



REBECA ALVES BARRETO LIMA

**VARIAÇÃO LONGITUDINAL E RADIAL DA DENSIDADE
BÁSICA DO LENHO DE EUCALIPTO CONSIDERANDO OS
ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO**

**LAVRAS – MG
2018**

REBECA ALVES BARRETO LIMA

**VARIAÇÃO LONGITUDINAL E RADIAL DA DENSIDADE BÁSICA DO LENHO
DE EUCALIPTO CONSIDERANDO OS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Caracterização da Madeira e seus Produtos, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Paulo Fernando Trugilho

Orientador

Prof. José Tarcísio Lima

Coorientador

**LAVRAS – MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Lima, Rebeca Alves Barreto.

Variação longitudinal e radial da densidade básica do lenho de eucalipto considerando os anéis anuais de crescimento / Rebeca Alves Barreto Lima. - 2018.

53 p. : il.

Orientador(a): Paulo Fernando Trugilho.

Coorientador(a): José Tarcísio Lima.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Amostragem. 2. Mapa de variação longitudinal e radial. 3. Modelagem. I. Trugilho, Paulo Fernando. II. Lima, José Tarcísio. III. Título.

REBECA ALVES BARRETO LIMA

**VARIAÇÃO LONGITUDINAL E RADIAL DA DENSIDADE BÁSICA DO LENHO
DE EUCALIPTO CONSIDERANDO OS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Caracterização da Madeira e seus Produtos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 5 de novembro de 2018

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

DCF/UFLA

Dra. Franciane Andrade de Pádua

PPGPUR/UFSCAR

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho

Orientador

**LAVRAS – MG
2018**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), aos docentes e técnico-administrativos do Setor de Ciência e Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), todos por fornecerem subsídios para a execução da pesquisa.

Ao professor Paulo Fernando Trugilho, pela orientação, pela confiança e ajuda durante a execução do trabalho e, principalmente, pelos ensinamentos práticos e objetivos que contribuíram para meu crescimento profissional. Agradeço-lhe também pela paciência e pela preocupação.

Ao professor Natalino Calegário pela oferta do material. Aos técnicos do laboratório, Claret e de usinagem da madeira, Heber, pela ajuda no processamento do material. Ao professor José Reinaldo por plainar os discos e me conceder ajuda sempre que foi preciso. Aos meus amigos do Laboratório de Biomateriais que sempre estiveram por perto quando precisei de ajuda nos trabalhos ou até como ouvidos para um simples desabafo.

Muito obrigada!

RESUMO

O conhecimento das propriedades e características da madeira, bem como suas variações, é importante para poder definir utilizações mais adequadas. A variabilidade das características dentro da estrutura dos anéis anuais de crescimento da árvore ainda é pouco explorada e pode ser determinante na utilização da madeira. Tais anéis são reflexos do crescimento da planta ao longo dos anos e devem ser avaliados para identificar se possuem padrão de variação definido de dada característica no fuste, tanto longitudinalmente quanto radialmente. Os objetivos desse estudo foram ajustar modelo geral do padrão de variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira com base na informação contida no anel anual de crescimento da árvore; determinar qual anel anual de crescimento estima a densidade básica média da árvore e; obter o mapa da variação da densidade básica da madeira dentro do lenho. Para a realização do experimento, foram utilizadas madeiras de dois clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, tendo sido amostradas três árvores por material genético. Os clones são procedentes de povoamento com 10 anos de idade, localizado no município de Luminárias-MG. A amostragem consistiu na retirada de discos ao longo do fuste nas posições longitudinais da base (0,3m), DAP (1,3m) e a cada 2m até 23,3m de altura. Nas posições longitudinais de amostragem foram retirados três discos de 3 cm de espessura, o primeiro para obtenção da densidade básica do disco, o segundo para individualização dos anéis anuais de crescimento e determinação da sua densidade básica (DB) e o terceiro foi deixado como reserva. As árvores foram cubadas e utilizou-se a equação de Smalian para o cálculo do volume individual. A DB do anel anual de crescimento foi determinada pelo método do máximo teor de umidade. O software SURFER 15 foi utilizado para obter o mapa de variação da DB por árvore individual e por clone. Foi utilizada a análise de regressão, modelos lineares simples e múltiplos, para o ajuste de equações que definam o padrão de variação radial e longitudinal da DB, considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento por clone avaliado. Foi utilizada a análise de correlação para identificar as associações entre a DB do anel anual de crescimento com o valor médio de DB por posição longitudinal de amostragem, entre a DB do disco e anéis anuais de crescimento, e entre a DB média da árvore obtida pelos discos e anéis anuais de crescimento. Os resultados mostraram que não foi possível estimar um modelo geral que represente o padrão de variação, tanto radial como longitudinal. Considerando as menores posições longitudinais para facilitar a amostragem, para o clone A a DB do 10º anel anual de crescimento na altura de 1,3m apresentou a mais elevada correlação significativa com a DB média da árvore obtida com os anéis anuais de crescimento, enquanto que para o clone B foi o 9º anel nessa mesma altura (1,3m). A correlação de maior magnitude entre a DB individual do anel anual de crescimento com a DB média da árvore estimada pelos discos foi na posição longitudinal de 1,3m no 8º e 9º anel anual de crescimento, para o clone A, e a 9,3m no 2º anel anual de crescimento, para o clone B.

Palavras-chave: Amostragem. Eucalipto. Mapa de variação longitudinal e radial, Modelagem, Correlação.

ABSTRACT

Knowledge of wood properties and characteristics, as well as its variations, is important to define the most suitable uses. The variability of characteristics within the structure of tree annual growth rings is still little explored and can be determinant in the wood use. Such rings are reflections of plant growth year by year and should be evaluated to identify if they have a defined variation pattern of a given characteristic in the stem, both longitudinally and radially. This study aimed to adjust the general model of radial and longitudinal variation pattern of the wood basic density based on the information contained in the tree annual growth rings; determine which annual growth ring estimates the average basic density of the tree and; to obtain a map of variation of the wood basic density inside the stem. Two hybrids clones of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* were used and three trees were sampled by genetic material. The clones are from 10-year-old settlement, located in the municipality of Luminárias-MG. The sampling consisted in the removal of discs along of tree stem at longitudinal positions of the base (0.3m), DBH (1.3m) and every 2m until 23.3m high. In each longitudinal sampling position, three 3 cm thick discs were removed, the first to obtain the disk basic density, the second to identify the annual growth rings and determine their basic density (BD) and the third was left as a reserve. The trees were cubed and the Smalian equation was used to calculate the individual volume. Annual growth ring BD was determined by maximum moisture content method. The SURFER 15 software was used to obtain the variation map of BD by individual tree and clone. Regression analysis, simple and multiple linear models, was used to adjust equations defining the radial and longitudinal variation pattern of BD, considering the structure of annual growth rings per clone evaluated. Correlation analysis was used to identify associations between the annual growth ring BD with average BD by longitudinal sampling position, between the disc BD and annual growth rings BD and between average BD of the tree obtained by discs and annual growth rings. The results showed that it was not possible to estimate a general model to represents the variation pattern, both radial and longitudinal. Considering the smaller longitudinal positions to facilitate sampling, to the clone A the 10th annual growth ring BD at 1.3m of height presented the highest significant correlation with average BD of the tree obtained with the annual growth rings, while for clone B it was the 9th ring at that same height (1.3m). Greater magnitude correlation between the annual growth ring BD with the average BD of the tree estimated by discs was at the longitudinal position of 1.3m in the 8th and 9th annual growth ring, for clone A, and at 9.3m in the 2nd annual growth ring, for clone B.

Keywords: Sampling. *Eucalyptus*. Longitudinal and radial map. Modeling. Correlation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1. O setor Florestal Brasileiro.....	12
3.1.1. Usos tradicionais da madeira	13
3.2. Crescimento das árvores e formação da madeira.....	13
3.2.1. Anéis anuais de crescimento	15
3.3. Qualidade da madeira	17
3.3.1 Densidade básica.....	17
3.3.2 Variação da densidade na madeira.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1. Características do local de coleta de amostras.....	22
4.2. Características do material de coleta.....	22
4.3. Amostragem no fuste.....	22
4.3.1. Disco 1.....	23
4.3.2. Disco 2.....	23
4.4. Variação e Mapa de Característica Interna.....	26
4.5. Análise de Correlação	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. Volume médio dos clones determinados pelos discos e pelos anéis anuais de crescimento.....	28
5.2. Densidade básica média dos clones determinadas por discos e anéis anuais de crescimento.....	29
5.2.1 Mapas de variação da densidade básica dentro do tronco	32
5.3. Massa média dos clones estimada pelos discos e pelos anéis anuais de crescimento.	34
5.4. Modelos de variação da densidade básica dentro do tronco	37
5.4.1. Modelos de variação longitudinal	37
5.4.2. Modelos de variação radial.....	38
5.5. Correlação das médias de densidade básica dos clones	41
6. CONCLUSÃO.....	46
7. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

O Brasil alcançou nas últimas décadas elevados patamares de produtividade no setor florestal, principalmente pela utilização de técnicas que visam o aprimoramento e a qualidade dos produtos florestais. Esta crescente expansão do setor, exige pesquisas cada vez mais pontuais e atualizadas sobre a qualidade da madeira, visando aperfeiçoar a produção dessa valiosa matéria-prima.

A madeira é um material heterogêneo, considerando-se as características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas. Essa heterogeneidade está relacionada com as variações nos sentidos radial, longitudinal e tangencial que a madeira apresenta e podem causar uma série de transtornos para a indústria de transformação e processamento. Essa variação está relacionada ao genótipo da planta, aos fatores ambientais e da interação do genótipo com o ambiente.

Para definir o melhor uso da madeira, devem-se estudar as suas características, definindo-se assim sua qualidade, que segundo Mitchell (1961) é o “conjunto de características que uma árvore possui, as quais lhe permite cumprir requisitos de propriedade para diferentes produtos finais”.

Das propriedades do lenho, a densidade básica é considerada como uma das mais importantes para definir qualidade do lenho. Segundo Jorge et al. (1998) a densidade resulta da integração das propriedades físico-químicas e características anatômicas do lenho, constituindo-se na principal responsável pelas características de resistência, energia, etc., que condicionam a sua utilização. Da mesma forma, as características anatômicas também constituem índices de qualidade do lenho, além da composição química e das propriedades físico-mecânicas.

Muitos autores avaliam a variação da densidade básica do tronco a partir de amostragens em porções relativas do lenho, tanto longitudinalmente quanto radialmente. A maioria dos resultados desses estudos mostra que não há um padrão de variação definido, pois a densidade básica pode variar de forma decrescente, crescente ou irregular considerando a altura ou o diâmetro da árvore. Por isso, torna-se necessário definir outros métodos de amostragem para encontrar esses padrões de variação dentro do lenho.

Segundo Downes (1997) algumas questões precisam ser abordadas, como: existe um padrão de variação da densidade básica dentro da árvore? Onde retirar uma amostra de uma árvore para obter a melhor estimativa de densidade básica para a árvore inteira? Estudos a

partir de amostragem em porções relativas do lenho ou em amostragem apenas na altura de 1.30m (DAP) não conseguem responder a essas perguntas com precisão.

A variabilidade das características dentro da estrutura dos anéis anuais de crescimento da árvore ainda é pouco explorada e pode ser determinante na utilização da madeira. As árvores impõem reações às variáveis ambientais que afetam seus inúmeros processos fisiológicos, os quais refletem na atividade dos meristemas e conseqüentemente na anatomia do lenho. Os anéis são reflexos do crescimento da planta ao longo dos anos, pois são formados com influência das variações ambientais. Em condições favoráveis ao crescimento, é formado o lenho inicial, que possui elementos anatômicos com parede celular mais delgada e, portanto, menos denso que o lenho tardio, que é formado em condições ambientais mais desfavoráveis e composto por células de parede mais espessa. A junção do lenho inicial com o lenho tardio é chamada de anel anual de crescimento. Os anéis informam eventos ocorridos no passado, como períodos de muita chuva, déficit hídrico, ataque de pragas, incêndios, etc.

Fica expressa na estrutura do anel a formação dos elementos anatômicos devido à atividade cambial que faz a árvore aumentar o diâmetro e a atividade do meristema apical que faz a árvore crescer em altura. Isto é, os anéis integram a formação da árvore em altura e em diâmetro, o que pode definir o padrão de variação, pois os anéis estão dispostos tanto longitudinalmente quanto radialmente.

A densitometria de raios X é amplamente utilizada para detectar a variação radial da densidade aparente da madeira considerando os anéis anuais de crescimento, porém, ela não consegue isolar o efeito dos falsos anéis, ocasionando erro na obtenção do padrão de variação. Apesar da relação direta existente entre a densidade aparente e a básica, é preciso ter cautela, pois outros fatores também estão associados. Sendo assim, a determinação da densidade básica para encontrar o seu padrão de variação considerando os anéis deve ser feita por outros métodos.

Os padrões de variação podem ser obtidos a partir de modelos matemáticos que servem para prever a densidade básica de um anel anual em qualquer ponto do caule. Estes modelos, então, precisam ser integrados em todo o tronco para obter um valor previsto e representativo de toda a árvore (DOWNES, 1997).

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi encontrar o padrão de variação da densidade básica do lenho de eucalipto, utilizando suas variações radiais e longitudinais dentro dos anéis anuais de crescimento.

Os objetivos específicos foram:

- Estimar o modelo geral do padrão de variação radial e longitudinal da densidade básica, com base na informação dos anéis de crescimento da árvore;
- Determinar qual é o anel de crescimento e sua posição longitudinal que se correlaciona significativamente com a densidade básica média dos clones;
- Obter o mapa da variação das propriedades da madeira dentro do lenho.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. O setor Florestal Brasileiro

O território brasileiro possui uma vasta cobertura florestal que está associada às excelentes condições edafoclimáticas para a silvicultura, o que confere ao país grandes vantagens comparativas para a atividade florestal (CARVALHO, 2005).

Com uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB Industrial no país e, também, é um dos segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde (IBÁ, 2017).

