



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
ENGENHARIA FLORESTAL**

LEILA DE ARAÚJO FERREIRA

**RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA CANDEIA EM DIFERENTES
DENSIDADES DE PLANTAS**

**Prof. Emanuel José Gomes de Araújo
Orientador**

Seropédica - RJ
Fevereiro – 2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
ENGENHARIA FLORESTAL**

**RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA CANDEIA EM DIFERENTES
DENSIDADES DE PLANTAS**

LEILA DE ARAÚJO FERREIRA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de **Engenheiro Florestal**, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**Prof. Emanuel José Gomes de Araújo
Orientador**

Seropédica - RJ
Fevereiro – 2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
ENGENHARIA FLORESTAL**

LEILA DE ARAÚJO FERREIRA

Comissão Examinadora:

APROVADA EM 05/02/2014.

Prof. Msc. Emanuel José Gomes de Araújo
UFRRJ/IF/DS
Orientador

Prof. Dr. Marco Antonio Monte
UFRRJ/IF/DS
Membro

Prof. Hugo Barbosa Amorim
UFRRJ/IF/DS
Membro

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus
e ao meu querido esposo
Cassiano Ricardo.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela oportunidade de estar cursando e concluindo um ensino superior de qualidade. Dou graças, pois em momentos de dificuldades Ele nunca deixou que me faltasse nada e supriu todas as minhas necessidades. Agradeço também pelas pessoas maravilhosas que Ele colocou na minha vida e que me deram conselhos e forças nos momentos em que precisei. Agradeço por ter me dado saúde, força, conhecimento e sabedoria. Agradeço também por todas as dificuldades que enfrentei, pois me proporcionaram experiências e amadurecimento. Agradeço a Deus pela bondade de poder melhorar as condições de vida da minha família. Agradeço porque sei que Ele continuará a me acompanhar na minha jornada profissional me dando sempre o que Ele tem de melhor.

Agradeço a minha avó Elenice e tia Nilda pela minha formação como pessoa mostrando a importância de valores. Por me apoiarem em minhas decisões, mesmo que com dificuldades. À minha mãe Cláudia, que me dá forças a continuar.

Agradeço aos meus sogros, Maria Aparecida e Williams, que são como pais para mim. Porque estão sempre dispostos a me ajudar e apoiar sempre que precisar. Por saber que todo o carinho é recíproco.

Agradeço ao meu esposo por me apoiar em tudo em que decidi. Por ser um grande companheiro e amigo fiel. Por me ouvir, ser compreensivo e paciente em momentos em que estive estressada, ansiosa e lhe dei pouca atenção.

Agradeço às minhas irmãs de alojamento pela amizade sincera que me proporcionam sempre. E por me oferecerem a confiança de que nunca me faltará alguém por quem contar. A todas elas o meu enorme carinho: Amanda, Anastácia, Carina, Carol, Christina, Elyene, Evelyn, Fernanda, Joice, Marinna, Nayani.

Agradeço por toda amizade de Cacá, Greycon, Maria Carolina, Sebastião, Rosemere, Thelma, Thiago que sempre me ouviram e aconselharam.

