na composição química da madeira. No entanto, ressalta-se que o clone 3336 apesar de não ser significativamente diferente, apresentou o maior percentual médio de extrativos em relação aos demais.

Segundo Milota et al. (1995), citado por Rezende (2014) madeiras com alto teor de extrativos apresentam permeabilidade mais baixa em relação à madeiras com teores de extrativos mais baixos, posto que estes obstruem o fluxo. Rezende (2014) estudando a permeabilidade à água e ao ar de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* encontrou correlações significativas com os extrativos, principalmente para a madeira de *E. dunnii*.

Logo, provavelmente, a diferença de permeabilidade encontrada para os diferentes clones neste trabalho não será explicada pelo percentuais médios de extrativos presentes nestes materiais, uma vez, que não houve grande diferenças entre eles, exceto para o clone 3336.

5.3. Permeabilidade da madeira ao ar

5.3.1. Efeito da pressão de trabalho da bomba de vácuo

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios da permeabilidade da madeira em função da pressão de trabalho utilizada na bomba de vácuo. Salienta-se que trata-se de dados do estudo preliminar para obter a pressão ótima de trabalho para realização dos ensaios, visto que não existe norma técnica para esse procedimento.

Tabela 10 - Valores médios de permeabilidade da madeira ($\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}$) do cerne e do alburno em função da pressão de trabalho na bomba de vácuo

Pressão na bomba (pol.Hg.(-1))	Posição	
	Cerne	Alburno
1	1,11 eB	213,57 eA
2	1,88 dB	277,85 dA
3	4,09 cB	392,68 cA
4	6,40 bB	458,43 bA
5	8,29 aB	561,82 aA

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas entre cerne e alburno e minúsculas entre diferentes pressões, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se que os valores médios de permeabilidade foram influenciados diretamente pela pressão de trabalho pré-estabelecida na bomba de vácuo, ou seja, a medida que se aumentou a pressão de trabalho aumentou-se também a permeabilidade da madeira. Isso se deve ao aumento da vazão de ar promovido pela maior pressão de sucção para uma mesma área, fazendo-se com que o fluxo de ar nas amostras aumentasse e, conseqüentemente, a vazão observada pelas leituras dos fluxômetros. Uma vez observado esse efeito, realizou-se os demais ensaios de permeabilidade em um

vácuo de -3 pol.Hg, pois verificou-se que esse seria um vácuo no qual a bomba trabalharia de forma uniforme para todas as amostras, ou seja, nenhuma leitura de pressão seria feita próxima dos limites (inferior ou superior) da capacidade de aferição da bomba.

5.3.2. Permeabilidade da madeira

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios da permeabilidade da madeira do cerne dos clones em função da classe de diâmetro. Vale salientar que não foi determinada a permeabilidade da madeira do cerne da classe de diâmetro 3 por que a mesma não apresentou madeira com cerne.

Tabela 11 - Valores médios de permeabilidade da madeira do cerne (cm³/cm.atm.s)

Clone	Classe de diâmetro		Média
	1 (16.1-25 cm)	2 (10.1-16 cm)	
57	3.68	6.45	4.87 A
1213	4.30	5.05	4.62 A
3335	4.06	7.00	5.04 A
3336	3.93	5.82	4.87 A
3487	3.77	4.14	3.98 A
GG100	6.18	5.62	5.94 A
Média	4.35 b	5.54 a	4.95

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas entre clones e minúsculas entre classes, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se que a permeabilidade média do cerne variou de 3,98 a 5,04 cm³/cm.atm.s e que não houve diferenças significativas entre os diferentes clones. Quando se observa o efeito classe de diâmetro, nota-se que, em média, a permeabilidade do cerne aumentou no sentido longitudinal de 4,35 pra 5,54 cm³/cm.atm.s, e apesar desta pequena diferença, ela pode contribuir diretamente para a secagem da madeira, principalmente para clones que possuem alta relação cerne/alburno e classes de diâmetros maiores, onde a maior parte da madeira é de cerne.

Na Tabela 12 são apresentados os valores médios da permeabilidade da madeira do alburno dos clones em função da classe de diâmetro.

Tabela 12 - Valores médios de permeabilidade da madeira do alburno (cm³/cm.atm.s)

Cl one	Classe de diâmetro			Média
	1(16.1-25 cm)	2(10.1-16 cm)	3(6-10 cm)	
57	335.43	279.76	396.41	337.36 A
1213	256.27	288.49	410.87	310.15 A
3335	259.78	335.61	388.81	328.07 A
3336	149.61	258.36	372.48	297.00 A
3487	356.03	345.00	344.62	347.87 A
GG100	321.95	394.17	346.20	354.11 A
Média	293.47 c	316.90 b	375.07 a	329.09

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas entre clones e minúsculas entre classes, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observa-se que a permeabilidade média do alburno variou de 297,00 a 354,11 cm³/cm.atm.s, e não houve efeito significativo da interação clone e classe de diâmetro. A permeabilidade do alburno foi, em média, cerca de 64 vezes maior que a permeabilidade do cerne. De acordo com Silva et al. (2010), a baixa permeabilidade do cerne se deve, provavelmente, à presença de tilos, gomas e outras substâncias que se depositam nessa região podendo obstruir completa ou parcialmente seus vasos, o que não ocorre com o alburno. Quando se observa o efeito classe de diâmetro, nota-se também um aumento da permeabilidade do alburno no sentido longitudinal, variando, em média, de 293,47 na base do fuste para 375,07 cm³/cm.atm.s no topo. Essa diferença ocorre, provavelmente, em função da maior frequência de vasos e menor espessura da parede das fibras no topo do fuste.

Observa-se que o clone 3336 apresentou uma baixa permeabilidade do alburno na classe 1, a de maior diâmetro. Isso se deve ao baixo percentual de madeira de alburno, visto que não foi possível a retirada de amostras individualizadas deste e, conseqüentemente, as amostras dessa região tiveram grande quantidade de cerne periférico ou o próprio cerne o que prejudicou as medições de permeabilidade nessa classe para o clone 3336, além também, da maior percentagem de extrativos apresentada por este clone, já que altas percentagens de extrativos podem diminuir a permeabilidade da madeira.

Na Tabela 13 são apresentados os valores médios da permeabilidade da madeira dos clones em função da classe de diâmetro obtidos pela média ponderada das permeabilidades do cerne e alburno de acordo com a relação cerne/alburno de cada classe.