Esse setor contribui para o meio ambiente por manter o equilíbrio dos ecossistemas naturais; proteger a biodiversidade e os ecossistemas florestais (conservação da fauna e flora); conservar os recursos hídricos; regularizar os fluxos de água para evitar erosão; regular o clima global; reduzir o nível de desmatamento ilegal e o impacto sobre as florestas nativas através das florestas plantadas. Além disso, é uma fonte de biodiversidade e de contribuição para sua manutenção (ABIMCI, 2007).

Como o setor florestal brasileiro tem grande potencial a ser explorado e como o país apresenta condições físicas e naturais para o desenvolvimento do mesmo, como mão-de-obra abundante, elevada extensão de terras apropriadas, clima e solo favoráveis, tecnologia silvicultural avançada e rápido crescimento das plantações florestais, o investimento na atividade florestal pode contribuir ainda mais para o desenvolvimento socioeconômico do país (SOARES, 2006).

A indústria brasileira de base florestal é mundialmente reconhecida pela alta produtividade de suas áreas plantadas. O setor brasileiro apresenta a maior produtividade, medida em volume de madeira produzida por unidade de área ao ano, e a menor rotação do mundo, que equivale ao tempo decorrido entre o plantio e a colheita das árvores. Esses altos índices resultam tanto das condições de clima e solo, quanto dos investimentos contínuos das empresas do setor no Brasil para aprimorar o manejo florestal. Em 2016, o Brasil liderou o ranking global de produtividade florestal, com uma média de $35,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para os plantios de eucalipto e $30,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ nos plantios de pinus, de acordo com as informações reportadas pelas principais empresas do setor (IBÁ, 2017).

Os investimentos constantes na base florestal e na indústria tem levado o setor a uma posição de destaque no desenvolvimento de uma economia de baixo carbono, permitindo que as árvores plantadas abasteçam diferentes segmentos industriais e ofereçam muito mais do

que celulose, papel, painel de madeira, piso laminado e carvão vegetal. O pioneirismo brasileiro no setor de florestas plantadas e os investimentos constantes em inovação contribuem para promover a diversificação de usos da madeira de forma sustentável (IBÁ, 2017).

3.1.1. Usos tradicionais da madeira

Produtos de origem florestal estão presentes no nosso dia a dia e vão desde os mais evidentes, como papel e móveis, até produtos de beleza, medicamentos, alimentos e roupas. Entre os segmentos que usam a madeira como principal matéria-prima, podemos citar o de celulose e papel, o de painéis de madeira, o de pisos laminados, o de serrados e compensados, o de siderurgia a carvão vegetal e o de energia. Já no setor de bens de consumo, destacam-se as indústrias gráfica, de embalagem, moveleira, química, têxtil e farmacêutica e a construção civil (IBÁ, 2016).

Segundo Zhang (2003) a utilidade da madeira depende das suas utilizações finais. Para aplicações estruturais os clientes consideram importantes na madeira a sua resistência e rigidez, estabilidade dimensional e durabilidade. Para a fabricação de móveis, outras características são importantes, como: usinabilidade, estabilidade dimensional e estética. Esses importantes atributos de qualidade para clientes e fabricantes são determinados, em diferentes graus, pelas características básicas da madeira. Por exemplo, a durabilidade é afetada por extrativos; a estética do material é determinada por propriedades anatômicas e químicas. A estabilidade dimensional, força e rigidez dependem de densidade da madeira.

3.2. Crescimento das árvores e formação da madeira

O câmbio vascular é um meristema secundário, que deriva de outro meristema, o procâmbio, que, por sua vez, deriva do meristema apical. As células do procâmbio diferenciam-se desde a base do tronco até ao ápice dos ramos primários em fase de alongamento. Somente nas porções maduras dos troncos e ramos se dará eventualmente a diferenciação do procâmbio resultando daí o câmbio (PARHAM, 1983). O câmbio tem um papel fundamental no crescimento radial dos troncos, ramos e raízes das gimnospermas e angiospermas (PLOMION et al., 2001).

A zona cambial é constituída por algumas camadas de células estreitas, alongadas, com paredes finas, e inclui dois tipos de células altamente vacuolizadas: iniciais radiais, que dão origem aos raios do lenho, essenciais na translocação de nutrientes entre o floema e o xilema, que formam no seu conjunto o sistema radial; e as iniciais fusiformes, que se dividem

longitudinalmente, produzindo tecidos vasculares secundários pelas divisões periclinais (no plano tangencial) e, que constituem, no seu conjunto, o sistema axial. O tipo de tecido formado será diferente dependendo da posição ocupada pelas células iniciais fusiformes no meristema: no lado externo do meristema são formadas as células do floema e no lado interno são formados os elementos xilemáticos (PLOMION et al., 2001).

Ao longo do período de atividade cambial as divisões das células do câmbio tornam a adição de novas células muito rápida, de tal forma que as células mais antigas têm ainda capacidade meristemática quando as novas células são produzidas pelas iniciais. Como resultado acumulam-se células mais ou menos indiferenciadas, formando uma zona cambial extensa. As células iniciais são extremamente difíceis de distinguir das suas derivativas, uma vez que estas últimas se dividem periclinalmente uma ou mais vezes antes de iniciarem a sua diferenciação, resultando em células de floema ou xilema (ESAU, 1977).

Nas regiões temperadas, a dormência de inverno é seguida da reativação do câmbio vascular na estação favorável ao crescimento. As células do câmbio absorvem água, aumentam radialmente e dividem-se periclinalmente. A iniciação da atividade do câmbio na primavera está claramente relacionada com o recomeço do crescimento das gemas. (LUZ, 2011).

As substâncias que regulam o crescimento atuam em conjunto com outros fatores de crescimento, como disponibilidade de fotoassimilados (especialmente açúcar) e de água, temperatura e fotoperíodo apropriados e ritmo de crescimento endogenamente determinado, característico de cada espécie (ESAU, 1977).

Fenômenos climáticos como: precipitação, temperatura, luz, e fatores edáficos afetam o crescimento das plantas. Sob certas condições, alguns destes fenômenos ou fatores pode prevalecer sobre os outros e influenciar, de forma determinante, os mecanismos que regulam o crescimento. Neste caso, isto constitui um fator de interferência limitante, cujas flutuações estabelecem condições favoráveis ou desfavoráveis para o crescimento das plantas (TRENARD, 1982).

O estudo do crescimento das árvores e a sua relação com os fatores ambientais assume um papel decisivo na gestão florestal. Por meio do conhecimento da relação entre o ambiente e a formação do tecido xilemático ao longo da estação de crescimento, o fomento do crescimento das árvores, ou mesmo o seu direcionamento para um determinado propósito (ex. qualidade da madeira), pelo condicionamento dos fatores ambientais, fica possibilitado. (FONTI et al., 2007).

As variáveis climáticas (ex.: temperatura, precipitação, fotoperíodo, etc.) interferem na atividade do câmbio vascular, promovendo a formação dos anéis anuais de crescimento, que registram eventos ambientais ocorridos durante o período de vida das árvores. A caracterização anatômica do lenho e dos anéis anuais de crescimento é importante para a dendrocronologia tropical, visando a datação das árvores e a determinação de sua taxa de crescimento anual (TOMAZELLO FILHO, 2001).

3.2.1. Anéis anuais de crescimento

Nas regiões temperadas, a atividade cambial é induzida pela temperatura e/ou fotoperíodo. O lenho inicial forma-se no início da estação de crescimento quando a temperatura e o fotoperíodo são favoráveis ao crescimento, que coincide com a primavera e verão. Por outro lado, apresenta menor densidade, que resulta da presença de células com paredes finas e com diâmetro radial grande. O lenho tardio forma-se no fim do verão ou outono, quando a divisão e expansão das células cambiais entram em declínio. É caracterizado por alta densidade, decorrente do pequeno diâmetro radial das células e da grande espessura da parede celular. A alternância entre estes dois tipos de células formados periodicamente em climas temperados, resulta na formação de “anéis de crescimento”, tanto em espécies de folhosas como coníferas. Na maioria das coníferas, os anéis sucessivos distinguem-se pela presença da madeira que se forma no final da estação, que aparenta ser mais escura, devido às características das células (PLOMION et al., 2001).

Analisando os anéis anuais de crescimento pode-se estudar algumas das características que afetam o crescimento das árvores. Segundo Margarido et al. (2005) a variabilidade das camadas dos anéis anuais de crescimento influencia as diferentes características físico-químicas e mecânicas o que em termos de utilização da madeira na indústria poderá implicar em diferentes aplicações do produto final. Assim, é de elevada importância o conhecimento e caracterização da variabilidade dos anéis anuais de crescimento.

Anéis de crescimento são visíveis a olho nu ou por meio do microscópio, devido a diferenças nas propriedades físicas dos elementos do xilema, produzidos durante o crescimento cíclico (BROWN, 1974). Os limites dos anéis de crescimento podem ser marcados por uma ou mais mudanças estruturais das células, como: células das fibras com paredes espessadas e achatadas no sentido radial; diferenças de diâmetro dos vasos entre o lenho inicial e o lenho tardio; presença de parênquima marginal; elementos de vasos ou traqueídeos vasculares muito estreitos e numerosos, presentes no lenho tardio e ausentes no lenho inicial; e alargamento dos raios (IAWA, 1989).

Os anéis anuais de crescimento são distintos, demarcados por zonas fibrosas concêntricas associadas com finas linhas de parênquima marginal. A faixa de lenho mais escura (lenho tardio) é formada por fibras de parede mais espessa, menor frequência e diâmetro dos vasos; a faixa de lenho mais clara (lenho inicial) formada por fibras de parede mais delgada, maior frequência e diâmetro dos vasos. A estrutura anatômica dos anéis de crescimento, formada em resposta a sazonalidade da atividade cambial e das variações de clima, permite definir a sua anualidade e a determinação da idade e da taxa de crescimento das árvores (CHAGAS, 2005).

Nas angiospermas, com porosidade difusa, os anéis de crescimento nem sempre são de fácil visualização, especialmente aqueles cuja única marca entre camadas sucessivas é o achatamento radial dos últimos elementos formados. No entanto, muitas espécies de poros difusos produzem mais fibras que vasos perto do limite do anel de crescimento, o que facilita sua visualização (BROWN, 1974).

Segundo Tomazello Filho et al. (2001) as árvores mostram reação às variáveis ambientais (temperatura, precipitação, etc.) que afetam seus inúmeros processos fisiológicos (respiração, fluxo de seiva, transpiração, etc.) refletindo na atividade cambial e, conseqüentemente, na anatomia do lenho. Portanto, as variáveis ambientais são registradas nos anéis anuais de crescimento, os quais expressam os eventos ocorridos no passado e no ano corrente.

Dentre essas variáveis ambientais, citam-se a luz, água, temperatura, fertilidade do solo, a composição da atmosfera, as características físicas e químicas do solo, os insetos e outros organismos que afetam a atividade cambial (KOZLOWSKI, 1971). A alteração das variáveis ambientais reflete no crescimento das árvores e na largura dos anéis anuais de crescimento, que podem ser mais largos ou estreitos.

O número de anéis anuais de crescimento em seção próxima ao solo pode ser usado para se determinar a idade da árvore. Os anéis anuais de crescimento podem variar em largura. Ocorrem variações em uma mesma árvore, entre árvores e entre espécies. Algumas espécies podem ser de crescimento rápido, enquanto outras apresentam crescimento mais lento, sob as mesmas condições. A largura dos anéis anuais de crescimento, demarcada por uma zona de fibras de paredes espessadas e uma faixa estreita de células do parênquima, pode variar entre indivíduos, em diferentes alturas da planta, ou entre indivíduos de diferentes idades (MATTOS, 1999). A área do anel também pode ser variável, aumentando até certa idade e, posteriormente, apresentando incrementos menores. A área do anel é um índice melhor para

comparação de crescimento radial que a largura do anel, como foi observada em Lova trichiloides Harms (AKACHUKU, 1984).

As variações de densidade intra e inter-anéis anuais de crescimento e no sentido radial das amostras do lenho são indicativas de sua qualidade (ALVARADO et al., 2010).

3.3. Qualidade da madeira

Para o melhor aproveitamento das florestas plantadas, em especial com o eucalipto, se faz necessário o estudo das propriedades de sua madeira para adequar da melhor maneira possível à matéria-prima ao produto final ao qual se deseja (ARANTES, 2009).

Segundo Barcellos et al. (2005), considerando o uso final da madeira, parte-se do princípio de que a madeira deve possuir qualidades que atendam a adequadas características relacionadas ao seu uso final. O eucalipto, por ser uma madeira de elevada versatilidade e elevada produtividade, atende, na maioria dos casos, à necessidade como matéria-prima e, principalmente, para a produção com fins energéticos para o país.

Muitas tentativas foram feitas para definir a qualidade da madeira (KEITH, 1985), mas a definição proposta por Mitchell (1961) parece ser a mais citada: "A qualidade da madeira é resultante de características físicas e químicas possuídas por uma árvore ou uma parte de uma árvore que permite cumprir os requisitos de propriedade para diferentes produtos finais". Quase todos concordam que a qualidade da madeira deve considerar usos finais específicos, e esta definição enfatiza devidamente a sua importância, mas não considera outros aspectos que são importantes para fabricantes, silvicultores ou clientes (ZHANG, 2003).

3.3.1 Densidade básica

A densidade básica é conceituada como sendo a relação entre a massa de madeira seca e o seu volume verde. Assim, a avaliação da qualidade da madeira com base na sua densidade pode ser útil do ponto de vista tecnológico, sendo até um indicador das propriedades da madeira (MATTOS *et al.*, 2011). De acordo com Vale et al. (2010) a densidade é uma das mais importantes propriedades da madeira e, portanto, a mais estudada, variando de 0,13 g/cm³ a 1,40 g/cm³. A densidade é inversamente relacionada ao volume vazio dos poros e, conseqüentemente, com outras propriedades físicas e mecânicas. Ela é considerada um dos mais importantes índices de qualidade da madeira para os mais diversos usos, seja como matéria-prima industrial ou energética. Essa grande importância está no fato de que a densidade básica, além de ser uma característica de fácil determinação está relacionada com um grande número de outras propriedades da madeira (ROCHA, 1983). Entretanto, densidade

básica não deve ser utilizada como índice de qualidade de forma isolada, pois dependendo do uso, ela pode não ser conclusiva.