Aos professores e orientadores Emanuel e Marco, por toda atenção, disponibilidade em ajudar. Pelos conselhos e conhecimentos que contribuíram para este trabalho.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi ajustar e avaliar modelos de relação hipsométrica para a espécie *Eremanthus incanus* Less. em diferentes densidades de plantas, no estado de Minas Gerais. Os dados foram coletados em área experimental com dois blocos e cinco tratamentos por bloco. Cada tratamento corresponde a diferentes densidades de plantas. As variáveis diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e altura (H) foram mensuradas, em cada tratamento, nas idades de 2,0, 5,3, e 8,1 anos em cada bloco. Para o ajuste das equações utilizou-se os dados do bloco 1. Foram testados os modelos Linear Simples, Trorey, Assmann e Prodan. Estes foram ajustados para cada tratamento, em cada idade, totalizando 60 equações ajustadas. Os critérios utilizados para avaliar a precisão das equações e selecionar a melhor em cada tratamento e em cada idade foram: coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$), erro padrão da estimativa (S_{yx} %), teste F da análise de variância, significância dos coeficientes de regressão e análise gráfica dos resíduos. Quando o mesmo modelo foi selecionado em diferentes tratamentos em uma mesma idade, testou-se a possibilidade de uma única equação representar esses tratamentos, por meio do teste de identidade de modelos proposto por Graybill. Além disso, verificou-se a possibilidade de aplicar a equação selecionada em uma base de dados diferente da utilizada nos ajustes. Para isso aplicou-se a melhor equação de cada tratamento nos dados referentes ao bloco 2 e fez-se a validação por meio do teste Qui-quadrado. De maneira geral, os valores do coeficiente de determinação ajustado foram baixos em todos os casos, mostrando a fraca relação biológica entre diâmetro e altura. Entretanto, os valores do erro padrão encontram-se abaixo de 10%, demonstrando precisão das equações nas estimativas. O modelo de Assmann foi o que apresentou melhor precisão, pois apresentou significância dos coeficientes de regressão e distribuição gráfica dos resíduos homogênea e sem tendências. Com o teste de identidade observou-se não ser possível a utilização de uma mesma equação para diferentes tratamentos numa mesma idade. A aplicação das equações selecionadas em um conjunto de dados diferente dos utilizados no ajuste não é recomendada, conforme foi comprovado pela significância do teste Qui-quadrado durante a validação. Quanto a sua dinâmica, a curva hipsométrica, ao longo do tempo, reduz a sua inclinação, desloca-se para a direita e sobe de patamar. Em espaçamentos muito adensados, a relação altura-diâmetro é praticamente inexistente a partir dos 5,3 anos de idade, caracterizando estabilização do crescimento. Enquanto que aos 8,1 anos nos tratamentos menos adensados as plantas continuam em desenvolvimento, caracterizando as melhores condições para o plantio com a candeia.

Palavras-chave: *Eremanthus incanus* Less., modelos hipsométricos, teste de identidade.

ABSTRACT

The aim of this study was to adjust and evaluate hypsometric models relation to the species *Eremanthus incanus* Less. at different plant densities in the state of Minas Gerais. The data were collected in the experimental area with two blocks and five treatments per block. Each treatment corresponds to different plant densities. The variable diameter to 1.30 m from the ground (DBH) and height (H) were measured, in each treatment at the ages of 2,0;5,3, and 8,1 years in each block. It was used the data of the block 1 for the adjustment of the equations. The Simple Linear Models, Trorey, Assmann and Prodan models were tested. These models were adjusted for each treatment, at each age, with the total of 60 adjusted equations. The criteria used to evaluate the accuracy of the equations and select the best one in each treatment and at each age were: adjusted coefficient of determination (R^2_{adjusted}), standard error of estimation ($S_{yx}\%$), F test of analysis of variance, significance of coefficients of regression and graphical analysis of the residuals. When the same model was selected in different treatments at the same age, we tested the possibility of a single equation representing these treatments, through identity test of models proposed by Graybill. In addition, there was the possibility of applying the selected equation in a different database in comparison to the one used in adjustments. For that was applied the best equation of each treatment in the data regarding to the block 2 and did the validation using the chi-square test. In general, the values of the adjusted coefficient of determination were lower in all cases, showing a weak biological relationship between diameter and height. However, the values of the standard errors were below 10%, showing the accuracy of the equations in the estimations. The Assmann model showed the best accuracy, due to significance of regression coefficients and graphical distribution of homogeneous residues and without bias. With the identity test was observed not be possible the using the same equation for different treatments at the same age. The application of the selected equations in a different set of data used in the adjustments is not recommended, as evidenced by the significance of the chi-square test during the validation. Regarding to its dynamics, the hypsometric curve, over time, slow down its inclination, moves to the right and goes up from level. In very dense spacing, the height-diameter relationship is virtually absent from of 5,3 years old, characterizing stabilization of growth. Whereas at the age of 8.1 years in treatment less dense the plants still under development, featuring the best conditions for the planting with Candeia.