Tabela 13 - Valores médios de permeabilidade da madeira ($\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}$), ponderada pela relação C/A, por classe de diâmetro

Clone	Classe de diâmetro			Média
	1	2	3	
57	95.65	186.34	396.41	226.13 A
1213	102.71	167.97	308.15	192.95 A
3335	92.53	172.56	388.81	217.97 A
3336	12.43	119.36	372.48	168.09 A
3487	95.47	179.27	344.62	206.45 A
GG100	124.06	234.23	346.20	234.83 A
Média	87.14 c	176.62 b	359.45 a	207,74

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas entre clones e minúsculas entre classes, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 13, observa-se que a permeabilidade média dos clones variou de 168,09 a 234,83 $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}$.

Houve somente efeito isolado da classe de diâmetro na permeabilidade da madeira. A permeabilidade da madeira aumenta no sentido longitudinal. Isso pode ser explicado pela alta quantidade de madeira de cerne presente na base do fuste, já que o cerne é extremamente menos permeável que o alburno. A medida que se aproxima do topo, a relação cerne/alburno vai diminuindo consideravelmente, logo a permeabilidade da madeira nessas regiões é dada quase que exclusivamente pelo alburno. Observa-se, mais uma vez, que o clone 3336 apresentou uma baixa permeabilidade na classe 1, a de maior diâmetro. Isso se deve a alta relação cerne alburno obtido para esse material genético, além dos motivos já acima mencionados quanto a retirada do corpo de prova para o ensaio de permeabilidade, visto que se tinha pouco material de alburno.

Pinheiro (2013) avaliando a permeabilidade ao ar de amostras longitudinais de alburno de *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade, obteve valores médios de 216,97 $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}$. Baraúna (2010) estudando a permeabilidade gasosa de madeiras de amapá e faveira, encontrou valores médios de 64,53 e 142,00 $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}$, respectivamente. Os valores médios obtidos por esses autores diferiram dos observados neste trabalho, que teve valor médio de 207,74 $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{atm}.\text{s}$. Essas diferenças podem ter ocorrido por conta das diferentes espécies avaliadas que, conseqüentemente, possuem variação na anatomia, além, também das diferentes idades. Porém, vale salientar que um fator que interfere diretamente no ensaio da permeabilidade da madeira pelo método do fluxômetro, é a pressão de trabalho utilizada na bomba de vácuo para fazer as medições. Testes preliminares com pressões diferentes foram realizados neste trabalho, como citado no item 5.3.1, constatando que quanto maior a pressão de trabalho utilizada na bomba de vácuo, maior serão os valores obtidos de permeabilidade. Nos

trabalhos acima referenciados não foram citados os valores de pressões de vácuo utilizados para determinar a permeabilidade, o que pode ter contribuído pelas diferenças observadas, além das características da madeira, conforme mencionado.



Figura 3 – Amostras de madeira evidenciando: A: Alburno; B: Cerne.

5.4. Secagem da madeira

5.4.1. Estimativa da perda de umidade em função dos tratamentos

Na Tabela 14 são apresentados os valores médios do teor de umidade inicial da madeira por clone e classe de diâmetro.

Tabela 14 - Valores médios do teor de umidade inicial (%) das toras para os 6 materiais genéticos de eucalipto nas 3 classes de diâmetro

Clone	Classe de diâmetro (cm)		
	1 (16,1 - 25)	2 (10,1 - 16)	3 (6 - 10)
3487	142,56 %	96,03 %	55,39 %
3336	120,74 %	117,09 %	80,04 %
GG100	124,37 %	108,68 %	60,92 %
3335	124,86 %	129,92 %	94,44 %
1213	87,20 %	59,46 %	59,48 %
57	109,91 %	88,41 %	83,64 %

Observa-se que houve uma grande variação nas umidades iniciais tanto entre clones quanto entre classes de diâmetro. A umidade inicial média variou de de 55,39 % para toras da classe 3 do clone 3487 para 142,56% para toras da classe 1 do mesmo clone. O clone que apresentou um teor de umidade inicial médio menor foi o 1213, o qual possui a maior densidade básica média, enquanto que os clones que apresentaram os maiores teores médios de umidade inicial fora o 3335 e o 3336, os quais possuem as

menores densidades básicas médias. Segundo Foelkel et al. (1971), citado por Silveira et al. (2013), o teor de umidade inicial é inversamente proporcional à densidade da madeira, ou seja, quanto maior a quantidade de água, menor é a quantidade de outros elementos da madeira e, conseqüentemente, menor será a quantidade de espaços vazios. Zanuncio et al. (2013), avaliando a umidade de toras de espécies do gênero *Eucalyptus*, aos 7 anos de idade, encontraram teores iniciais de umidade, em média, variando de 113,2%, para a base do fuste, a 110,0% para o topo.

O modelo estatístico que melhor descreveu a redução no teor de umidade (%) ao longo do tempo foi o modelo exponencial $y = \beta_0 * \exp^{(\beta_1 * X)}$, em que:

y = umidade (%);

β_0 = valor de y (umidade) quando o X (dias de secagem) é igual a zero, o que corresponde a umidade inicial da madeira (tora);

β_1 = parâmetro do modelo;

X = número de dias de secagem.

Na Tabela 15 são apresentadas as equações e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) para a estimativa da umidade da madeira em tora dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp. para as três classes diamétricas e presença ou ausência de casca em função do tempo de secagem.

Tabela 15 – Equações e coeficientes de correlação (R) para estimativa da umidade (%) das toras dos diferentes clones para as três classes diamétricas e presença ou ausência de casca em função do tempo de secagem