Além de sua importância na tecnologia da madeira, nos últimos anos a densidade da madeira recebeu cada vez mais atenção devido à sua importância na estimativa da biomassa florestal e armazenamento de carbono. Estimativas da biomassa da floresta lenhosa e o armazenamento de carbono geralmente se baseiam apenas na área da floresta, volume e área basal da madeira (ZHANG, 2012).

Segundo Beaudoin (1992) existe também uma correlação altamente significativa entre a densidade média ponderada da madeira do caule e a densidade da madeira retirada na altura do peito.

Benjamin e Ballarin (2004), concluíram que quanto mais se amostra, melhor é a precisão da densidade básica em plantios florestais. Os autores sugerem que a precisão desejada e a disponibilidade de tempo e de árvores para efetuar o estudo, entre outros fatores, devem ser consideradas.

3.3.2 Variação da densidade na madeira

Segundo Melo et al. (2015) a densidade da madeira é um dos parâmetros mais influentes em suas propriedades, o que torna o seu conhecimento essencial para qualquer indicação de uso. Entretanto, em razão da sua elevada variabilidade dentro árvore, na sua determinação deve considerar uma amostragem ao longo de todo fuste.

Ainda conforme Melo et al. (2015), este parâmetro é influenciado por diversos fatores, variando significativamente de acordo com os seguintes aspectos: gênero, espécies, indivíduos, espaçamento, idade, origem, taxa de crescimento, e até dentro da mesma árvore. Dentro da mesma árvore, essa variação pode ocorrer tanto na direção axial (base até o topo) e na direção radial (medula até a casca). Tais variações ocorrem devido a existência de uma complexa combinação anatômica, fatores físicos e químicos, que são principalmente influenciados pela idade da árvore, genótipos, condições ambientais e interações.

Diversos estudos com espécies do gênero *Eucalyptus* já foram realizados visando à avaliação da variação da densidade básica nas direções longitudinal e radial do tronco em diferentes idades, sítios e tratamentos silviculturais. No entanto, existem poucas informações no sentido de avaliar as diferenças na densidade básica decorrentes de diferentes métodos de amostragem no tronco, visando estabelecer um procedimento de avaliação da madeira que seja sensível às variações para estimar o valor da propriedade no tronco. Por esse motivo, verifica-se que existe muita contradição na literatura e que não se chegou a um padrão

definido de variação, tanto do sentido longitudinal como radial, para as espécies do gênero (PÁDUA, 2009).

Segundo Henry et al. (2010) as alterações na densidade de madeira estão diretamente associados as variações estruturais nos níveis moleculares, celulares e de tecidos. Essas diferenças estruturais estão fortemente correlacionadas com as propriedades mecânicas da árvore (GARTNER; MEINZER, 2005), a eficiência do transporte de água (PITTERMANN et al., 2006) e a resistência aos agentes patogênicos (ROWE; SPECK, 2005).

Cruz et al. (2003), em estudo sobre variações de propriedades físicas e mecânicas da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, encontraram que tanto as propriedades físicas quanto as mecânicas apresentaram maiores variações na direção da medula para a casca do que da base para o topo das árvores, mostrando a importância do conhecimento das variações radiais nas toras para classificação da madeira serrada e, conseqüentemente, para homogeneização.

Segundo Zobel e Buijtenen (1989) a maior causa das variações em coníferas, talvez seja a presença de madeira juvenil e sua proporção em relação à madeira adulta. Os autores ressaltam ainda que, embora se tenha madeira juvenil tanto em coníferas como nas folhosas, sua ocorrência é menos evidenciada ou importante em folhosas, razão pela qual a maior parte dos artigos publicados enfocam seus estudos em espécies do gênero *Pinus*.

A densidade básica, normalmente, aumenta de forma brusca no período juvenil e aumenta de forma mais lenta até a maturidade, permanecendo mais ou menos constante daí para frente. Pode, ainda, apresentar um padrão de variação uniforme e aumentar ou diminuir durante a vida ou, ainda, diminuir durante o período juvenil e aumentar daí para frente (PANSHIN; ZEEUW, 1982).

De acordo com os estudos de Wilkins (1991) há tendência para diminuição inicial da densidade da madeira da medula para a casca, que foi mais pronunciado a grandes alturas e em árvores com crescimento mais lento.

A densidade geralmente aumenta rapidamente nos primeiros anéis anuais de crescimento, próximos da medula, antes de atingir valores mais estáveis nos anéis externos ou madeira madura. Por esse motivo, a variação intra-anelar na densidade da madeira é normalmente maior do que a variação radial ou longitudinal na árvore (JYSKE et al., 2008). Além disso, a densidade da madeira é sensível ao meio ambiente e a disponibilidade de luz, o estresse hídrico e flutuações intra-anual de temperatura (AUTY et al., 2014).

Essas variações incluem diferenças entre madeira juvenil e madeira madura, cerne e alborno, bem como posição radial, longitudinal e idade. Para determinar essas variações da

densidade da madeira dentro da árvore, é preciso retirar amostras de maneira correta e em locais certos dentro e ao longo do caule (NOGUEIRA et al., 2008).

Em estudo feito por Alzate (2005), os modelos de variação da densidade básica da madeira para o *Eucalyptus grandis* apresentara um decréscimo até 50% da altura comercial, seguido de aumento até o ápice; para o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* ocorreu aumento no sentido base-topo; *Eucalyptus saligna* obteve resultado similar aos apresentados pelo *Eucalyptus grandis* e pelo híbrido. A densidade básica média da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* foi de 0,46 g/cm³; 0,47 g/cm³ e 0,49 g/cm³, respectivamente. Em geral, o híbrido apresentou os maiores valores de densidade básica média em todas as posições no sentido base-topo, exceto na base e DAP, onde o *Eucalyptus saligna* apresentou maiores valores no total das árvores. Estatisticamente foi verificada maior homogeneidade entre os clones de *Eucalyptus saligna* e maior dispersão (heterogeneidade) para os clones de *E. grandis* em relação a densidade básica.

De acordo com Barrichello e Brito (1979), comparando-se anel por anel, a densidade do lenho tardio se mostra de 30 a 100% maior que a densidade do lenho inicial. As menores diferenças ocorrem juntamente na região próxima à medula, quando as árvores estão se desenvolvendo num ritmo de crescimento mais ou menos intenso e praticamente livre de competição. A partir de certa idade, as diferenças se tornam marcantes e bastante influenciáveis por alterações climáticas ou pela adoção de práticas silviculturais, como desbaste ou desrama.

Embora a massa específica constitua-se numa medida que reflete a somatória de inúmeras variáveis pelos anéis de crescimento, segundo Muñis (1993), vários estudos têm demonstrado sua relação direta com o lenho tardio. O efeito do lenho tardio na massa específica deve-se ao fato deste lenho conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume do que o lenho inicial.

Estratégias de amostragem com base no conhecimento sobre essas variações dentro da árvore poderiam ser desenvolvido para diferentes espécies de árvores para facilitar e ter uma determinação mais precisa da densidade da madeira para estimativas da biomassa (WASSENBERG, 2014).

Para encontrar o melhor método de amostragem que estime a densidade básica da árvore inteira, é preciso encontrar um padrão de variação da densidade básica dentro do lenho, e para Downes (1997), os anéis de crescimento, por apresentam em sua estrutura longitudinal e radial um padrão de variação de crescimento, podem ser amostrados para se obter o melhor

ponto de amostragem. Ainda segundo Downes (1997), esses padrões de variação da densidade básica dentro do tronco, podem ser obtidos por meio de modelos matemáticos que servem para prever a densidade básica do anel anual de crescimento em qualquer ponto do caule. Além disso, esses modelos podem ser integrados, utilizando valores de densidade básica radial e longitudinal para se obter um valor previsto para a árvore inteira.

Segundo Dahlen (2018), o desenvolvimento de sistemas de modelos é um passo importante na integração das propriedades da madeira no crescimento da floresta e nos sistemas de produção.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Características do local de coleta de amostras

A coleta do material foi realizada no município de Luminárias, sul de Minas Gerais. A cidade de Luminárias está situada a 1.141 metros de altitude e à latitude 21° 31' 34'' Sul e longitude 44° 52' 53'' Oeste. O clima é classificado como Clima Subtropical úmido (classificação climática de Köppen – Geiger: Cwa). Há muito mais pluviosidade no verão que no inverno. Luminárias tem uma temperatura média de 19,4°C e pluviosidade média anual de 1470 mm.

4.2. Características do material de coleta

As amostras foram coletadas em povoamento florestal com 10 anos de idade (plantio realizado em 2007) em dois clones de híbridos de *Eucalypto urophylla* x *E. grandis*. O espaçamento inicial entre as árvores era de 3x2 m, e houve desbaste no povoamento no quarto ano após o plantio (2011).

4.3. Amostragem no fuste

Seis árvores foram selecionadas segundo os seguintes critérios: sem presença de doenças ou ataque de pragas, tronco retilíneo e tronco sem bifurcação. Dessas seis árvores, três eram do clone A e três do clone B. Essas árvores foram abatidas e com o auxílio de uma trena e uma fita métrica, mediu-se a altura e o DAP das árvores selecionadas. O DAP foi medido com a árvore ainda em pé com a fita métrica e a altura foi medida com ela no chão com a trena.

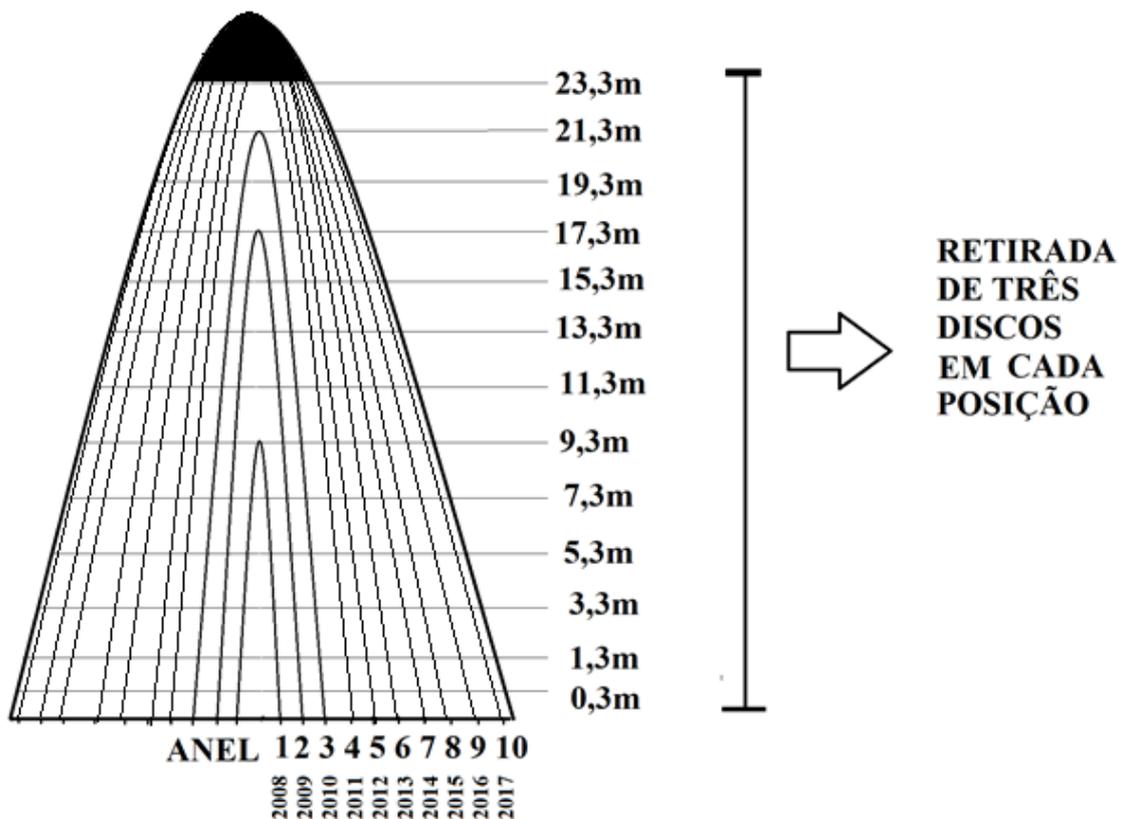
Após o abate, foram retirados três discos, de três centímetros de espessura, em 13 posições longitudinais de amostragem no caule (Disco 1, Disco 2 e Disco 3), totalizando 39 discos por árvore. O Disco 3 serviu como reserva. As posições longitudinais consideradas foram a 0,3 m (base), 1,3 m (DAP) e a partir dessa posição a cada 2 metros até a altura de 23,3 m (Figura 1).

Todas as árvores foram cubadas nas posições longitudinais de amostragem e foi utilizada a equação de Smalian para a determinação do volume individual das árvores selecionadas.

4.3.1. Disco 1

O primeiro disco foi seccionado em quatro cunhas e todas foram utilizadas para determinar a densidade básica pelo método hidrostático conforme a norma NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003). Ainda no disco 1, foi calculado o volume de cada árvore pela equação de Smalian.

Figura 1. Pontos de amostragem no decorrer da altura do fuste.



4.3.2. Disco 2

O segundo disco retirado do fuste, nas 13 posições longitudinais, foi destinado às análises considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento. Inicialmente, os discos foram levados ao laboratório, descascados, congelados em freezer horizontal, permanecendo nesse estágio por dois meses, para manter sua integridade física, sanitária e permitir uma melhor visualização dos anéis anuais de crescimento. Após esse período, os discos foram retirados do freezer, descongelados ao ar livre, aplainados e preparados com lixas de 120, 220 e 320 grãos, segundo método padrão utilizado no Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Lavras.

Após serem lixados, foi feita a identificação dos anéis de crescimento com o auxílio de lupa microscópica, com aumento de 1/100 mm, exemplificado na Figura 2.

Os discos, após a sequência de lixamento, foram numerados e fotografados com uma câmera semiprofissional com o uso de tripé. Este procedimento foi realizado para garantir que as fotos fossem tiradas sempre a mesma distância e se evitar erros nas medições posteriores. Assim, os anéis anuais de crescimento identificados foram medidos em relação a sua largura e área médias utilizando-se Software Sketch Up, conforme mostrado na Figura 3, em seguida, obteve-se o volume de cada anel de acordo com a Equação 1 e a Figura 4.

$$V_a = A_m \times h \quad (1)$$

Em que, V_a é o volume (m^3), A_m é a área média (m^2) e h é a altura do anel anual de crescimento.