Keywords: *Eremanthus incanus* Less, hypsometric models, identity test.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1	Caracterização da espécie candeia.....	2
2.2	Importância econômica e usos da madeira de candeia	2
2.3	Estudos com a candeia.....	3
2.4	Modelagem hipsométrica	4
2.5	Fatores que afetam a relação hipsométrica.....	5
2.6	Espaçamento.....	5
3	METODOLOGIA	6
3.1	Caracterização da área de estudo.....	6
3.2	Modelos hipsométricos.....	7
3.3	Base de dados	7
3.4	Ajuste e seleção dos modelos de relação hipsométrica	8
3.5	Teste de identidade de modelos.....	9
3.6	Validação das equações selecionadas.....	10
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1	Estatísticas de ajuste	10
4.2	Teste de identidade entre modelos.....	16
	Tabela 7. Análise de variância do teste de identidade para a idade 2,0 anos	16
4.3	Validação das equações selecionadas.....	16
4.4	Dinâmica da Relação Hipsométrica	19
5	CONCLUSÕES.....	20
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

1 INTRODUÇÃO

A candeia (*Eremanthus incanus* Less.) é uma espécie arbórea com grande valor comercial principalmente no estado de Minas Gerais (PEREZ et al., 2004; CAMOLESI et al., 2010). Devido à alta durabilidade de sua madeira, a candeia é muito utilizada na confecção de esteios, caibros, postes, tacos, dormentes, vigas e principalmente moirões de cerca, em que é concentrada a sua importância econômica (CAMOLESI et al., 2010). O estabelecimento de plantios comerciais com candeia é crescente diante da grande demanda por sua madeira. Além disso, pode favorecer a redução da pressão sobre as áreas nativas minimizando os impactos ao meio ambiente.

Para que os povoamentos florestais sejam implantados com sucesso, é imprescindível a realização de inventários florestais contínuos. Nesses, a determinação das alturas das árvores é uma operação onerosa e sujeita aos erros de medição, sendo comum medir-se a altura de algumas árvores e estimar a altura das demais por meio da relação hipsométrica, a qual é comumente definida como uma relação matemática entre a altura da árvore e o seu diâmetro a 1,3 m do solo (IMAÑA-ENCINAS et al., 2002; SCOLFORO, 2005; HOSOKAWA, et al., 2008).

A relação hipsométrica é influenciada por diversos fatores, como o sítio, a idade, o tamanho da copa, a espécie e a posição sociológica. Entretanto, a densidade promove significativa influência, a qual é dependente do estrato florestal e da concorrência das árvores pelos fatores de crescimento, como luz, água e nutrientes do solo. Assim, nas árvores dominantes a altura é pouco afetada pelo espaçamento, já nas dominadas a influência da densidade no desenvolvimento da altura é mais acentuada (PRODAN et al., 1997; SCOLFORO, 2005).

Bartoszeck et al. (2004) ressaltam que os modelos hipsométricos que consideram muitos fatores são de difícil aplicação, o que justifica o uso de equações tradicionais disponíveis na literatura florestal. A eficiência do uso destes modelos já foi comprovada em diversos trabalhos realizados para diferentes espécies florestais, como os de Machado et al. (2008), para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., Ribeiro et al. (2010) para *Eucalyptus* sp. na região sul do estado da Bahia e Araújo et al. (2012) para *Eremanthus erithropappus* (DC.) MacLeish). Porém, a utilização de modelos de relação hipsométrica para *Eremanthus incanus* Less. ainda não foi realizada.

O objetivo do presente trabalho foi ajustar e avaliar modelos de relação hipsométrica para espécie *Eremanthus incanus* Less. em diferentes densidades de plantas, no estado de Minas Gerais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização da espécie candeia

As espécies do gênero *Eremanthus* spp. são mais conhecidas como candeia, pertencem à família Asteraceae e todas elas têm grande importância ecológica e econômica, devido à durabilidade de sua madeira mesmo exposta a ambientes extremos e em contato com o solo (SCOLFORO et al., 2012).