.Clone	Classe Diamétrica	Casca	Equação	R
3487	1	Ausente	$y = 109.30 * \exp(-0.0079 * X)$	0,96
		Presente	$y = 146.54 * \exp(-0.0055 * X)$	0,98
	2	Ausente	$y = 135.14 * \exp(-0.0058 * X)$	0,95
		Presente	$y = 64.93 * \exp(-0.0128 * X)$	0,99
	3	Ausente	$y = 90.42 * \exp(-0.0087 * X)$	0,75
		Presente	$y = 56.09 * \exp(-0.0188 * X)$	0,85
3336	1	Ausente	$y = 117.30 * \exp(-0.0066 * X)$	0,98
		Presente	$y = 126.62 * \exp(-0.0061 * X)$	0,91
	2	Ausente	$y = 80.04 * \exp(-0.0168 * X)$	0,96
		Presente	$y = 85.28 * \exp(-0.0110 * X)$	0,92
	3	Ausente	$y = 104.66 * \exp(-0.0118 * X)$	0,87
		Presente	$y = 122.40 * \exp(-0.0078 * X)$	0,84
GG100	1	Ausente	$y = 122.40 * \exp(-0.0076 * X)$	0,99
		Presente	$y = 125.46 * \exp(-0.0066 * X)$	0,99
	2	Ausente	$y = 110.35 * \exp(-0.0094 * X)$	0,99
		Presente	$y = 58.72 * \exp(-0.0213 * X)$	0,91
	3	Ausente	$y = 108.65 * \exp(-0.0112 * X)$	0,98
		Presente	$y = 56.394 * \exp(-0.0257 * X)$	0,92
3335	1	Ausente	$y = 120.47 * \exp(-0.0072 * X)$	0,98
		Presente	$y = 127.97 * \exp(-0.0059 * X)$	0,99
	2	Ausente	$y = 111.66 * \exp(-0.0155 * X)$	0,89
		Presente	$y = 133.74 * \exp(-0.0077 * X)$	0,97
	3	Ausente	$y = 87.99 * \exp(-0.0183 * X)$	0,65
		Presente	$y = 125.42 * \exp(-0.0122 * X)$	0,98
1213	1	Ausente	$y = 86.53 * \exp(-0.0088 * X)$	0,98
		Presente	$y = 88.99 * \exp(-0.0095 * X)$	0,98
	2	Ausente	$y = 63.28 * \exp(-0.0110 * X)$	0,97
		Presente	$y = 62.315 * \exp(-0.0136 * X)$	0,91
	3	Ausente	$y = 58.28 * \exp(-0.0131 * X)$	0,97
		Presente	$y = 60.17 * \exp(-0.0159 * X)$	0,94
57	1	Ausente	$y = 99.829 * \exp(-0.00835 * X)$	0,98
		Presente	$y = 107.88 * \exp(-0.0081 * X)$	0,97
	2	Ausente	$y = 109.11 * \exp(-0.0100 * X)$	0,99
		Presente	$y = 102.26 * \exp(-0.0093 * X)$	0,87
	3	Ausente	$y = 77.15 * \exp(-0.0178 * X)$	0,93
		Presente	$y = 82.02 * \exp(-0.0160 * X)$	0,93

As equações foram consideradas satisfatórias, visto que seus coeficiente de correlação (R) foram elevados, variando de 65 a 99%, e também foram as equações que melhor explicaram a distribuição dos dados. O modelo exponencial foi o que apresentou melhores valores de R considerando as 36 curvas de secagem. Oliveira (2015) avaliando a secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus urophylla* de diferentes classes de diâmetro encontrou valores de R de 99%, utilizando o modelo de Harris.

5.4.2. Estimativa da perda de umidade em função do material genético

Na figura 4 são apresentados os valores médios de umidade das toras, observados e estimados, durante o período de secagem para as 3 classes diamétricas, com e sem casca, observando o efeito do material genético.

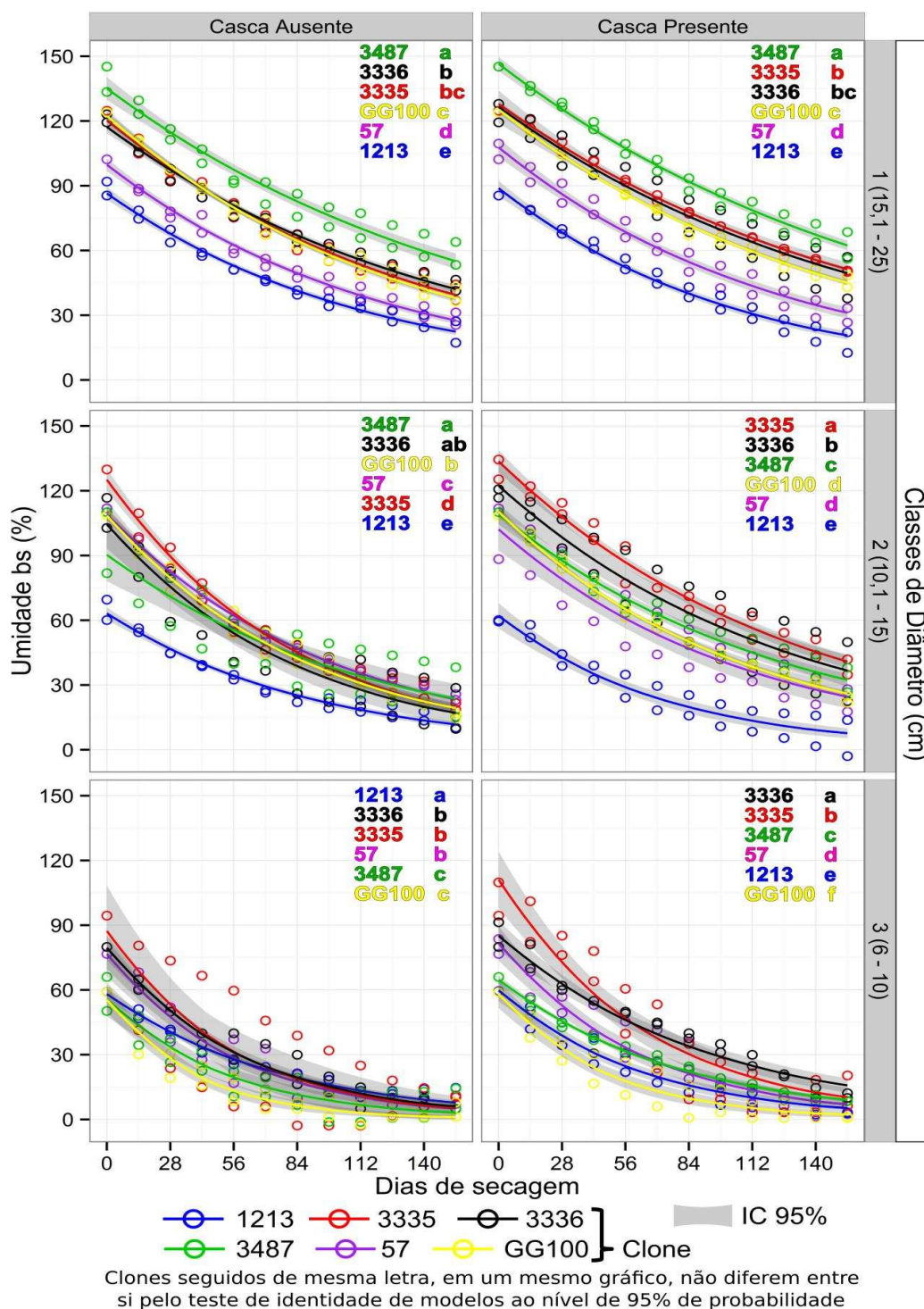


Figura 4 – Valores médios estimados, da umidade da madeira de *Eucalyptus* spp., nas 3 classes diamétricas, com e sem casca em função do tempo de secagem, observando o efeito do clone.