Figura 2. Identificação dos anéis de crescimento por meio de uma lupa microscópica.



Figura 3. Medição da área dos anéis de crescimento pelo programa SketchUp.

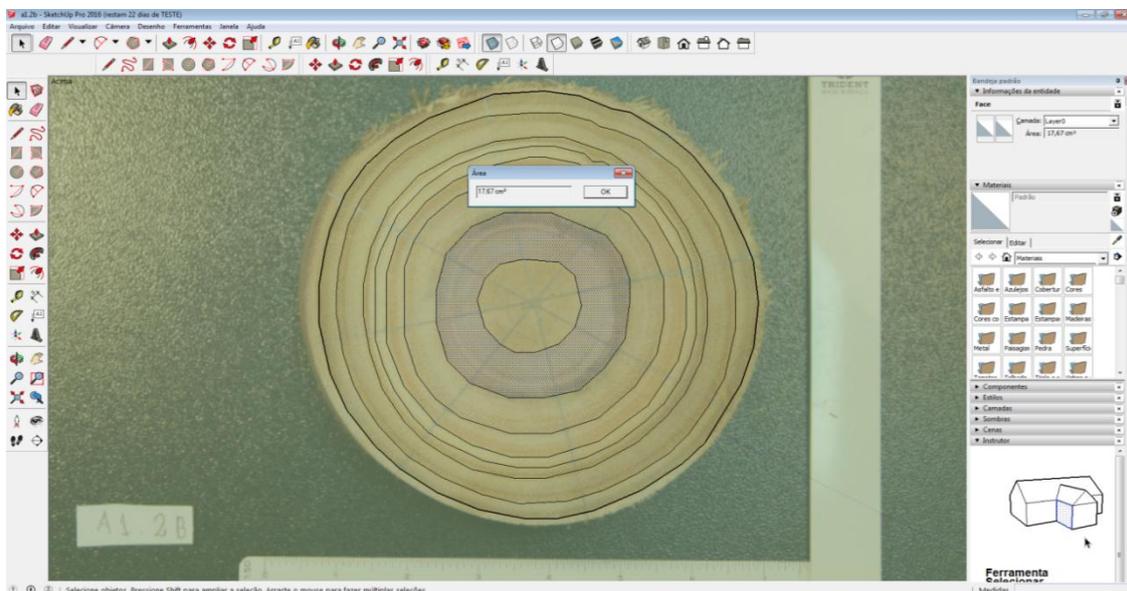
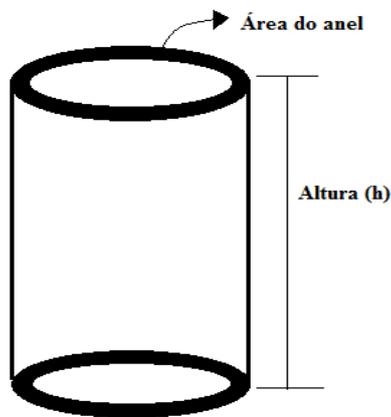
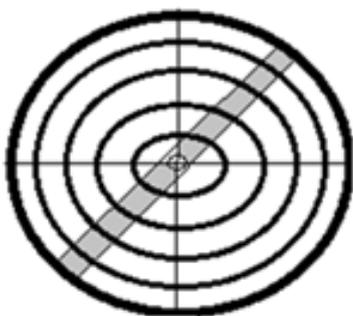


Figura 4. Esquema da medição da área e volume de um anel anual de crescimento



Após as medições de largura e área dos anéis anuais de crescimento por disco, uma bagueta radial foi retirada para facilitar a separação dos anéis, conforme mostra a Figura 5. Com auxílio de um bisturi cirúrgico, os anéis anuais de crescimento foram seccionados, devidamente identificados e saturados em água num recipiente que permite a aplicação de vácuo. Conforme mostra a Figura 5. Após a saturação dos anéis anuais de crescimento individualizados foi obtida a sua densidade utilizando o método do máximo teor de umidade (MTU), conforme a Equação 2. Determinada a densidade básica e volume dos anéis anuais de crescimento foi estimada a massa seca individual dos anéis, conforme a Equação 3. Também foi estimada a massa seca da árvore inteira, somando as massas de todos os anéis; a massa acumulada a cada ano, somando as massas dos anéis consecutivos, e; por último, a participação em porcentagem de cada anel na massa da árvore, conforme a Equação 4.

Figura 5. Ilustração da retirada da bagueta radial nos discos e as amostras dos anéis anuais de crescimento individualizados



$$Db = \frac{1}{\frac{Msaturada}{Mseca} - 0,346} \quad (2)$$

em que, Db é densidade básica do anel anual de crescimento (g cm^{-3}), Msaturada e Mseca são as massas saturada e seca das amostras (g) e 0,346 é uma constante.

$$MSa = Va \times Db \quad (3)$$

Em que, MSa é a massa seca do anel anual de crescimento (kg), Va é o volume que o anel ocupa entre as posições (m^3) e Db é a densidade básica média entre as posições que o anel ocupa (kg m^{-3}).

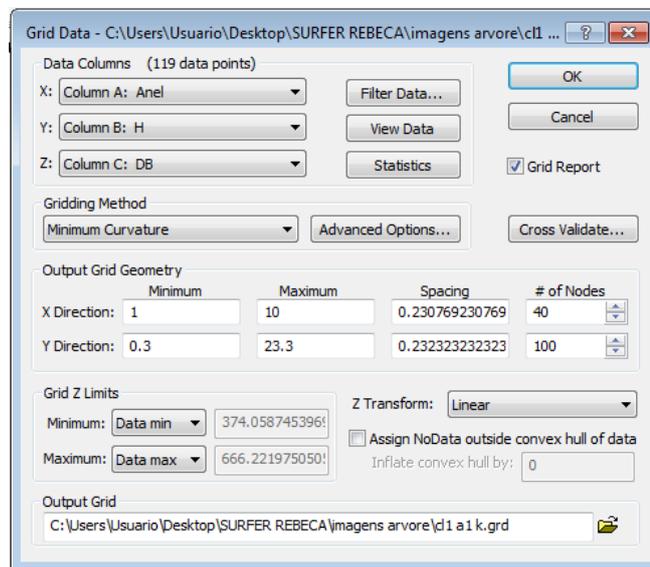
$$\text{Part (\%)} = \frac{MSa}{MStot} \times 100 \quad (4)$$

em que, Part (%) é a participação que a massa do anel ocupa na massa seca total da árvore, em porcentagem; MSa é a massa seca do anel anual de crescimento (kg) e MStot é a soma da massa de todos os anéis (kg).

4.4. Variação e Mapa de Característica Interna

Após a determinação da densidade básica por anel anual de crescimento, foi estabelecido o mapa de variação da densidade básica dos clones A e B utilizando o Software SURFER 15. Esse programa foi utilizado no período de liberação gratuita, que expira em 13 dias após a instalação. Para a inicialização do programa, devem-se seguir os seguintes passos: File -> New -> Worksheet. Assim, os dados de densidade básica por anel de crescimento em cada posição longitudinal foram inseridos no programa. Na primeira coluna foram anexados os valores que estariam no eixo X do mapa, ou seja, os anéis de anuais de crescimento, de 1 a 10, na segunda coluna os valores do eixo Y, as posições longitudinais do tronco, de 0,3m até 23,3m, e na terceira e última coluna (eixo Z) foram inseridos os valores de densidade básica obtida por anel na sua posição longitudinal. Esse arquivo foi salvo no formato DATA (*.dat). Para preparar os dados para posterior obtenção do mapa foi necessário importar o arquivo no formato DATA, seguindo os seguintes passos: Grid -> Grid Data. A Figura 6 mostra como essa função foi programada, utilizando o método de interpolação de Mínima Curvatura. Em seguida, para obter o mapa de variação da densidade básica, considerando os valores longitudinais e radiais, bastou-se selecionar: home -> Countour -> New Countour Map.

Figura 6. Utilização do Software Surfer 15 para obtenção do mapa de variação da densidade básica das árvores



Foram estimados, via análise de regressão, modelos estatísticos lineares simples e múltiplos para a modelagem da variação longitudinal e radial da densidade básica considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento. Foram testados 17 modelos de regressão para as variações longitudinal e radial. A escolha do melhor modelo de regressão foi com base na significância da regressão e dos coeficientes de regressão (Análise de variância), admitido $\alpha = 10\%$, Coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), análise gráfica dos resíduos padronizados e coeficiente de variação do modelo.

4.5. Análise de Correlação

Foi utilizada a análise de correlações de Pearson para determinar a associação entre a densidade básica individual do anel anual de crescimento por posição longitudinal de amostragem com:

- A densidade básica média obtida pelos discos nas posições longitudinais no fuste;
- A densidade básica média obtida pelos anéis anuais de crescimento nas posições longitudinais no fuste;
- A densidade básica média aritmética da árvore obtida considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento;
- A densidade básica média aritmética da árvore determinada a partir dos discos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Volume médio dos clones determinados pelos discos e pelos anéis anuais de crescimento.

Na Tabela 1 encontram-se os valores de volume individual sem casca (m^3) das árvores dos clones avaliados obtidos na cubagem rigorosa utilizando a equação de Smalian, além de suas médias e coeficientes de variação. Observa-se que o clone B apresentou maior volume médio que o clone A, com aproximadamente 13% a mais de volume sem casca. Os coeficientes de variação tanto do clone A quanto do clone B foram baixos. Porém, o Coeficiente de variação do clone A foi 8,13% maior que o do clone B.

Tabela 1. Volume do tronco das árvores do clone A e B até a altura de 23,3 m, obtidos a partir dos discos, seguidos das suas médias e coeficiente de variação.

Clone	Volume sem casca (m^3)				CV (%)
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Média	
A	0,464317	0,522967	0,431094	0,472793	9,86
B	0,547117	0,530174	0,532096	0,536462	1,73

CV = coeficiente de variação.

A Tabela 2 apresenta os valores de volume individuais sem casca (m^3) das árvores dos clones avaliados estimados a partir da soma dos volumes individuais dos anéis anuais de crescimento em suas posições longitudinais. Observa-se que os valores de volume individual sem casca foram similares aos obtidos pela cubagem rigorosa utilizando-se a equação de Smalian.

Tabela 2. Volume do tronco das árvores do clone A e B até a altura de 23,3 m, obtidos a partir dos anéis anuais de crescimento, seguidos das suas médias e coeficiente de variação

Clone	Volume sem casca (m^3)				CV (%)
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Média	
A	0,432991	0,481156	0,389787	0,434780	10,51
B	0,565942	0,595191	0,542342	0,567825	4,67

CV = coeficiente de variação.

O clone B manteve-se com o maior valor de volume em comparação ao clone A, aproximadamente 23 % maior. O coeficiente de variação do clone A foi 5,84% maior que o do clone B, mesmo os dois clones terem apresentado coeficientes de variação baixos. De modo geral, o volume determinado no método de Smalian foi 8,74% maior (clone A) e 5,85% menor (clone B) que o volume estimado utilizando os anéis anuais de crescimento. No

volume da Tabela 1, a árvore 2 do clone A apresentou um volume mais alto que as árvores 1 e 3, o que interferiu na média, já na Tabela 2, a árvore 3 do clone A apresentou volume abaixo das outras árvores, interferindo na média também.

5.2. Densidade básica média dos clones determinadas por discos e anéis anuais de crescimento.

Os resultados observados da variação longitudinal da densidade básica para as três árvores de cada clone estão mostrados na Figura 7, em que A, B e C são referentes ao clone A e as figuras D, E e F são do clone B, enquanto que G e H são as médias para os clones 1 e 2, respectivamente.

Figura 7. Variação longitudinal da densidade básica das árvores do clone A (A, B e C), clone B (D, E e F).