A candeia tem ocorrência natural em todos os estados da região Sudeste, em locais onde a altitude varia de 900 a 1800 m sendo encontrada principalmente em ecótonos entre florestas de altitude e campos abertos, como é o caso dos campos rupestres e do cerrado. Ocorrem naturalmente em solos litólicos e cambissolos (PÉREZ et al., 2004), formando povoamentos mais ou menos puros, conhecidos como candeiais, mas podem coexistir com outras espécies. Espécie precursora de campo, típica de encaves entre a mata e os campos abertos (Cerrado, Campos rupestres e Campos de altitude) (SCOLFORO, et al. 2002). A candeia também pode se estabelecer no interior de florestas mesófilas depois de ocorrido algum tipo de perturbação da floresta, como a abertura de clareiras, devido ao fato de ser uma espécie heliófila que se beneficia com a luminosidade direta. Neste caso, apresentará fuste mais reto e altura maior do que apresentará nos candeiais (PEDRALLI, 1997). Segundo Souza et al., (2007), com o avanço da sucessão a mesma será sombreada, assim tende a serem substituídas pelas demais espécies, propiciando um ambiente mais estruturado. Nos candeiais onde os ambientes se encontram mais abertos, seu fuste se apresenta bastante tortuoso, ramificado e curto (PEDRALLI, 1997).

Possuem copa ampla, com tronco tortuoso, grosso e com presença de fendas (SCOLFORO et al., 2012). A altura média encontra-se no intervalo de 6 e 7 m e as maiores árvores possuem uma altura em torno de 9,5 a 10 metros, embora se tenha detectado indivíduos com até 16,5 m (SCOLFORO et al., 2004). O diâmetro médio de um candeial nativo está em torno dos 15 cm.

Anatomicamente, a madeira de candeia apresenta-se com parênquima axial escasso, fibras curtas e parede celular bastante espessa. A análise química mostrou que a quantidade de extrativos encontrada (20,89%) é superior a comumente encontrada em folhosas, que está na faixa de 1-10%. A densidade da madeira é classificada como moderadamente pesada, sendo a densidade aparente de 0,98 g/cm³ e a densidade básica de 0,79 g/cm³ (MORI et al., 2010).

Devido a sua capacidade de se desenvolver em sítios onde é inviável o cultivo agrícola ou de outras espécies florestais, ela torna-se uma opção comercial para pequenos e médios produtores rurais que desejam fazer uso de sua madeira, pois torna uma área a princípio improdutiva em fonte extra de renda (PÉREZ et al., 2004).

2.2 Importância econômica e usos da madeira de candeia

A madeira de candeia produz um óleo cujo principal princípio ativo é o alfa-bisabolol, que possui propriedades antiflogística, antibacteriana e antimicótica, sendo muito utilizado nas indústrias de produtos dermatológicos e de cosméticos (PEDRALLI, 1997). Na Europa, grande mercado consumidor, esse óleo essencial é utilizado, principalmente, como fixador na indústria de perfumes. Segundo Scolforo et al. (2002), para cada 1 kg de óleo bruto de candeia, obtêm-se em média de 650- 750g de alfa-bisabolol.

A durabilidade da madeira de candeia é atribuída a compostos secundários que a planta produz como forma de defesa a fungos e bactérias. Madeiras que apresentam alta durabilidade natural com relação a organismos xilófagos, como é o caso da candeia, podem

ser destacadas por ter alto valor de nobreza e atingirem no mercado preços elevados devido a maior versatilidade de usos (OLIVEIRA et al., 2005). Devido a essas características, no meio rural, a candeia é muito utilizada na confecção de esteios, caibros, postes, tacos, dormentes, vigas e principalmente moirões de cerca (CAMOLESI et al., 2010). Para este fim, os produtores rurais costumam fazer uso da madeira mesmo quando esta apresenta diâmetro bem fino e não passou por um processo de tratamento da madeira, pois mesmo assim apresentará boa durabilidade natural. Para isso, utilizam-se principalmente da espécie *Eremanthus incanus* Less., pois a qualidade do óleo de sua madeira é inferior a de *Eremanthus erithropappus* (DC.) MacLeish. Isso faz com que essa segunda espécie seja mais estudada (SCOLFORO et al., 2002).