De acordo com a Figura 4, observa-se que, de modo geral, o teor de umidade inicial das toras influenciou diretamente o teor de umidade final, após os 154 dias de secagem, ou seja, as toras de madeira que apresentaram os maiores teores de umidade inicial também apresentaram os maiores teores de umidade no 154º dia de secagem, evidenciando assim o efeito do máximo teor de umidade da madeira no tempo de secagem que relaciona-se diretamente com os caracteres anatomicos da madeira.

De modo geral, observa-se que a diferença na velocidade de secagem entre os clones é mais significativa quando se avaliou as toras com casca, ou seja, quando se retirou a casca da madeira as curvas de secagem dos diferentes clones avaliados se mostraram mais próximas uma das outras e quando se observa as curvas de secagem dos clones com madeira sem casca, nota-se que as mesmas estão mais distantes entre si, o que indica que a diferença entre elas é altamente significativa, segundo o teste de identidade de modelos. Isso evidencia um efeito direto da espessura da casca, bem como da sua composição química e anômica. As curvas de secagem dos clones 1213 e 57, com e sem casca (Figura 6), mostram que a retirada da casca contribuiu pouco para a velocidade de secagem destes materiais genéticos. Observa-se, também, que o efeito do diâmetro dentro de cada classe de diâmetro na secagem das toras entre clones, é mais significativo para as classes de maior diâmetro, ou seja, a diferença de diâmetro entre as toras dos clones é mais acentuada nas classes diamétricas maiores. À medida que se aproxima do topo das árvores (classe 3), as toras dos clones tendem a apresentar diâmetros semelhantes.

Avaliando os primeiros 28 dias de secagem, observa-se que os clones que apresentaram as maiores taxas de secagem (% de umidade/dia) foram os clones 3335, GG100, 57 e 3336 obtendo-se taxas de secagem média de 1.04, 0.94 e 0.93 e 0.92 %/dia, respectivamente. Do 28º ao 70º dia de secagem, a taxa de secagem dos clones diminuíram consideravelmente, reduzindo, em média, 22%. A maior perda de umidade (água) no início da secagem deve-se ao elevado teor de umidade inicial da madeira em relação ao ambiente que, com a circulação do ar, permite uma rápida remoção e contínua da água que chega à superfície por meio do processo de capilaridade. O clone 1213 apresentou as menores taxas de secagem entre os clones tanto na presença quanto na ausência da casca. Porém, vale ressaltar que este clone possui a menor umidade inicial, logo, ele possui menos umidade a perder comparando aos demais, conforme citado anteriormente.

Nota-se que, para a classe 1, apenas os clones 57 e 1213 atingiram a umidade de saturação das fibras (USF), considerando que, em média, esse valor fica em torno de

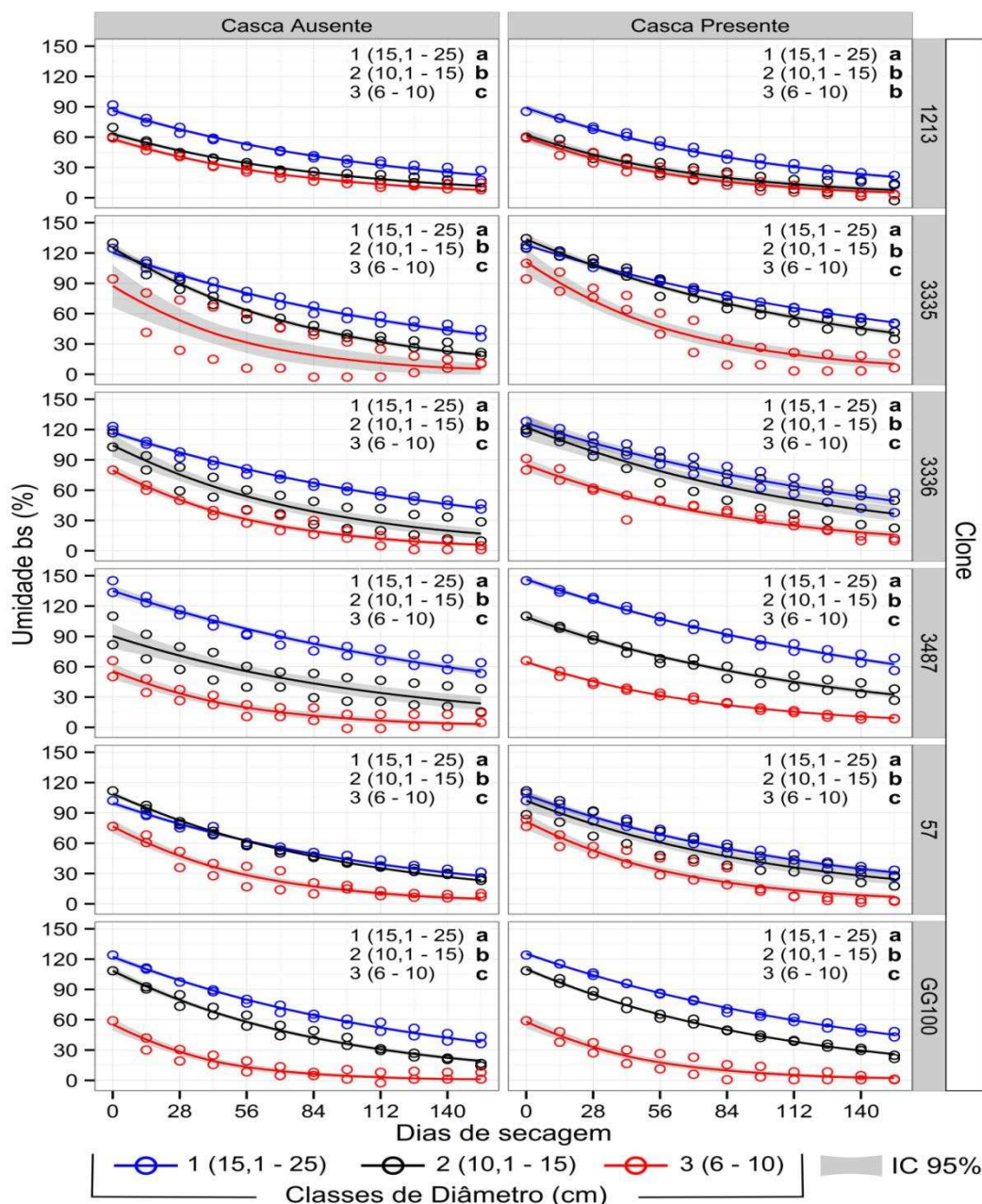
30% de umidade, ocorrendo em torno dos 112 dias para o clone 1213 tanto com casca quanto sem casca, mostrando que, nesta classe de diâmetro para este clone, a retirada da casca não influencia, significativamente pelo teste de identidade de modelos (Figura 6), na secagem das toras. Já para o clone 57, a USF foi atingida aos 140 e 154 dias, para as toras da classe 1, sem e com casca, respectivamente.