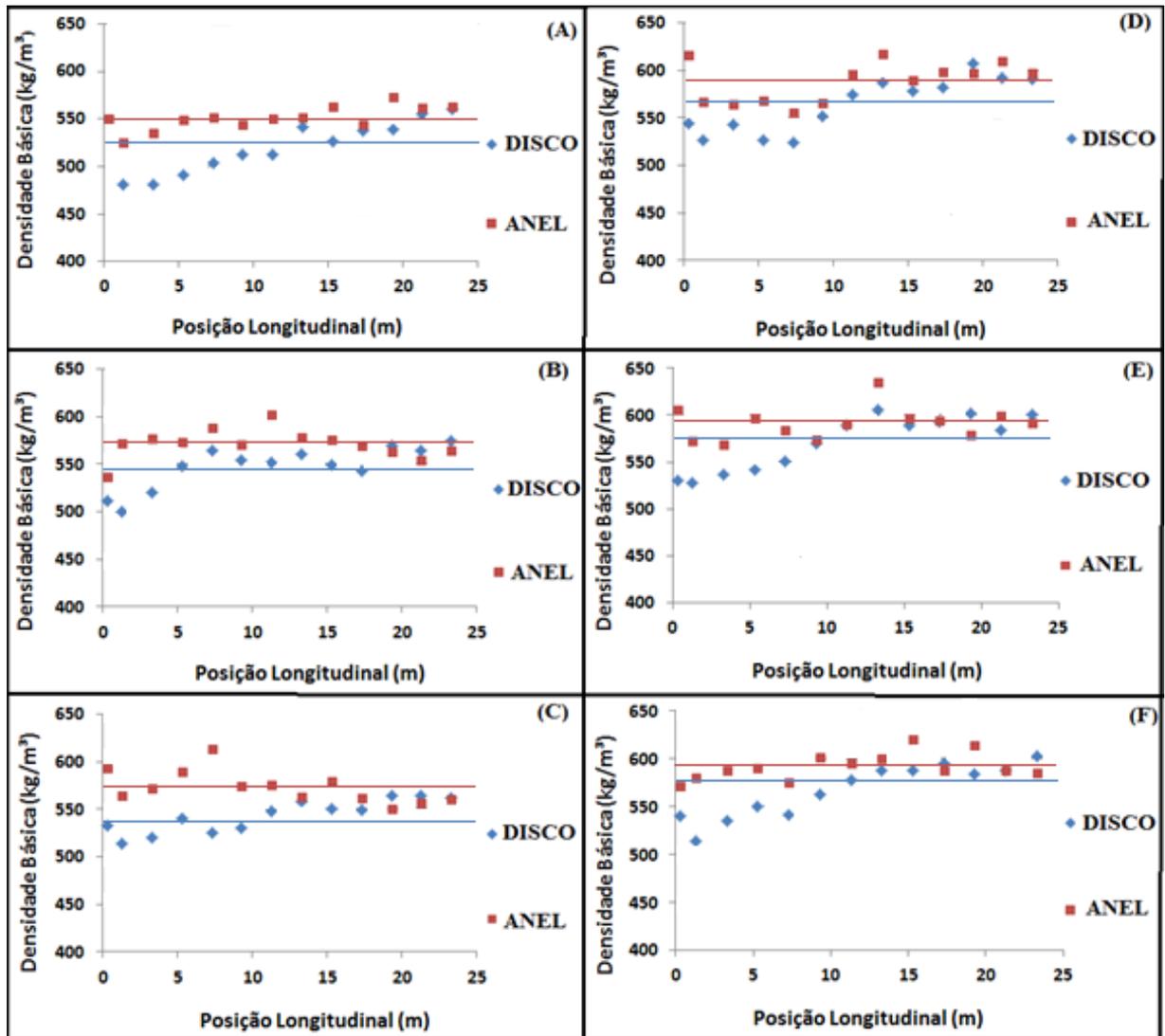
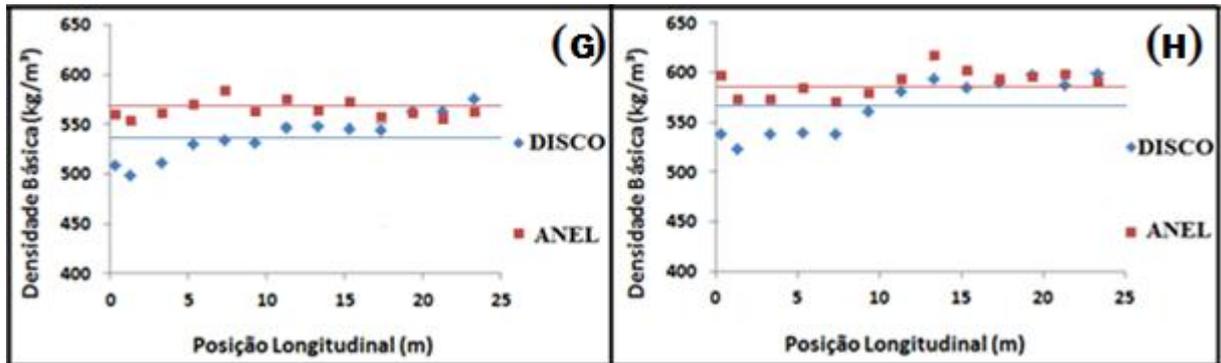


Figura 8. Variação longitudinal da densidade básica das médias do clone A (G) e clone B (H).



Pela Figura 7, pode-se observar que o padrão de variação longitudinal da densidade básica da madeira, determinada por meio dos discos retirados no fuste das árvores, foi de aumentar no sentido da base para o topo, em todas as árvores, com pequeno decréscimo inicial, na altura do DAP (1,30 m de altura). Na média, Figura 8, a posição longitudinal de maior e menor densidade básica ocorreu, respectivamente, a 23,3 m e 1,30 m nos dois clones.

Resultados semelhantes a este trabalho foram observados por Oliveira (2005), analisando árvores de *E. grandis*, a densidade da madeira de $0,50 \text{ g/cm}^3$ na base do tronco decresceu para $0,45 \text{ g/cm}^3$ a um quarto da altura, atingindo $0,55 \text{ g/cm}^3$ no topo. O mesmo perfil longitudinal de densidade básica foi encontrado por Sette Jr. (2012), caracterizados pelo decréscimo da base à porção intermediária, com aumento até o ápice do tronco, para *Eucalyptus grandis* em diferentes idades.

A variação longitudinal da densidade básica da madeira obtida por meio dos anéis anuais de crescimento, aparentemente não apresentou o mesmo padrão definido, entre as árvores do mesmo clone, entretanto, na média (Figura 8), seguiu o mesmo comportamento de variabilidade observada quando se utilizou os discos. Porém, com maiores valores de densidade básica média por posição longitudinal e menor variância. As maiores diferenças ocorreram sempre nas menores posições longitudinais de amostragem e reduzindo a diferença nas maiores alturas, tendendo a se igualar.

Os valores médios de densidade básica obtidos com os discos encontram-se na Tabela 3, para os clones A e B. Observa-se que o clone B apresentou maior valor de densidade básica média. Os coeficientes de variação foram baixos, em que o clone B apresentou o valor mais baixo. Para o clone A, a árvore 2 apresentou o maior valor de densidade básica média, tendo apresentado também o maior volume individual (m^3), enquanto que, no clone B, a árvore 2 foi a de maior valor de densidade básica, porém a de menor volume individual (m^3) (Tabela 1). Observam-se comportamentos distintos entre os dois clones avaliados em relação ao crescimento volumétrico individual e densidade básica da madeira. Na literatura existem

vários trabalhos relatando a influência do crescimento da árvore com a densidade básica da madeira, em que alguns autores informam que a densidade básica tende a aumentar nos materiais genéticos de maior crescimento volumétrico e outras informam o contrário. Por exemplo, no estudo realizado por Souza (2017), avaliando clones de *E. urophylla* x *E. grandis* da mesma idade, observou que as árvores que tinham os maiores volumes (m^3), possuíam maior densidade básica. Porém, quando o mesmo autor comparou a relação de volume e densidade básica de clones de *E. urophylla* da mesma idade, observou que quando a árvore possuía maior volume sua densidade básica era inferior às de menor volume.

Tabela 3. Média geral da densidade básica dos discos das árvores do clone A e B, assim como seu coeficiente de variação.

Clone	Densidade Básica Média (Kg/m^3)				CV (%)
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Média	
A	525	547	543	538	2,18
B	564	571	567	567	0,62

CV = coeficiente de variação.

A Tabela 4 apresenta os valores médios de densidade básica obtidos com os anéis anuais de crescimento dos clones avaliados, além do coeficiente de variação. A média de densidade básica para o clone B foi maior que a do clone A e seu coeficiente de variação foi menor.

Tabela 4. Média geral da densidade básica dos anéis anuais de crescimento das árvores do clone A e B, assim como seu coeficiente de variação.

Clone	Densidade Básica Média (Kg/m^3)				CV (%)
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Média	
A	551	571	573	565	2,15
B	588	591	592	590	0,35

CV = coeficiente de variação.

Todos os valores médios obtidos de densidade básica a partir dos anéis anuais de crescimento foram maiores que os determinados com os discos. Os clones A e B apresentaram os maiores valores médios de densidade básica na árvore 3, que são as árvores com os menores valores de volume individual (Tabela 2). Este resultado indica que a densidade

básica possui relação inversa com o volume individual, ou seja, reduz à medida que a árvore tende a crescer mais.

5.2.1 Mapas de variação da densidade básica dentro do tronco

A Figura 9 mostra os mapas de variação interna da densidade básica considerando a altura no fuste (m) e a estrutura dos anéis anuais de crescimento por árvore dos clones A (árvores A, B e C) e B (árvores D, E e F). É possível observar que os menores valores de densidade básica encontram-se nos primeiros anéis anuais de crescimento, ou seja, os mais próximos à medula, e nas maiores alturas no fuste das árvores, nos dois clones avaliados. Em um mesmo anel anual de crescimento percebem-se variações de magnitude na densidade básica ao longo da altura.

A Figura 10 mostra os mapas de variação interna média da densidade básica considerando a altura no fuste (m) e a estrutura dos anéis anuais de crescimento para os clones A (G) e B (H). Analisando a variação média do clone A, verifica-se que os valores das maiores densidades básicas ocorreram do sexto ao décimo anel anual de crescimento e distribuídos nas posições longitudinais do fuste, porém mais intensamente nas posições mais basais até os 12 metros de altura. Entretanto, no clone B, apesar dos maiores valores de densidade básica terem ocorrido também do sexto ao décimo anel anual de crescimento, é possível observar maior intensidade até alturas superiores a 15m, além de poucos locais com baixos valores de densidade básica, dispersos nos últimos anos. Este fato foi determinante para que o clone 2 possua densidade básica maior que a do clone 1.

Segundo o estudo feito por Downes et al. (1997), a densidade do lenho varia no sentido radial e longitudinal do tronco das árvores de eucalipto. Na direção radial geralmente aumenta a partir da medula até a casca; no sentido longitudinal, os modelos de variação da densidade são diversos e não consistentes, da mesma forma que foi observada neste trabalho.

Gonçalves (2009), utilizando madeira de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, notou tendência linear crescente da densidade básica da madeira em função da altura do fuste da base e a copa. A densidade básica da madeira comportou-se de forma crescente na direção radial, justificada, possivelmente, pela maior idade, assim como observado nos mapas de variação deste trabalho. A influência da idade é um fator importante a considerar, uma vez que contribui para a formação de madeira adulta, permitindo um maior espessamento das paredes celulares, dos vasos e fibras.

Figura 9. Mapas de variação interna da densidade básica (kg/m^3) por árvores dos clones A (árvores A, B e C) e B (árvores D, E e F).

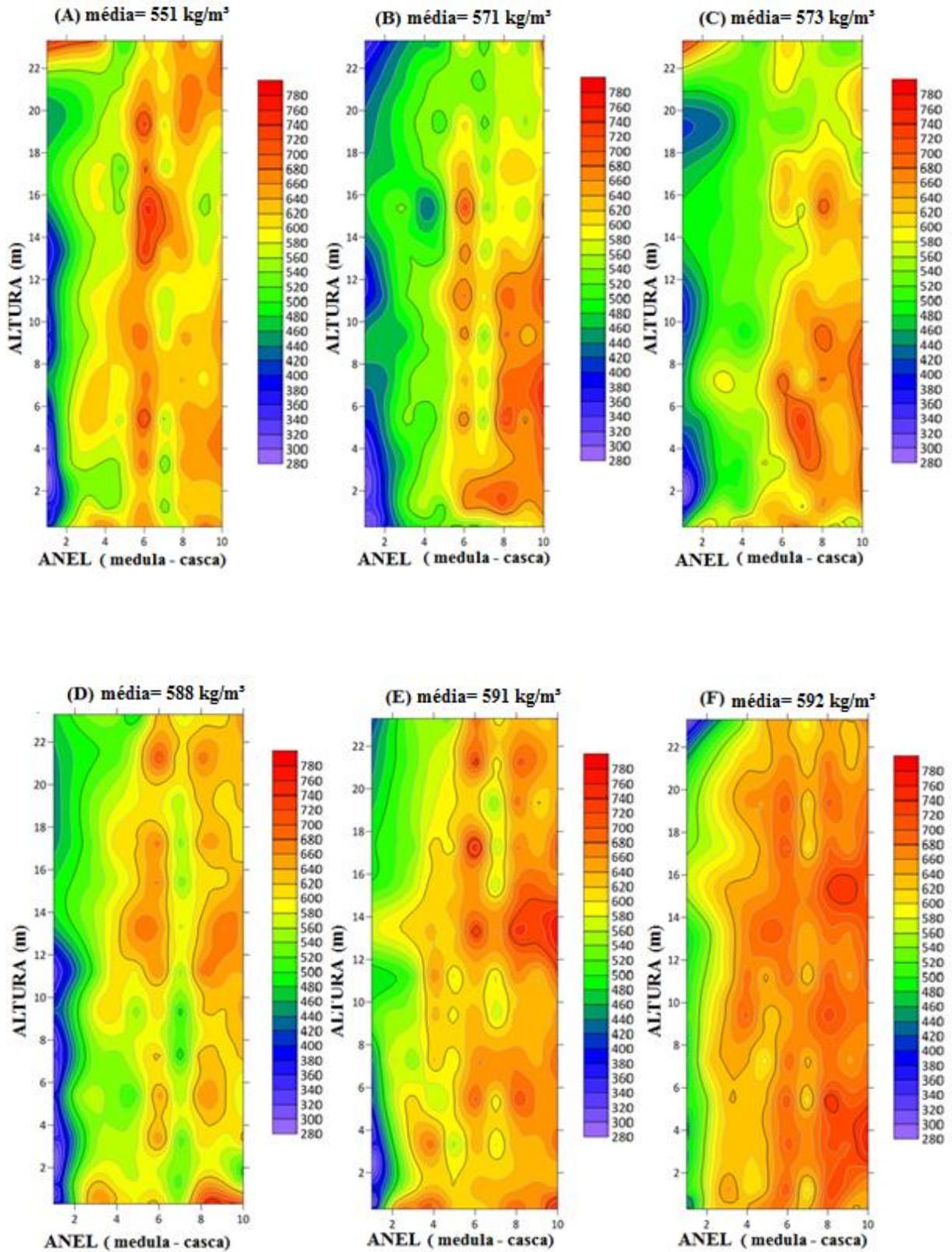
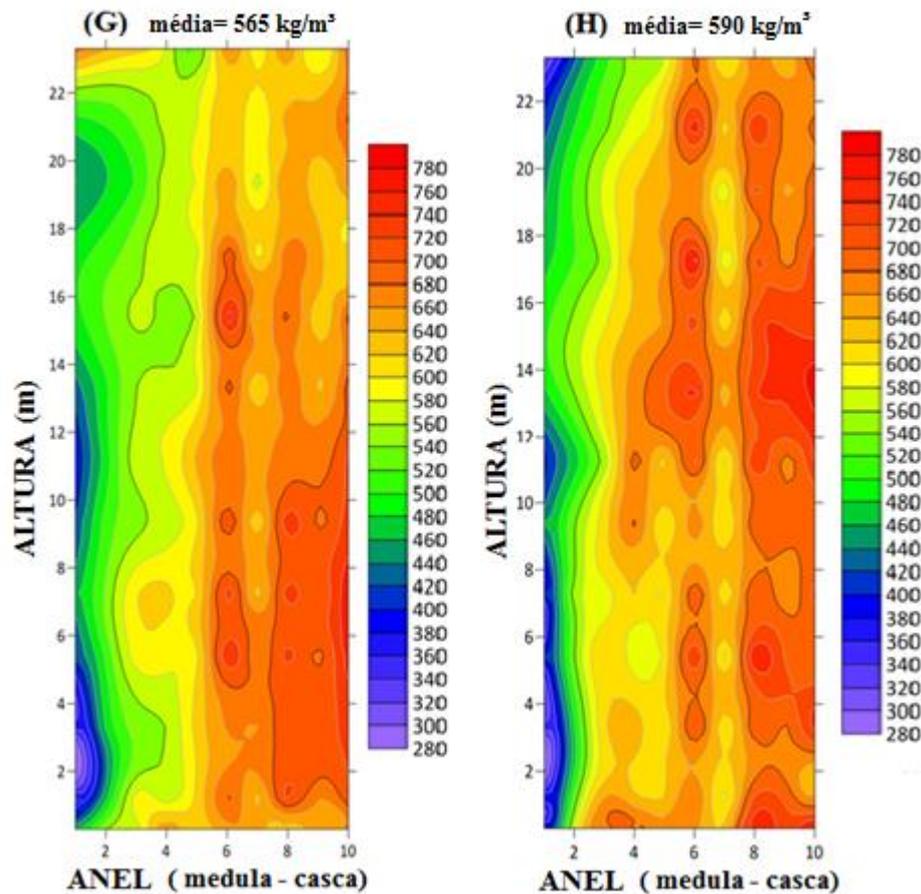


Figura 10. Mapas de variação interna média da densidade básica (kg/m^3) dos clones A (G) e B (H).