2.3 Estudos com a candeia

Estudos sobre outros usos do óleo e da madeira de candeia estão sendo continuamente realizados. Isso porque existe uma necessidade da descoberta de princípios ativos vegetais que possam ser eficazes no controle de patógenos (BAPTISTA et al., 2003). Existe um escasso desconhecimento quanto as propriedades biológicas de plantas cultivadas e silvestres da flora brasileira (DI STASI, 1996).

Devido às propriedades antimicóticas e antibacterianas do óleo de candeia, Oliveira et al. (2004) testou a inibição do crescimento e a reversão da resistência a antibióticos contra *Staphylococcus aureus*. Esse microorganismo é considerado um patógeno humano, é oportunista e está associado a grande parte das infecções hospitalares. Desde 1942 já se tem conhecimento sobre a resistência de *S. aureus* a antibióticos. Os resultados demonstraram que o óleo essencial de candeia apresenta poder inibitório e bactericida sobre cinco isolados de *S. aureus*, mesmo quando combinado ao antibiótico ampicilina.

Salustiano et al. (2006) analisou a atividade fitotóxica de extratos vegetais e do óleo de candeia (*E. erythropappus*) sobre a germinação de uredíniospóros de quatro espécies de ferrugens e sobre o crescimento micelial de *Cylindrocladium scoparium*. Este fungo é um dos agentes etiológicos causadores do tombamento em mudas de *Eucalyptus* sp. Os resultados obtidos foram positivos reiterando a atividade do alfa-bisabolol como antimicrobiano. Logo, é possível o uso do alfa-bisabolol no controle de patógenos em plantas, assim como é utilizado na indústria farmacêutica. Porém, o autor ressalta que mais estudos devem ser feitos a fim de avaliar concentrações adequadas e o resultado da ação do alfa-bisabolol sobre outros agentes patogênicos nas plantas.

Com a extração de óleo, muito resíduo de madeira é gerado pelas fábricas. Este resíduo é aproveitado nos caldeirões para a produção de energia, ou é armazenado nos pátios das fábricas gerando problemas de ordem ambiental. Santos et al. (2008) verificou a viabilidade do aproveitamento dos resíduos da madeira de Candeia para a produção de painéis cimento-madeira. Verificou-se que as propriedades físico-mecânicas conferiram um grande potencial de utilização do resíduo da madeira de candeia, após a extração do óleo. Entretanto, destaca-se que estes resíduos devem ser associados às madeiras de eucalipto e pinus, na manufatura dos painéis cimento-madeira.

O potencial econômico da espécie é muito alto. Isto tem proporcionado, em algumas regiões, uma exploração predatória e desordenada da espécie (SOUZA et al., 2007). Corre-se grande risco de erosão genética desta espécie que tem enorme potencial. Assim, os melhores genótipos com potencial de melhoramento podem ser perdidos. Uma solução viável para a manutenção da espécie é o desenvolvimento de plano manejo florestal. O plano de manejo adequado deve ser balizado pela ecologia da espécie (SOUZA et al., 2007). Isso é imprescindível para que não haja a erosão genética desta espécie que é tão importante tanto econômica como ecologicamente.

2.4 Modelagem hipsométrica

Para que se possa fazer o manejo sustentável da candeia, este deve estar embasado em estudos de inventário. E para que um inventário florestal seja bem sucedido, as variáveis dendrométricas devem ser corretamente mensuradas, pois é com base nas informações obtidas no inventário florestal que se toma decisões sobre a forma de manejo (SANQUETA et al., 2006). Portanto, o nível de acurácia nas medições deve ser o mais alto possível, pois isso pode comprometer o melhor uso do recurso madeireiro. As variáveis normalmente mensuradas são o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e a altura total (H). A mensuração da altura das árvores é considerada mais trabalhosa e sujeita a erros de medição quando comparada a mensuração de diâmetro.