Para a classe de diâmetro 2, sem casca, observa-se que todas as toras de madeira, independente do clone, atingiram a USF. Observa-se também que o clone 1213 atingiu esse teor de umidade em torno do 70º dia de secagem, enquanto que para os demais clones, esse teor de umidade foi alcançado somente a partir do 98º dia de secagem. Para a mesma classe, com casca, apenas os clones 1213, 57 e GG100 atingiram a USF, sendo que, novamente, ocorreu primeiro para o clone 1213, em torno do 60º dia de secagem. Observando a classe de menor diâmetro (classe 3), nota-se que todas as toras de todos os clones, com e sem casca, atingiram a USF mais rapidamente que nas demais classes.

O clone que apresentou a curva de secagem com as menores umidades, de acordo com o teste de identidade de modelos, nas classes de maiores diâmetros (1 e 2), tanto com e casca quanto sem casca, foi o 1213, seguido do clone 57 e do GG100. Estes dois primeiros também apresentaram os menores teores de umidade inicial, além de serem os dois materiais genéticos que apresentaram os dois menores IMA's e, conseqüentemente, apresentaram os menores diâmetros das toras dentro de cada classe, principalmente para as duas de maiores diâmetros (1 e 2). Isso, provavelmente favoreceu para que estes dois clones (1213 e 57) apresentassem menores teores de umidade ao longo do tempo. Já o clone GG100, também se mostrou um clone que perde umidade mais rapidamente em relação aos demais. Isso provavelmente ocorreu por conta de sua maior permeabilidade média nas classes 1 e 2 em relação aos demais, a qual é dependente da relação cerne/alburno em cada classe, ou seja, a permeabilidade média das toras em cada classe de diâmetro depende das permeabilidades do cerne e alburno, mas também da percentagem destes para que, através da média ponderada, possa se determinar a permeabilidade das toras por classe. Logo, o clone GG100 foi mais permeável por conta, também, de sua baixa relação cerne/alburno comparado aos demais e, conseqüentemente, favoreceu a secagem.

5.4.3. Estimativa da perda de umidade em função da classe de diâmetro

Na figura 5 são apresentados os valores médios de umidade das toras, observados e estimados, durante o período de secagem para os 6 clones, com e sem casca, observando o efeito da classe diamétrica.



Classes de diâmetro seguidas de mesma letra, em um mesmo gráfico, não diferem entre si pelo teste de identidade de modelos ao nível de 95% de probabilidade.

Figura 5 – Valores médios estimados, da umidade da madeira dos 6 clones de *Eucalyptus* sp., com e sem casca em função do tempo de secagem, observando o efeito da classe diamétrica.

De acordo com a Figura 5, observa-se que houve diferenças significativas entre as curvas de secagem, de acordo com o teste de identidade de modelos, entre todas as classes, independente do clone e presença e ausência de casca, exceto o clone 1213 com casca, o qual apresentou curvas de secagem significativamente iguais para as classes de diâmetro 2 e 3, de acordo com o teste de identidade de modelos, indicando que apenas um modelo pode ser ajustado para representar as duas classes de diâmetro. Indica, também, que as toras de diâmetros variando de 6 a 15 cm para o clone 1213, com casca, têm o mesmo comportamento de secagem. Logo, não é necessária a separação destas toras neste intervalo de diâmetro para este clone.

É importante ressaltar que cada clone possui um IMA (Incremento Médio Anual em $m^3/ha.ano$) diferente, o que influenciou diretamente no diâmetro das toras. Logo, clones de menores IMA's (menor produtividade) apresentam diâmetros médios próximos ao limite inferior de cada classe e, clones de maiores IMA's os diâmetros médios prevaleceram com valores próximos ao limite superior de cada classe o que, estabeleceu uma considerável diferença de diâmetros entre clones para mesma classe, fato este, mais expressivo na classe 1, a de maior diâmetro.

Observa-se que o efeito da classe de diâmetro foi mais significativo para os clones de maiores IMA's, que são o 3487, 3336 e GG100. Isso ocorreu, provavelmente, devido às maiores amplitudes de diâmetros presentes dentro do mesmo clone, ou seja, quanto maior o IMA dos clones, maior é o diâmetro das toras dentro de cada classe, principalmente para a classe 1. Fato que não foi observado para os clones de menores IMA's, já que nestes materiais genéticos, as toras pertencentes a classes diferentes tendem a apresentar menores diferenças de diâmetros entre si, logo as diferenças entre curvas de secagem de diferentes classes de diâmetros, dentro do mesmo clone, são menos significativas, como pode ser observado na Figura 5 ou na Figura 1A (APÊNDICE A). Segundo Oliveira (2015) o diâmetro da tora influencia diretamente a secagem natural da madeira, por conta da distância a ser percorrida pelas moléculas de água do interior para a superfície da madeira. A secagem da madeira também é influenciada pela sua permeabilidade, segundo Rezende (2009), madeiras com maior proporção de alburno secam mais facilmente, pois este é extremamente mais permeável que o cerne. Como constatado neste trabalho, a madeira de alburno apresentou uma permeabilidade, em média, 64 vezes mais permeável que a madeira de cerne, logo quanto mais próximo do topo da árvore, maior será a velocidade de secagem, já que a relação cerne/alburno diminui no sentido base-topo.