Utilizando madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden aos 10 anos de idade, Oliveira (2004) constatou que a densidade básica aumenta da medula para a casca, na posição 0% a densidade básica foi de 320 kg/m^3 , em 33% da posição radial também foi 320 kg/m^3 , já para as posições 66% e 100%, a densidade básica foi de 380 e 400 kg/m^3 , respectivamente. Normalmente, a densidade é menor na região da medula, com tendência de crescimento atingindo valor máximo na região do cerne e decresce na região do alburno (Oliveira et al., 2005). Oliveira (1998), estudando a densidade básica da madeira proveniente de sete espécies de eucalipto, observou que apesar do comportamento geral de aumento na direção medula-casca cada espécie apresentou perfil específico de variação, inclusive com variantes por altura do tronco.

5.3. Massa média dos clones estimada pelos discos e pelos anéis anuais de crescimento.

Segundo Oliveira (2018) a densidade básica tem relação direta com a massa seca de madeira. Por meio da densidade básica e do volume de madeira é possível estimar a massa

seca real em um plantio florestal, assim como é aceitável selecionar espécies de alta produtividade e estimar a produtividade por hectare de um povoamento florestal. Duas árvores de mesmo volume podem apresentar quantidades diferentes de madeira quando ocorrer variação da densidade básica entre elas, pois, nesse caso, a quantidade de massa seca por árvore será função apenas da densidade básica. Esta informação servirá para que a uma empresa possa determinar o seu estoque disponível de madeira e fazer o planejamento de sua utilização.

A Tabela 5 apresenta os valores individuais, médios e coeficiente de variação para a estimativa de massa seca obtida por meio da densidade básica a partir dos discos e volume das árvores pelo método de Smalian dos clones A e B. Pode-se notar que o clone B apresentou a maior estimativa de massa seca média, valor 19,46% superior ao clone A. O coeficiente de variação do clone B foi menor, ou seja, 9,67% inferior ao clone A.

Tabela 5. Estimativa de massa seca de madeira obtida por meio da densidade básica a partir dos discos e volume das árvores pelo método de Smalian dos clones A e B.

Clone	Massa (kg)				CV (%)
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Média	
A	243,77	286,06	234,08	254,64	10,86
B	308,33	302,70	301,54	304,19	1,19

CV = coeficiente de variação.

A Tabela 6 apresenta os valores individuais, médios e coeficiente de variação para a estimativa de massa seca obtida por meio da densidade básica e volume considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento dos clones A e B. Observa-se que o clone B apresentou a maior estimativa de massa seca média, valor 38,85% superior ao clone A. O coeficiente de variação do clone B foi 6,39% maior que o do clone A. Verifica-se ainda que as estimativas de massa seca foram menores no clone 1 (8,79%) e maiores no clone B (6,84%) em relação às duas diferentes formas adotadas nestas estimativas (Tabelas 1 e 2).

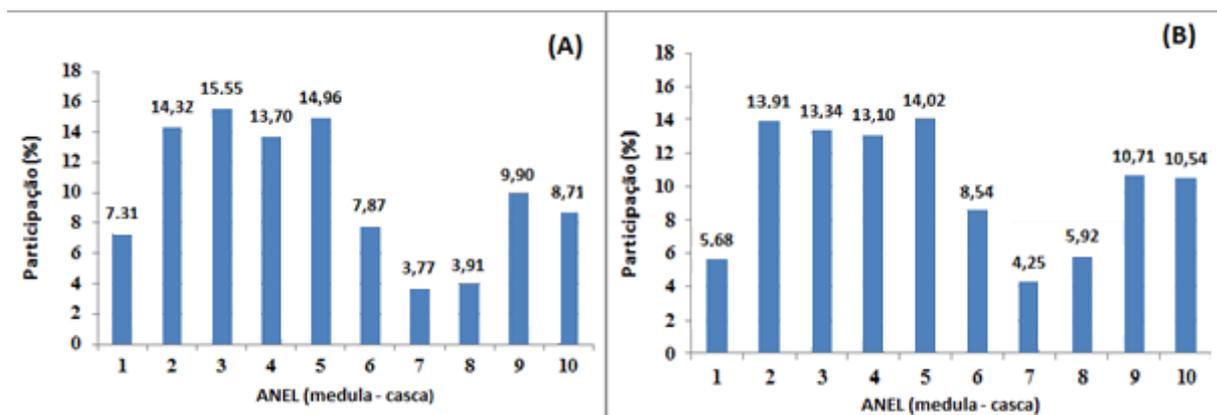
Tabela 6. Estimativa de massa seca de madeira obtida por meio da densidade básica e volume considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento dos clones A e B.

Clone	Massa (kg)				CV (%)
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Média	
A	229,81	261,53	210,88	234,07	10,65
B	323,44	339,58	312,02	325,01	4,26

CV = coeficiente de variação.

A Figura 11 mostra a participação acumulativa da estimativa de massa seca por anel anual de crescimento nos clones avaliados. Observa-se que, para os dois clones, as maiores acumulações médias de massa seca ocorreram do segundo ao quinto anel anual de crescimento, enquanto que as menores foram no sétimo e oitavo anel.

Figura 11. Participação da estimativa de massa seca por anel anual de crescimento dos clones A (A) e B (B).



Em estudo feito por Sanchez (2005), a redução da taxa de crescimento do tronco das árvores de todas as progênies de *E. urophylla*, ocorreu a partir do 38º mês, corroborando ao observado neste trabalho, com pequena redução do crescimento após o terceiro ano. Este fato está relacionado com o aumento da competição pelos fatores de crescimento, seja em relação à captação de luz (exposição da copa das árvores e efeito na taxa de fotossíntese) e a disponibilidade de água e sais minerais no solo (competição radicular pela absorção e fluxo ascendente da seiva mineral).

Como o desbaste foi realizado no quarto ano, o quinto anel de crescimento apresentou aumento na participação da massa seca da árvore em relação ao quarto anel. Porém, a partir do quinto anel, houve diminuição na participação de massa para o 6º, 7º e 8º anel, nos dois clones avaliados. Isso pode ter sido consequência da precipitação atípica que ocorreu na região nos anos de 2012, 2013 e 2014. Segundo os dados climatológicos do INMET, nos anos de 2012 a 2014, a chuva acumulada mensal dos meses de setembro a março, com exceção de janeiro, ficou abaixo da normal climatológica no período de 1961 a 1990, causando um déficit hídrico nesses meses em que a atividade cambial costuma ser mais acelerada pelos fatores ambientais da estação de maior temperatura e pluviosidade.

5.4. Modelos de variação da densidade básica dentro do tronco

5.4.1. Modelos de variação longitudinal

Nas Tabelas 7 e 8 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação longitudinal da densidade básica por anel anual de crescimento dos clones A e B, respectivamente. Na Tabela 7, pode-se observar que somente no anel anual de crescimento 2 não foi possível ajustar um modelo linear que representasse o padrão de variação longitudinal da sua densidade básica. Aparentemente, este anel anual de crescimento não possui um padrão de variação longitudinal linear definido para a densidade básica. Pode-se observar ainda que os anéis anuais de crescimento apresentaram diferentes tipos de modelos lineares que representam a variação longitudinal da densidade básica, não sendo possível estabelecer um modelo único de variação. Este mesmo efeito foi observado no clone B (Tabela 8). O padrão de variação da densidade básica dos anéis anuais de crescimento 3 e 9 seguiu o modelo linear de mesma forma, assim como ocorreu nos anéis 1 e 10. Os anéis anuais de crescimento 1, 5, 7, 8, 9 e 10 foram os que apresentaram modelos lineares com os melhores ajustes.

Tabela 7. Modelos de variação longitudinal da densidade básica dos anéis anuais de crescimento do clone A.

ANEL	MODELO AJUSTADO	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 451,335 - 56,4027 PL + 15,3244 PL^2 - 1,01469 PL^3$	5,48	98,57**	96,41
2	Nenhum dos modelos testados foram significativos	-	-	-
3	$Y_i = 522,155 + 20,1516 PL^{0,5} - 5,58786 PL$	4,67	48,40*	36,93
4	$Y_i = 533,647 + 6,41280 \frac{1}{PL^{1,7}}$	5,03	52,92*	48,63
5	$Y_i = 562,770 - 0,0904188 PL^2$	4,53	61,79*	58,32
6	$Y_i = 593,965 + 14,3931 PL - 3,12768 PL^{1,5}$	5,98	52,41**	42,90
7	$Y_i = 592,027 - 0,460406 PL^{1,5}$	8,68	65,82**	62,71
8	$Y_i = 551,335 + 69,9009 PL^{0,5} - 7,5319 PL^{1,5} + 1,01621 PL^2$	6,41	81,05**	74,73
9	$Y_i = 583,740 + 31,1191 PL^{0,5} - 7,81347 PL$	5,77	75,44*	70,52
10	$Y_i = 612,405 + 20,1266 PL - 2,22992 PL^2 + 0,05974 PL^3$	5,95	85,98*	81,30

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust} = Coeficiente de determinação ajustado; Y_i= Densidade básica estimada; PL= Posição longitudinal (m).

Na Tabela 8 verifica-se que nos anéis anuais de crescimento 2, 7, 8 e 10 não foi possível ajustar um modelo linear que representasse o padrão de variação longitudinal da sua densidade básica. Estes anéis anuais não possuem um padrão de variação longitudinal linear definido para a densidade básica. O padrão de variação da densidade básica dos anéis anuais de crescimento 1 e 9 seguiu o modelo linear de mesma forma, assim como ocorreu nos anéis 3 e 5. Os anéis anuais de crescimento 1, 3, 4 e 5 foram os que apresentaram modelos lineares com os melhores ajustes.

Tabela 8. Modelos de variação longitudinal da densidade básica dos anéis anuais de crescimento do clone B.

ANEL	MODELO AJUSTADO	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 403,882 + 0,596122 PL^2$	4,99	76,57*	70,71
2	Nenhum dos modelos testados foram significativos	-	-	-
3	$Y_i = 611,183 - 12,4605 PL + 1,00472 PL^2 - 0,0291271 PL^3$	4,28	81,20*	74,15
4	$Y_i = 691,673 - 178,286 PL^{0,5} + 81,5175 PL - 10,6735 PL^{1,5}$	4,52	72,69*	63,59
5	$Y_i = 601,036 - 17,5813 PL + 2,19809 PL^2 - 0,0670884 PL^3$	3,91	74,18*	65,57
6	$Y_i = 587,130 + 31,3111 PL^{0,5} - 4,20135 PL$	4,72	28,07**	13,68
7	Nenhum dos modelos testados foram significativos	-	-	-
8	Nenhum dos modelos testados foram significativos	-	-	-
9	$Y_i = 631,784 - 0,0485704 PL^2$	4,86	18,48***	11,06
10	Nenhum dos modelos testados foram significativos	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust} = Coeficiente de determinação ajustado; Y_i= Densidade básica estimada; PL= Posição longitudinal (m).

Em estudo feito por Pádua (2009), analisando a variação longitudinal da densidade básica em diferentes classes diamétricas, observou que o modelo quadrático foi o que apresentou os piores ajustes, enquanto que o modelo da terceira e quarta potência os de melhor ajuste para todas as classes de diâmetro.

5.4.2. Modelos de variação radial

Nas Tabelas 9 e 10 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação radial da densidade básica por posição longitudinal de amostragem dos clones A e B, respectivamente. Não foi possível estimar o modelo geral que descreva o padrão

de variação radial em todas as posições longitudinais amostradas. Os coeficientes de variação dos modelos lineares de variação radial da densidade básica, no geral, foram de maior magnitude que os modelos de variação longitudinal por anel anual de crescimento (Tabelas 1 e 2), porém, no geral, com maiores valores de coeficiente de variação. Verificou-se também que a densidade básica foi mais variável no sentido radial ou da medula para a casca.

Tabela 9. Modelos de variação radial da densidade básica por posição longitudinal do clone A.