O DAP é mensurado diretamente, utilizando-se uma suta, fita métrica ou fita diamétrica. A altura (H) é mensurada indiretamente, fazendo-se uso principalmente de hipsômetros. Os principais erros relativos ao uso do hipsômetro residem em condições inadequadas de visibilidade de copa das árvores, sub-bosque e condições da topografia local. Assim, a medição de altura pode ser demorada, demandar maiores custos de operação do inventário (ANDRADE et al., 2006).

Para que a estimativa das alturas tenha um nível aceitável de precisão e os custos relacionados com a estimação das alturas sejam minimizados, faz-se o uso da relação hipsométrica. O termo relação hipsométrica é normalmente conceituado como a relação matemática entre a altura e o diâmetro da árvore a 1,30 m do solo (IMAÑA-ENCINAS et al., 2002; SCOLFORO, 2005; HOSOKAWA, et al., 2008). Outras variáveis como idade, altura dominante, diâmetro médio e área basal também podem ser incluídas nessa relação (ANDRADE et al., 2006).

Na determinação da relação hipsométrica, são mensuradas as alturas totais (H) de algumas árvores das unidades de amostras do inventário florestal, ao passo que se mede o diâmetro (DAP) de todas as árvores amostradas. Com os pares altura-diâmetro obtidos ajusta-se uma equação de regressão que será aplicada para estimar a altura das demais árvores, em que somente o DAP foi mensurado (SCOLFORO, 2006). Estudos sobre o comportamento hipsométrico da candeia ainda são incipientes, sendo o único trabalho realizado por Araújo et al. (2012) para a espécie *E. erythropappus* (DC.) MacLeish. A maioria dos trabalhos são voltados para espécies de Eucalipto e Pinus.

Para que a relação hipsométrica seja eficiente é necessário que se faça uso de modelos que retratem condições homogêneas de desenvolvimento. Entretanto, diferentes fundamentações biológicas representadas por diferentes modelos não-lineares podem produzir resultados praticamente idênticos em termos da relação altura-diâmetro (BATISTA et al., 2001). Não excluindo o fato de que os modelos devam ser testados e analisados estatisticamente para que os melhores modelos sejam aplicados à situação. Com a análise de desempenho dos diferentes modelos é possível se determinar o viés, a precisão e a exatidão de cada modelo nas diferentes situações de estudo.

O modelo escolhido deve produzir estimativas confiáveis, com um mínimo de viés e com variância pequena e espera-se que os modelos mais estáveis possuam justificativas biológicas para sua forma funcional. Batista et al. (2001) conclui em um estudo que utiliza três tipos diferentes de florestas em avaliação de modelos hipsométricos que a presença de viés influencia fortemente o desempenho dos vários modelos lineares. Provavelmente, a correção deste tornaria mais semelhante o desempenho de diferentes modelos que foram utilizados no estudo. O mesmo autor relata que modelos de fácil ajuste, mas sem fundamentação biológica, como os polinômios, ou modelos cuja forma funcional é transformada para permitir o ajuste por regressão linear podem apresentar ajuste inadequado

para representar a curva altura-diâmetro, sendo muito suscetíveis às particularidades dos dados utilizados para o ajuste.

Os modelos não lineares possuem melhor fundamentação biológica para sua forma funcional em termos de estabilidade (BATISTA et al., 2001). Segundo o mesmo autor, o termo “estabilidade” é definido como sendo a propriedade de determinado modelo possui em estimar de forma confiável as alturas. Esta estabilidade é primordial na qualidade das estimativas.

A proporção de árvores utilizadas para efetuar a regressão em cada classe de diâmetro e observações extremas (“outliers”) também podem ser críticas, pois pode influenciar de modo diferenciado o ajuste de diferentes modelos (BATISTA et al., 2001).