5.4.4. Estimativa da perda de umidade em função da presença e ausência de casca

Na figura 6 são apresentados os valores médios de umidade das toras, observados e estimados, durante o período de secagem para os 6 clones, nas 3 classes diamétricas, observando o efeito da ausência e presença da casca.

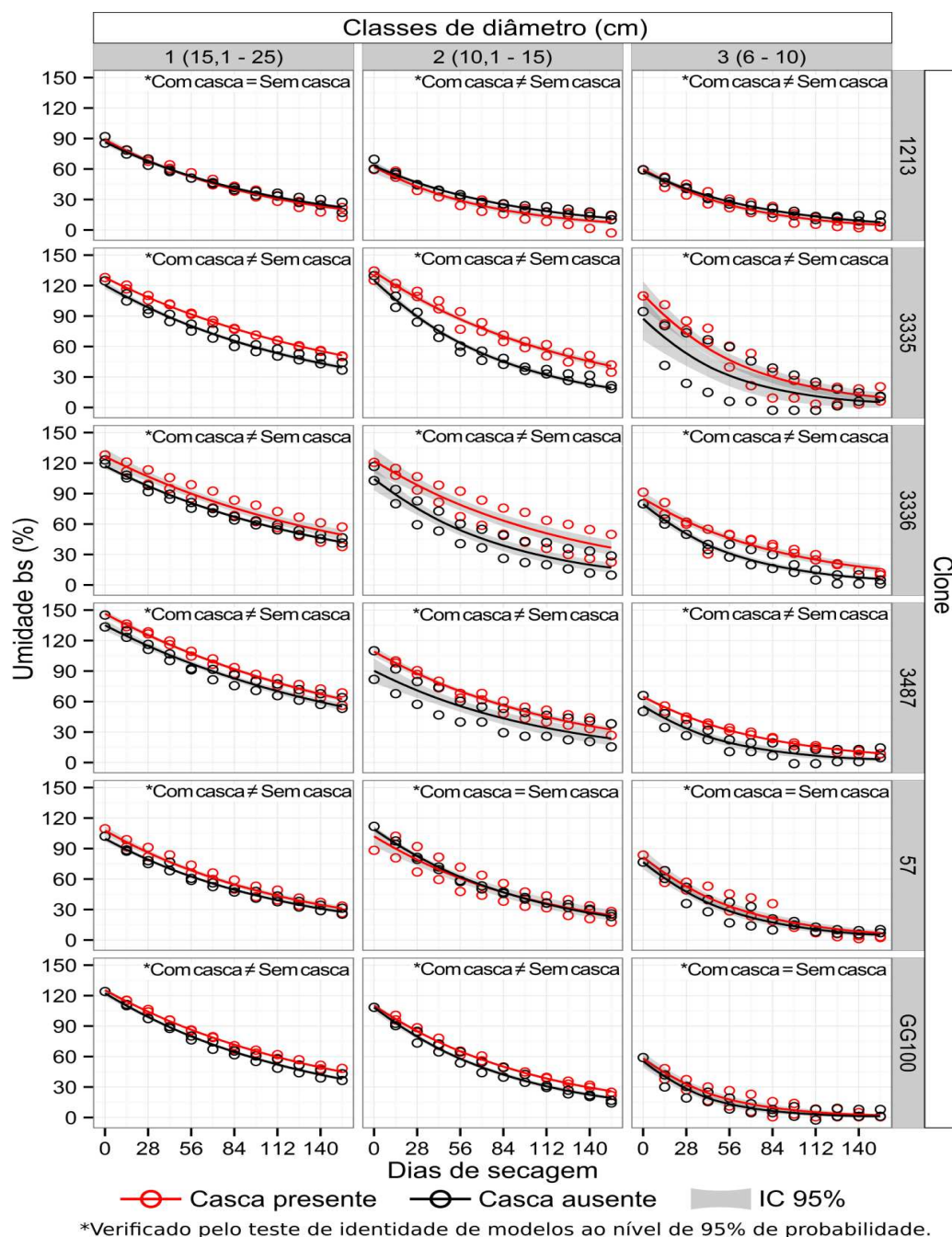


Figura 6 – Valores médios estimados, da umidade da madeira dos 6 clones de *Eucalyptus* sp., nas 3 classes diamétricas em função do tempo de secagem, observando o efeito da ausência e presença de casca.

De acordo com a Figura 6, observa-se que o efeito da casca foi significativo, pelo teste de identidade de modelos, para todos os clones, de todas as classes de

diâmetro, com exceção do clones 1213 na classe diamétrica 1, e os clones 57 e GG100, ambos na classe diamétrica 3. Isso indica que, com exceção destes 3 tratamentos, a retirada da casca favorece a perda de umidade para todos os tratamentos. Toras com cascas perdem água em maior tempo devido ao impedimento físico causado por ela, conforme mencionado por Oliveira (2015), que também afirmam que a casca é mais impermeável que madeira, por conter muita suberina, desfavorecendo o processo de secagem da madeira.

Para o clone 1213, apesar do teste de identidade de modelos indicar que apenas para a classe diamétrica 1, as curvas de secagem foram significativamente iguais, nota-se que para as demais classes (2 e 3), há uma pequena diferença entre as curvas. Analisando-se a Figura 1A (APÊNDICE A), observa-se que ao nível de probabilidade de 99%, essas curvas são, significativamente iguais. Isso mostra que este clone é o que menos sofre influência da casca quanto à velocidade de secagem da madeira. O mesmo ocorre para o clone 57, o qual apresentou, segundo o teste de identidade de modelos, curvas de secagem, para a classe diamétrica 3, significativamente iguais, as curvas de secagem das demais classes, com e sem casca, também apresentam diferenças muito pequenas, logo o efeito da casca para este clone também não foi tão significativo como para os demais.