POSIÇÃO LONGITUDINAL (m)	MODELO AJUSTADO	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 251,454 + 230,849 A^{0,5} - 38,0823 A$	7,36	93,07*	91,09
1,3	$Y_i = 170,880 + 263,886 A^{0,5} - 37,7315 A$	7,52	91,10*	88,56
3,3	$Y_i = 230,105 + 167,296A^{0,5} - 3,53933 A^{1,5}$	6,62	98,34*	97,87
5,3	$Y_i = 350,231 + 99,9870 A^{0,5}$	8,43	87,12*	85,51
7,3	$Y_i = 383,069 + 87,4765 A^{0,5}$	7,38	85,36*	83,53
9,3	$Y_i = 345,443 + 96,9259 A^{0,5}$	7,09	89,35*	88,02
11,3	$Y_i = 310,093 + 188,100 A^{0,5} - 27,4826 A$	6,83	94,40*	92,54
13,3	$Y_i = 414,045 + 69,3029 A^{0,5}$	6,58	75,63*	72,15
15,3	$Y_i = 434,821 + 62,3376 A^{0,5}$	9,20	50,62*	43,57
17,3	$Y_i = 466,938 + 26,8859 A^{1,5} - 7,59786 A^2$	6,18	69,77*	59,70
19,3	$Y_i = 445,080 + 54,5373 A^{0,5}$	6,32	66,07*	60,42
21,3	$Y_i = 494,996 + 14,4414 A$	3,47	85,96*	83,62
23,3	$Y_i = 512,423 + 12,5360 A$	6,26	45,93*	35,11

*Significativo a 1% de significância; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust} = Coeficiente de determinação ajustado; A= Anel anual de crescimento; CV= Coeficiente de variação; Y_i= Densidade básica estimada; PL= Posição longitudinal (m);

Tanto para o clone A quanto para o clone B os modelos foram significativos a 1% de significância e, também, a maioria dos coeficientes de determinação (R² e R²_{ajustado}) foram altos, especialmente até a posição longitudinal de 13,3 m, no clone A, e de 15,3 m, no clone B. No clone A a posição longitudinal de 21,3 m também apresentou modelo linear com elevado coeficiente de determinação. Na Tabela 9 pode-se observar que as posições longitudinais que apresentaram modelos lineares de mesma foram a 0,3 m, a 1,3 m e 11,3 m (modelo múltiplo), a 5,3 m, 7,3 m, 9,3 m, a 13,3 m, 15,3 m e 19,3 m (modelo simples raiz quadrada) e a 21,3 m e 23,3 m (modelo simples). Na posição longitudinal de 3,3 m o modelo

ajustado apresentou o melhor grau de ajuste ($R^2 = 98,34\%$ e $R^2_{ajustado} = 97,87\%$), enquanto que a 23,3 m o modelo linear simples apresentou o menor ajuste.

Tabela 10. Modelos de variação radial da densidade básica por posição longitudinal do clone B.

POSICÃO LONGITUDINAL (m)	MODELO AJUSTADO	CV (%)	R^2	R^2_{ajust}
0,3	$Y_i = -551,966 + 1535,27A^{0,5} - 678,653 A + 100,075 A^{1,5}$	5,69	93,18*	89,77
1,3	$Y_i = -199,386 + 923,288 A^{0,5} - 360,766 A + 47,7578 A^{1,5}$	6,36	85,68*	78,50
3,3	$Y_i = 247,382 + 169,627 A - 26,9476A^2 + 1,41665 A^3$	6,58	90,36*	85,54
5,3	$Y_i = 234,535 + 239,979 A^{0,5} - 35,5312 A$	6,75	77,96*	71,66
7,3	$Y_i = -119,147 + 833,117 A^{0,5} - 338,752 A + 47,8543 A^{1,5}$	6,05	89,52*	84,28
9,3	$Y_i = 362,936 + 115,776 A - 18,8505 A^2 + 1,01132 A^3$	5,76	84,03*	76,04
11,3	$Y_i = 341,522 + 152,666 A - 28,0643 A^2 + 1,67109 A^3$	6,31	74,86*	59,77
13,3	$Y_i = 372,290 + 178,278 A^{0,5} - 26,8751 A$	6,23	81,06*	74,74
15,3	$Y_i = 470,509 + 62,2855 A^{0,5}$	5,16	75,88*	72,44
17,3	$Y_i = 328,211 + 202,401 A^{0,5} - 33,7120 A$	7,31	57,95*	43,94
19,3	$Y_i = 515,922 + 38,9207 A^{0,5}$	5,44	42,89*	33,38
21,3	$Y_i = 321,342 + 234,822 A^{0,5} - 44,9831 A$	6,50	61,91*	46,67
23,3	$Y_i = 472,659 + 60,4506 A^{0,5}$	5,21	67,68*	61,22

*Significativo a 1% de significância; R^2 = Coeficiente de determinação; R^2_{ajust} = Coeficiente de determinação ajustado; A= Anel anual de crescimento; CV= Coeficiente de variação; Y_i = Densidade básica estimada.

Na Tabela 10 pode-se observar que as posições longitudinais que apresentaram modelos lineares de mesma foram a 0,3 m e 1,3 m (modelo linear múltiplo), a 3,3 m, 9,3 m e 11,3 m (modelo linear cúbico), a 13,3 m e 17,3 m (modelo linear múltiplo), a 15,3 m, 19,3 m e 23,3 m (modelo simples raiz quadrada) e a 5,3 m e 21,3 m (modelo linear múltiplo). Na posição longitudinal de 0,3 m o modelo ajustado apresentou o melhor grau de ajuste ($R^2 = 93,18\%$ e $R^2_{ajustado} = 89,77\%$), enquanto que a 19,3 m o modelo linear raiz quadrada apresentou o menor ajuste. No clone A cinco modelos foram necessários para descrever o padrão de variação radial da densidade básica, em que o modelo linear raiz quadrada foi o de maior participação nas posições longitudinais (6 posições). No clone B foram necessários seis modelos lineares para descrever o padrão de variação da densidade básica, em que o modelo

linear cúbico foi o que mais se ajustou aos dados nas posições longitudinais (3 posições). Este resultado sugere que o padrão de variação radial da densidade básica do clone B foi maior que a do clone A. Fato que pode ser observado nas Figuras 9 e 10.

De modo geral, foi observado que quanto mais pontos forem considerados, melhor será a definição do modelo padrão da variação radial da densidade básica. Este resultado está de acordo com o apresentado por Downes et al. (1997).

5.5. Correlação das médias de densidade básica dos clones

Os valores de densidade básica individual dos anéis anuais de crescimento em todas as posições longitudinais foram correlacionados com as densidades básicas médias das árvores considerando os valores de densidade obtidos tanto pelos discos como pelos anéis anuais de crescimento.

A Tabela 11 apresenta as correlações significativas de maiores magnitudes observadas entre a densidade básica individual dos anéis anuais de crescimento com os valores de densidade básica média das posições longitudinais de amostragem estimadas pelos anéis anuais de crescimento para os clones A e B. Pode-se observar que as correlações foram de elevada magnitude e que somente o anel anual de crescimento 3 do clone A não apresentou correlação significativa. Para o clone A, verifica-se que o anel anual de crescimento 6 na posição longitudinal 17,3 m apresentou a correlação de maior magnitude e unitária com a densidade básica média da árvore calculada com as densidades dos anéis anuais de crescimento. As posições longitudinais de amostragem que mais se repetiram foram as de 0,3m (anel 2 e 7), 3,3m (anel 1 e 5) e 11,3m (anel 8 e 10) de alturas, enquanto que a posição do diâmetro a altura do peito (1,3 m) não apresentou correlação significativa com os anéis anuais de crescimento.

Pela Tabela 11 verifica-se que todos os anéis anuais de crescimento apresentaram elevadas correlações significativas no clone B e que as de maiores magnitudes ocorreram nos anéis anuais de crescimento 4, a 23,3m, anel 5, a 5,3m, anel 6, a 13,3m e o anel 10, a 19,3m. A posição longitudinal de amostragem que mais se repetiu com melhores correlações foi a 3,3m de altura (anel 2, 7 e 9). A posição do diâmetro a altura do peito (1,3 m) também não apresentou alta correlação significativa com os anéis anuais de crescimento.

Tabela 11. Correlação entre a densidade básica individual do anel anual de crescimento com a da densidade básica média da posição longitudinal estimada pelos anéis anuais de crescimento.

CLONE	ANEL	PL (m)	DBPLA
A	1	3,3	0,9999*
	2	0,3	0,9804*
	3	-	Ns
	4	13,3	0,9531*
	5	3,3	0,9948*
	6	17,3	1,000*
	7	0,3	0,9581*
	8	11,3	0,9986*
	9	15,3	0,9955*
	10	11,3	0,9997*
B	1	7,3	0,9953*
	2	3,3	0,9989*
	3	19,3	0,9980*
	4	23,3	0,9999*
	5	5,3	0,9999*
	6	13,3	0,9999*
	7	3,3	0,9998*
	8	7,3	0,9984*
	9	3,3	0,9986*
	10	19,3	0,9999*

* Significativo a 10% de probabilidade; ns = não significativo; PL= Posição longitudinal (m); DBPLA = densidade básica média das posições longitudinais de amostragem estimadas pelos anéis anuais de crescimento.

A Tabela 12 apresenta as correlações significativas de maiores magnitudes observadas entre a densidade básica individual dos anéis anuais de crescimento com os valores de densidade básica média das posições longitudinais de amostragem obtidas pelos discos, para os clones A e B. Pode-se observar que, para o clone A, o anel anual de crescimento 8 na posição 0,3m de altura apresentou a correlação de maior magnitude. Os anéis anuais de crescimento 2 e 3 não apresentaram correlação significativa com nenhuma posição longitudinal de amostragem. As posições longitudinais de amostragem que mais se repetiram foram as de 3,3m (anel 1 e 5) e 5,3m (anel 9 e 10). A posição do diâmetro a altura do peito (1,3 m) não apresentou correlação significativa com os anéis anuais de crescimento.

Tabela 12. Correlação entre a densidade básica individual do anel anual de crescimento com a da densidade básica média da posição longitudinal estimada pelos discos.

CLONE	ANEL	PL (m)	DBPLD
A	1	3,3	0,9991*
	2	-	Ns
	3	-	Ns
	4	13,3	0,9762*
	5	3,3	0,9991*
	6	9,3	0,9996*
	7	17,3	0,9974*
	8	0,3	0,9999*
	9	5,3	0,9982*
	10	5,3	0,9967*
B	1	7,3	0,9968*
	2	7,3	0,9882*
	3	13,3	0,9620*
	4	7,3	0,9993*
	5	1,3	0,9947*
	6	0,3	0,9886*
	7	13,3	0,9994*
	8	13,3	0,9970*
	9	-	Ns
	10	5,3	0,9943*

* Significativo a 10% de probabilidade; ns = não significativo; PL= Posição longitudinal (m); DBPLD = média da densidade básica do disco na mesma posição longitudinal do anel considerando o disco.

Para o clone B, Tabela 12, o anel anual de crescimento 7 na posição longitudinal de 13,3m foi o que apresentou a correlação de maior magnitude. As posições longitudinais que mais se repetiram foram as de 7,3m (anel 1, 2 e 4) e 13,3m (anel 3, 7 e 8). O anel 9 não apresentou correlação significativa com nenhuma posição longitudinal. A posição do diâmetro a altura do peito (1,3 m) apresentou correlação significativa no anel 5.

A Tabela 13 apresenta as correlações significativas de maiores magnitudes observadas entre a densidade básica individual dos anéis anuais de crescimento com os valores de densidade básica média da árvore considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento, para os clones A e B.

Pela Tabela 13, para o clone A, observa-se que o anel anual de crescimento 8 na posição 7,3m de altura apresentou correlação significativa de maior magnitude com a densidade básica média da árvore. Os anéis anuais de crescimento 2, 3, 4 e 7 não apresentaram correlação significativa nenhuma posição longitudinal de amostragem. Para o clone B o anel anual de crescimento 5 apresentou a correlação de maior magnitude na posição

longitudinal de 5,3m. Apenas os anéis anuais de crescimento 5, 6, 9 e 10 apresentaram correlações significativas. A posição do diâmetro a altura do peito (1,3 m) apresentou correlação significativa nos anéis anuais de crescimento 10 e 9 nos clones A e B, respectivamente.

Tabela 13. Correlação entre a densidade básica individual do anel anual de crescimento com a da densidade básica média da árvore estimada pelos anéis anuais de crescimento.

CLONE	ANEL	PL (m)	DBAA
A	1	3,3	0,9970*
	2	-	Ns
	3	-	Ns
	4	-	ns
	5	0,3	0,9874*
	6	0,3	0,9930*
	7	-	ns
	8	7,3	0,9999*
	9	13,3	0,9963*
	10	1,3	0,9998*
B	1	-	ns
	2	-	ns
	3	-	ns
	4	-	ns
	5	5,3	0,9967*
	6	7,3	0,9750*
	7	-	ns
	8	-	ns
	9	1,3	0,9623*
	10	17,3	0,9880*

* Significativo a 10% de probabilidade; ns = não significativo; PL= Posição longitudinal (m); DBAA = média aritmética da densidade básica da árvore, considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento.

A Tabela 14 apresenta as correlações significativas de maiores magnitudes observadas entre a densidade básica individual dos anéis anuais de crescimento com os valores de densidade básica média da árvore obtida pelos discos, para os clones A e B. Observa-se, para o clone A, que nos anéis anuais de crescimento 8 e 9 a 1,3m de altura (DAP) apresentaram as correlações de maiores magnitudes. As posições longitudinais de amostragem de 1,3m (anel 8 e 9) e 3,3m (anel 1 e 5) foram as que mais se repetiram. Os anéis anuais de crescimento 2, 3 e 7 não apresentaram correlações significativas com nenhuma posição longitudinal de amostragem. Para o clone B, a posição longitudinal de amostragem com a correlação de maior magnitude foi de 9,3m no anel anual de crescimento 2. As posições longitudinais de

amostragem de 5,3m (anel 3 e 6) e 7,3m (anel 7 e 10) foram as que mais se repetiram. Os anéis 1, 5 e 9 não apresentaram correlação significativa com nenhuma posição longitudinal de amostragem.

Tabela 14. Correlação entre a densidade básica individual do anel anual de crescimento com a da densidade básica média da árvore estimada pelos discos.

CLONE	ANEL	PL	DBAD
A	1	3,3	0,9770*
	2	-	ns
	3	-	ns
	4	13,3	0,9912*
	5	3,3	0,9911*
	6	17,3	0,9982*
	7	-	ns
	8	1,3	0,9999*
	9	1,3	0,9997*
	10	5,3	0,9972*
B	1	-	ns
	2	9,3	0,9981*
	3	5,3	0,9611*
	4	15,3	0,9793*
	5	-	ns
	6	5,3	0,9639*
	7	7,3	0,9886*
	8	17,3	0,9869*
	9	-	ns
	10	7,3	0,9946*

* Significativo a 10% de probabilidade; ns = não significativo; PL= Posição longitudinal (m); DBAD = média aritmética da densidade básica da árvore, considerando os discos.