Avaliando o efeito casca na velocidade de secagem, nota-se que o clone 3335, sem casca, apresentou a maior taxa de secagem (1,39%/dia) nos primeiros 28 dias, porém quando se observa os clones com casca, o GG100 foi o que apresentou a maior taxa de secagem até os 28 dias de acompanhamento (0,81%/dia). Porém, vale ressaltar que o clone 3335 apresentou um elevado teor de umidade inicial, conseqüentemente, maior percentagem de água livre em relação aos demais, logo a sua taxa de secagem nos primeiros dias foi maior. Porém, essa alta taxa de secagem para o clone 3335 nas 4 primeiras semana só ocorreu quando se retirou a casca. Isso indica que a retirada da casca favoreceu mais significativamente o clone 3335 em relação aos demais, como pode ser observado pelo teste de identidade de modelos (Figura 6).

6. CONCLUSÕES

Não houve diferenças significativas entre as permeabilidades gasosas da madeira entre os clones. Porém, houve uma grande variação desta propriedade dentro da mesma árvore, principalmente entre madeiras do cerne e madeiras do alburno e, também, entre classes de diâmetro. O clone mais permeável, no geral, foi o GG100, principalmente nas classes de diâmetro 1 e 2.

A permeabilidade da madeira afetou diretamente a secagem. Clones mais permeáveis secaram mais rapidamente que clones menos permeáveis quando em diâmetros semelhantes, principalmente quando a relação cerne/alburno se apresentou mais baixa.

A ausência da casca favoreceu a secagem, porém, com menos intensidade nos clone 1213 e 57, os quais a ausência desta, pouco favoreceu a velocidade de secagem. Toras de madeira sem casca perderam umidade mais rapidamente que toras com casca no início da secagem, com uma tendência a se equilibrarem no decorrer do tempo.

Toras de menores diâmetros secaram mais rapidamente do que toras de maiores diâmetros para todos os clones em estudo.

No geral, clones com maiores IMA's apresentaram uma menor velocidade de secagem em relação aos de menores IMA's por conta de seus maiores diâmetros. Porém o clone GG100, que possui um IMA elevado, apresentou uma maior velocidade de secagem em relação ao clone 3335, de IMA inferior, provavelmente por conta de sua maior permeabilidade da madeira.

Os clones que apresentaram menores teores de umidade ao longo do período de avaliação foram os clones 1213, 57 e GG100.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Métodos padrão de avaliar propriedades de fibra baseada pela madeira e materiais de partículas**. Philladelphia: 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. 2013. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012**. Brasília, 2013. 130p.

ASSOCIAÇÃO LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS – ALMG. 2014. Disponível em http://www.almg.gov.br/consulte/info_sobre_minas/index.html?aba=js_tabMunicipios&sltMuni=700. Acesso em 17 de jan. 2014.

BARAÚNA, E. E. P. **Permeabilidade das madeiras de Amapá** (*Brosimum parinarioides* Ducke) e **Faveira** (*Parkia gigantocarpa* Ducke). 2010. 69 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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, RS, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1985. 705 p.

BERBEROVIC, A.; MILOTA, M. R. **Impact of wood variability on the drying rate at different moisture content levels**. *Forest Products Journal*, Madison, v. 61, n. 6, p. 435 - 442, 2011.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. Melbourne. **Forest Products Laboratory**, CSIRO, n. 66, p. 1-28. 1972.

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

EVANGELISTA, W. V. SILVA, J. C. VALLE, M. L. A.; XAVIER, B. A. **Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake**. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, 2010.

FOELKEL, C.E.B. BARRICHELO, L.E.G. MILANEZ, A.F. **Estudo comparativo das madeiras de *E. saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para produção de celulose sulfato**. IPEF, Piracicaba, n.10, p.17-37, 1975.

- GALVÃO, A. P. M. JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1988. 111 p.
- GARBE, E. A. **Gradiente de umidade e tensões na madeira: relação água- madeira**. Curitiba: UFPR, 2008. 15 p.
- GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V. LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: J. Wiley, 1971. p. 241-266.
- GOMIDE, J. L. DEMUNER, B. J. **Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.
- HART, C. A. **The drying of wood**. Raleigh: North Carolina Agriculture Extension Service, 1966. 24 p.
- IBÁ, **Indústria Brasileira de Árvores**, 2015. 27p.
- JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 13 p.
- KLITZKE, R. J. **Secagem da madeira**. Ed. Curitiba: UFPR, 2003. 98 p.
- KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p.
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood sciences and technology**. Berlin, SpringerVerlag, 1968.v.1.
- LEPAGE, E. S. et al. **Manual de preservação de madeiras**. 2. ed. São Paulo: IPT,. 708 p. 1986.
- LIMA, I.L.; GARCIA, R.; LONGUI, E.L.; FLORSHEIM, S.M.B. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 061-068, mar. 2011.
- OLIVEIRA, A. C. **Secagem de toras de eucalipto**. 2015. 80p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.
- OLIVEIRA, J. T .S. SILVA, J. C. **Radial variation of the retratibilidade and basic density of the wood of Eucalyptus saligna Sm. Revista Árvore**, Viçosa, v 27, n. 3, p. 381-385, 2003.
- PANSHIN, A.J.; De ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: Mc-Graw Hill, 4.ed, 722p. 1980.
- PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 113 p. (Documentos, 38).

PEREIRA, B. L. C. **Qualidade da madeira de eucalyptus para a produção de carvão vegetal**. 2012. 93p. Dissertação (Mestrado em ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

PINHEIRO, M. A. **Influência das dimensões da madeira na secagem e nas propriedades do carvão vegetal**. 2013. 32 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

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

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. **Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. dados no delineamento inteiramente casualizado**. Revista de Matemática e Estatística, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 33-45, 2004.

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

REZENDE, R. N. LIMA, J. T. PAULA, L. E. R. P. FARIA, A. L. R. Secagem ao ar livre de toras de Eucalyptus grandis em Lavras, MG. **Cerne**, v.16, s/n, p. 41-47, 2010.

REZENDE, R. N. **Fluxo de ar e água na madeira de Eucalyptus grandis e de Eucalyptus dunnii**. Tese (Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira) apresentada à Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2014.

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

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. **Efeito da temperatura e velocidade do ar sobre a taxa de secagem de madeira de Pinus elliottii Elgelm**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 12, p. 99-106, 2002.

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

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1971. 131 p.

SIAU, J. F. **Transport processes in wood**. New York: Springer Wood Science 1984. 245 p.

SILVA, J. C. **Anatomia da Madeira e suas Implicações Tecnológicas**. Viçosa, MG. 2008.

SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; DEINER, J.; CALIL JUNIOR, C. **Permeabilidade e Mensuração do eucalipto brasileiro**. Pesquisa de Materiais. Vol 13. P281 – 286. 2010.

SILVEIRA, L. H. C. REZENDE, A. V. VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. *ACTA Amazônica*, Manaus, vol. 43 (2), 2013. p. 179 - 184.

SKAAR, C. J. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1972. 218 p.

STATSOFT, I.N.C. **Statistica data analysis system version 8.0**. Tulsa: Statsoft Inc., 2007.

STEIN, F. R. **Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira**. 2003. 36p. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.

TARMIAN, A.; PERRÉ, P. **Air permeability in longitudinal and radial directions of compression wood of *Picea abies* L. and tension wood of *Fagus sylvatica* L.** *Holzforchung*, Berlim, v. 63, n. 3, p. 352 - 356, 2009.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. *IPEF*, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.

VALE, A. T. ROCHA, L. R. DEL MENEZZI, C. H. S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. *Scientia Forestalis*, v.37, n.84, p.387-394, 2009.

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*, v.9, s/n, p.10-27, 1985.

ZANUNCIO, A. J. V. LIMA, J. T. MONTEIRO, T. C. CARVALHO, A. G. TRUGILHO, P. F. **Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético**. *Scientia Forestalis*, v. 41, n. 99. p. 353 - 360. set de 2013.

APÊNDICE A - Teste de identidade de modelos

Diferença entre os tratamentos pelo teste de identidade de modelos em diferentes níveis de probabilidade.

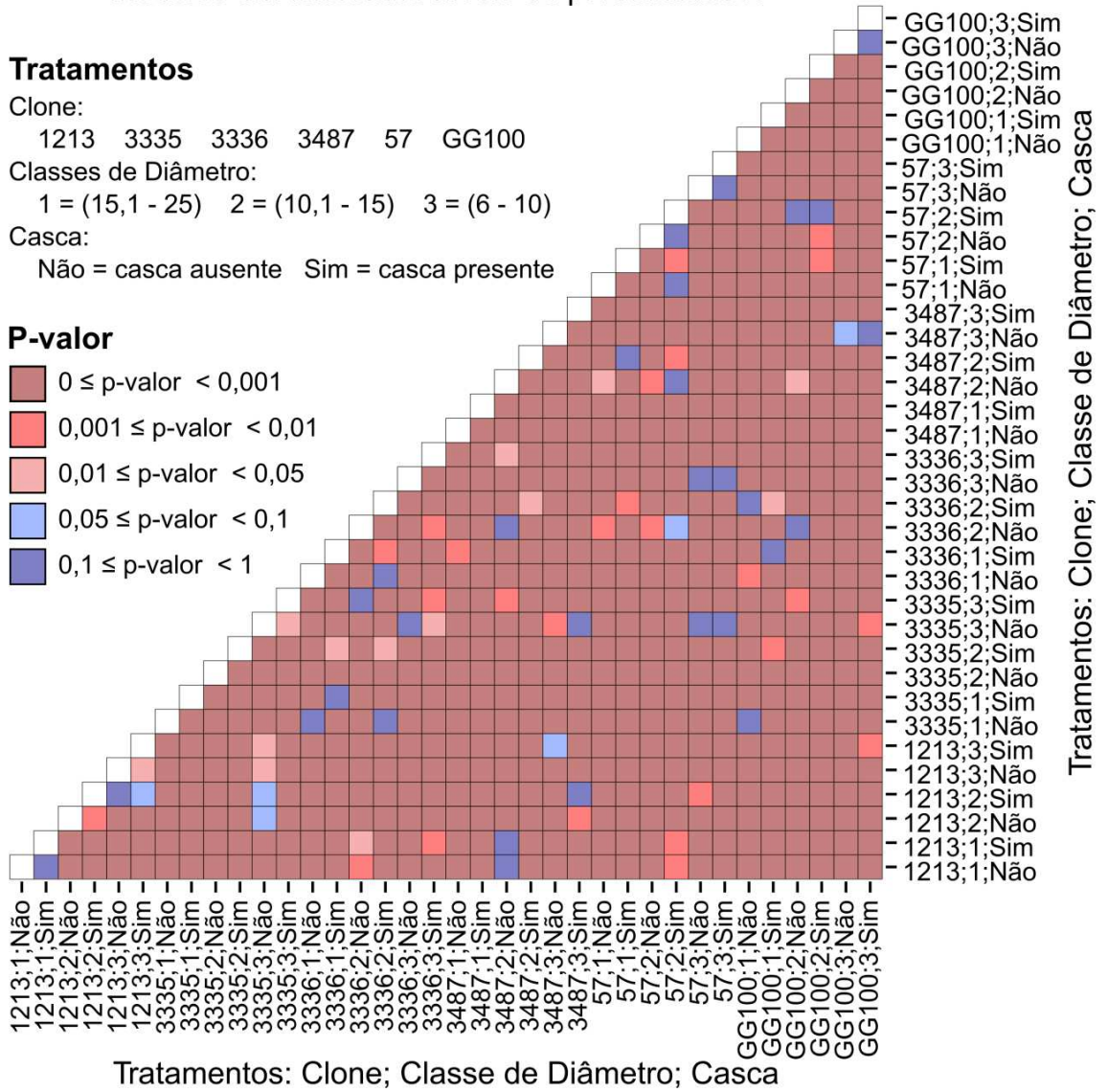


Figura 1A - Teste de identidade de modelos para as 630 combinações possíveis dentro os 36 tratamentos.

APÊNDICE B - Tabela de Correlações

Tabela 1A - Correlações entre as propriedades da madeira e o Incremento Médio Anual (IMA)

	IMA	Relação C/A	Permeabilidade do cerne	Permeabilidade do alburno	Permeabilidade Media	Densidade do cerne	Densidade do alburno	Densidade média
IMA	1.00							
Relação C/A	0.02	1.00						
Permeabilidade do cerne	0.07	-0.23	1.00					
Permeabilidade do alburno	0.20	-0.47	0.42	1.00				
Permeabilidade Media	0.14	-0.74	0.34	0.76	1.00			
Densidade do cerne	-0.08	-0.59	-0.11	0.12	0.21	1.00		
Densidade do alburno	0.02	-0.30	0.07	0.09	0.11	0.72	1.00	
Densidade média	-0.02	-0.59	-0.07	0.15	0.23	0.98	0.82	1.00