Raymond & MacDonald (2008) verificaram que a melhor correlação da densidade básica da posição longitudinal com a densidade básica média da árvore ocorreu a 1,10 m e 1,50 m para o *E. globulus*. Downes et al. (1997) sugerem a retirada de um único disco ou uma bagueta a 1,10 m, para o *E. globulus* de 5 a 7 anos ($r = 0,79$); a 0,70 m para o *E. nitens* de 7 a 9 anos ($r = 0,73$) e a 1,30 m para o *E. regnans* de 9 anos ($r = 0,82$). Os autores levaram em consideração não só a alta correlação entre a altura de amostragem e a densidade média da árvore, mas também a facilidade de alcançar o ponto para o caso da amostragem não destrutiva.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que::

- A variação longitudinal da densidade básica da madeira, determinada por meio dos discos retirados no fuste das árvores, seguiu a tendência de aumentar no sentido da base para o topo, em todas as árvores de todos os clones, com pequeno decréscimo inicial, na altura do DAP (1,3 m). A variação longitudinal da densidade básica da madeira obtida por meio dos anéis anuais de crescimento seguiu o mesmo comportamento de variabilidade observada quando se utilizou os discos. Porém, com maiores valores de densidade básica média por posição longitudinal e menor variabilidade entre as posições longitudinais de amostragem. As maiores diferenças ocorreram sempre nas menores posições longitudinais de amostragem.
- Os mapas de variação da densidade básica obtida pelos anéis anuais de crescimento permitem observar que os menores valores de densidade básica encontram-se nos anéis anuais de crescimento mais próximos à medula e nas maiores alturas no fuste das árvores, nos dois clones avaliados. Em um mesmo anel anual de crescimento percebem-se variações na magnitude da densidade básica ao longo da posição longitudinal.
- Os anéis anuais de crescimento apresentaram diferentes tipos de modelos lineares que representam a variação longitudinal e radial da densidade básica, não sendo possível estabelecer um modelo único de variação, nos dois clones avaliados. Não foi possível ajustar um modelo linear que representasse o padrão de variação longitudinal da densidade básica de alguns anéis anuais de crescimento nos clones A e B. Estes anéis anuais de crescimento não possuem padrão de variação longitudinal linear definido para a densidade básica.
- A correlação de maior magnitude entre a densidade básica individual do anel anual de crescimento com a densidade básica média da árvore estimada pelos discos, levando em consideração as menores alturas do fuste foi na posição longitudinal de 1,3m no anel anual de crescimento 8 e 9, para o clone A. O clone B, por apresentar correlações elevadas somente em alturas de difícil acesso a partir do solo, dificultará a realização de amostragens não destrutivas para estimativa da densidade básica média da árvore. Para o clone A, a densidade básica no anel anual de crescimento 9 na posição longitudinal de 1,3m (DAP) apresentou a mais elevada correlação significativa com a densidade básica média da árvore obtida pelos anéis de crescimento, enquanto que, para o clone B, o anel anual de crescimento 9 obteve a maior correlação na altura de 1,3m.

7. REFERÊNCIAS

- AKACHUKU, A. E. The effects of some internal and external factors on growth rate of *Lovoa trichilioides* deduced from its wood anatomy. **IAWA Journal**, Utrecht, v.5, n.1, p.75-80, 1984.
- ALVARADO, J. R. et al. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 171-179, junho 2010.
- ALZATE,S.B.A.; TOMAZELLO FILHO,M.; PIEDADE,S.M.S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis** n. 68, p.87-95, ago. 2005.
- ARANTES, M. D. C. Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. 2009. 137 p. **Tese** (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – **ABIMCI**. 2007. Estudo Setorial 2007: Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Disponível em:< http://www.abimci.com.br/importancia_setor.html>. Acesso em 14 de setembro de 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. Normas técnicas **NBR** 11941. Brasília: 2003.
- AUTY, D. et al. Models for predicting wood density variation in Scots pine. **Forestry**, An International Journal of Forest Research. Volume 87, Issue 3, 1 July 2014, Pages 449–458. 2014.
- BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MÜLLER, M. D.; COUTO, L. O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um foco nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Botucatu, v. 2, n. 2, p. 141- 158, 2005.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Variabilidade radial da madeira de *Pinus caribaea* VAR. *hondurensis*. **IPEF** n.18, p.81-102, jun.1979.
- BEALDOIN, M.; HERNANDEZ, R. E.; KOUBAA, A. POLIQUIN, J. Interclonal, intraclonal and within-tree variation in wood density of poplar hybrid clones. **Wood and Fiber Science**, 24(2), pp. 147-153. 1992.
- BENJAMIN, C. A.; BALLARIN, A. W. Avaliação do comportamento de critérios de amostragem de árvores para a determinação da densidade básica da madeira de populações florestais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFC, 2004.

- BOUVET, J. M.; BAILLÈRES, H. Expression of some growth and wood property traits among *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* clones in Congo. **Eucalypt plantations: improving fibre yield and quality**: 89–92.1995.
- BROWN, C.L. Secondary growth. In: ZIMMERMANN, M.H.; BROWN, C L. **Trees structure and function**. New York: Springer-Verlag,. p.67-123. 1974.
- CARVALHO, R.M.M.A. -2005- Caracterização do Setor Florestal: Uma Abordagem Comparativa com outros Setores da Economia. **Ciência Florestal**-Santa Maria/RS. 2005.
- CHAGAS, M. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C. S.; Brito, J. O.; Scolforo, J. R. Caracterização dos anéis de crescimento e densidade da madeira de árvores de candeia *Eremanthus erithropappus* pela densitometria de raio x. **International Nuclear Atlantic Conference – INAC**. 2005, Santos, SP, Brasil. Setembro de 2005.
- CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n.64, p.33-47,2003.
- DAHLEN, J.; AUTY, D.; EBERHARDT, T. L. Models for Predicting Specific Gravity and Ring Width for Loblolly Pine from Intensively Managed Plantations, and mplications for Wood Utilization. *Forests* 2018, 9, 292.
- DOWNES, G.M.; RAYMOND, C.A. Variation in wood density in plantation eucalypts. In: DOWNES, G.M. et al. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Australia: CSIRO,. p.88-99. 1997.
- ESAU, K. 1977. Anatomy of Seed Plants. 2nd. New York : **John Wiley & Sons**, 1977.
- FONTI, P.; N. SOLOMONOFF e I. GARCIA, G. 2007. Earlywood vessels of *Castanea sativa* record temperature before their formation. **New Phytologist**. Vol. 173, pp. 562-570. 2007.
- GARTNER, B.L., MEINZER, F.C., 2005. Structure-function relationships in sapwood water transport and storage. **Vascular Transport Plants**, 307–331. 2005.
- GONÇALVES, F. G.; OLVEIRA, J.T.S.; DELLA LUCIA, R., M.; NAPPO; M E. e SARTÓRIO, R, C. Densidade básica e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Resvista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.2, p.277-288, 2009.
- HENRY, M. et al. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management** . v.260 p. 1375–1388. 2010.
- IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Journal**, Utrecht v.10, n.3, p. 219-332, 1989.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Ibá 2017**. 2017. Disponível em <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf> Acesso em 13 de setembro de 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Ibá 2016**. 2016. Disponível em <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicações>> Acesso em 24 de setembro de 2017.

JYSKE, T.H., MAKIKEN, H. and S.ANANPAA, P. 2008 Wood density within Norway spruce stems. **Silva Fennica Journal RG Impact & Description**. 42, 439–455. 2008.

JORGE, F.; PEREIRA, H. Influência da silvicultura na qualidade da madeira. **Revista Florestal**, v.11, n.2, p.27-31, 1998.

KEITH, C.T. 1985: Defining wood quality: what's important? Proc. a **Workshop on Wood Quality Considerations in Tree Improvement Programs**. Quebec City, Quebec. August, 1985.

KOZLOWSKI, T.T., Growth and Development of Trees: Cambial growth, root growth, and reproductive growth. **Academic press**. 2v. 514 p. 1971.

LARSON, P. R.; KRETSCHMANN, D. E.; CLARK, A.; ISEBRANDS, J.G. 2001. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-129. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, **Forest Products Laboratory**. 42 p.2001.

LUZ, A. L. O. M. Análise da formação dos anéis de crescimento anual das árvores ao longo dum ciclo de actividade cambial. **Dissertação** (obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais). Instituto Superior de Agronomia- Universidade técnica de Lisboa. 2011.

MARGARIDO, M. et al. Caracterização da Variação da Espessura dos Anéis de Crescimento em Pinheiro Bravo. **Congresso Florestal Nacional, 5º**, Viseu, 2005. Universidade de Lisboa. 2005.

MATTOS, P. P. Identificação de anéis anuais de crescimento e estimativa de idade e incremento anual em diâmetro de espécies nativas do Pantanal da Nhecolândia, MS. **Tese** (Doutorado em Ciências Agrárias- UFPR). Curitiba, 1999.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; SANTINI, É. J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p. 121-126, 2011.

MITCHELL, H.L. 1961: A concept of intrinsic wood quality and nondestructive methods for determining quality in standing timber. Report No. 2233, **Forest Products Laboratory**, Madison, Wisconsin.. 1961.

MELO, R. R. Radial and longitudinal variation of Pinus taeda L. wood basic density in different ages. **Revista Ciências Agrárias.**, v.58, n.2, p. 192-197, abr./jun. 2015.

- MUÑIS, G. I. B. Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. Curitiba, 1993. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais) - UFPR.
- NOGUEIRA, E.; FEARNSTIDE, P.; NELSON, B. (2008) Normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests. **Forest Ecology Management**. 256:990–996. 2008.
- OLIVEIRA, J. T. S. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. 1998. 429 f. **Tese** (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- OLIVEIRA, J. T. S. ; HELLMEISTER, J.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.
- OLIVEIRA, L. T. Estimativa da produção de madeira e da casca de clones de *Eucalyptus* através da densidade básica. **Monografia** (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. 2018
- PÁDUA, F. A. Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira em um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. 2009. **Tese** (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw Hill, 722 p. 1982.
- PARHAM, R.A. 1983. Trees and their production of wood. [autor do livro] M.J. Kocurek e C. Stevens. **Pulp and Paper Manufacture** Volume 1 - Properties of fibrous raw materials and preparation for pulping. pp. 10-21. 1983.
- PAULA, J. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 33, n. 2, p. 243-262, abr./jun. 2003.
- PITTERMANN, J., SPERRY, J., WHEELER, J., HACKE, U., SIKKEMA, E., 2006. Mechanical reinforcement of tracheids compromises the hydraulic efficiency of conifer xylem. **Plant Cell and Environment** 29, 1618–1628. 2006.
- PLOMION, C., LEPTOVOST, G. e STROKES, A. 2001. Wood formation in trees. **Plant Physiology**. 2001, Vol. 127, pp. 1513-1523. 2001.
- QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Within and between-tree variation of bark content and wood density of *Eucalyptus globulus* in commercial plantations. **IAWA Journal**, Vol. 22 (3), 255–265. 2001.
- RAYMOND, C. A.; MACDONALD, A. C. Where to soot your pilodyn: whitening tree variation in basic density in plantations *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*, Tasmania. **New Forests**, Dordrecht, v. 15, n. 3, p. 205-221, June 1998.

- ROWE, N., SPECK, T., 2005. Plant growth forms: an ecological and evolutionary perspective. **New Phytologist**. 166, 61–72. 2005.
- ROCHA, M. G. B. Variação da densidade básica e correlações entre caracteres de progênies jovens de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em duas etapas de crescimento. 1983. 54 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1983.
- SANCHÉZ, E. I.; VARGAS-HERNANDÉZ, J.; LOPEZ, J. U.; DE LA ROSA, A. B. Parâmetros genéticos del crecimiento y densidade de madera em edades juveniles de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Agrociencia**, Mexico, v. 39, n.4, p.469-479, 2005.
- SETTE JR, C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.6, p.1183-1190, 2012.
- SHIMOYAMA, V. R. S. Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp. 1990. 93 f. **Dissertação** (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1990.
- SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; JUNIOR, S. K.; MATOS, J.L.M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**. V. 34. Jan/Abr, 13- 22, Curitiba-Pr. 2004.
- SOARES, N. S. Potencial de Implantação de um Contrato Futuro da Madeira de Reflorestamento. Viçosa, MG: UFV, 2006. 121 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.
- SOUZA, F.M.L.; PUPO, C. H.; SEREGHETTI, G. C.; SANSÍGOLO, C. A.; FERREIRA, J. P.; SILVA, R. B.; GARCIA, D. P. Características de crescimento, densidade básica e composição química da madeira de *Eucalyptus* spp. na região de Ribas do Rio Pardo-MS. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 11(4): 350-359, 2017.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF** n.29, p.37-45, abr.1985.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C.S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. São Paulo: **EDUC, COMPED, INEP**. p. 117-143. 2001.
- TRENARD, Y. Making wood speak: an introduction to dendrochronology. **Forestry Abstracts**, Sydney, v.43, n.12, p.729-759, Traduzido por K.E. Langdon. 1982.
- VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.

WASSENBERG, M. et al. Analysis of wood density profiles of tree stems: incorporating vertical variations to optimize wood sampling strategies for density and biomass estimations. 2014. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**. 2014.

WILKINS, A.P.; HORNE, R. Wood-density variation of young plantation-grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatments. **Forest Ecology and Management**, 40 (1991) 39-50. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. 1991.

ZHANG, X.; ZHAO, Y.; ASHTON, M.S.; LEE, X (2012) Measuring Carbon in Forests. In: Ashton MS, Tyrrell ML, Spalding D, Gentry H (eds) *Managing forest carbon in a changing climate*. **Springer, Berlin**, pp 139–164. 2012.

ZHANG, S. Y. Wood quality attributes and their impacts on wood utilization. **XII Wood Forestry Congress**, 2003. Québec, Canadá. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0674-B1.HTM>>. Acesso em 18 de setembro de 2017.

ZOBEL, B.J., BUIJTENEN, J.P. Wood variation: its causes and control. **Germany: Springer Verlag**, 363 p. 1989.