2.5 Fatores que afetam a relação hipsométrica

Existe um grande número de variáveis que podem influenciar a relação hipsométrica e que podem dificultar a sua modelagem. Dentre as variáveis que podem influenciar a relação hipsométrica destacam-se: sítio (HÖKKÄ, 1997; FANG & BAILEY, 1998), idade (CURTIS, 1967; OMULE & MACDONALD, 1991), genótipo (KNOWE & FOSTER, 1998), tratamentos silviculturais (ZHANG et al., 1997) e sistema de amostragem (ARABATZIS & BURKHART, 1992). Entretanto, a utilização de modelos em que se utilizam todas essas variáveis seria de difícil obtenção. Devido a isto, é que se estuda a viabilidade de utilização de modelos tradicionais.

2.6 Espaçamento

Espaçamento pode ser definido como aquele que é capaz de produzir o maior volume de produto em tamanho, forma e qualidade desejáveis (PATIÑO-VALERA, 1986).

O espaçamento adequado é considerado uma importante decisão a ser tomada devido ao fato de o mesmo interferir fortemente no desenvolvimento e produtividade florestal. A competição intraespecífica por luz, espaço, água, nutrientes pode ser intensificada em razão de um espaçamento inadequado (LELES et al., 1998).

Muitas empresas florestais definem o espaçamento em virtude de uma maior facilidade nas operações de implantação, manutenção e exploração dos maciços florestais. Contudo, a escolha do espaçamento deve considerar a sua influência na taxa de crescimento, no valor e na qualidade da matéria prima, no manejo, na exploração florestal, nos custos de produção (BALLONI & SIMÕES, 1980; SIMÕES et al., 1981 e BALLONI, 1983); idade (BERNARDO, 1995); espécie, do sítio e do potencial genético do material reprodutivo que for utilizado.

A adoção de espaçamentos muito reduzidos pode acarretar na produção de toras de diâmetro reduzido e em muitas árvores dominadas comprometendo o volume final de madeira (VALE et al., 1982; LEITE et al., 1997).

Schoenau (1969 e 1973) constatou que, dentro de certos limites de espaçamento, a densidade do povoamento não afeta, significativamente, o crescimento em altura total média.

Assmann (1961) estabelece que em certos limites, a densidade de um povoamento não influencia o incremento em volume. Assim, em longo prazo, excluindo os extremos de densidade de um povoamento, a produção total é similar para diferentes níveis de densidade.

A relação que o diâmetro estabelece com o espaçamento é a de que o mesmo aumenta com a redução da densidade do povoamento. Nas árvores dominantes a altura é pouco afetada pelo espaçamento, já nas dominadas a influência no desenvolvimento da altura é bastante acentuada (Prodan et al., 1997; Scolforo, 2005).

Araújo et al. (2012) realizou ajustes e avaliou modelos tradicionais de relação hipsométrica em plantio homogêneo de *Eremanthus erithropappus* (DC.) MacLeish., sob diferentes espaçamentos iniciais. De maneira geral, foi observado que os modelos testados para os diferentes espaçamentos nas diferentes idades apresentaram ajuste significativo, conforme o valor da estatística F, com 5% de significância. Isso indica que a densidade do povoamento influencia a relação altura- diâmetro da candeia. Considerando a avaliação entre os tratamentos em uma mesma idade, não foram observados indicativos de melhoria dos ajustes em relação aos espaçamentos. O autor conclui que os modelos tradicionais de relação hipsométrica de Henricksen, Stofells, Assman, Trorey e Curtis são os mais eficientes para estimar a altura total da espécie candeia, em plantios homogêneos e com diferentes espaçamentos iniciais, no estado de Minas Gerais. Não sendo recomendado o uso de um modelo único modelo hipsométrico para condições diferentes de plantio.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Morro do Pilar, Minas Gerais, com coordenadas centrais -19°13'50"S e -43°22'40"W. A região enquadra-se em um clima subtropical úmido, com altitude média de 760 m, temperatura média anual de 20,8 °C e precipitação média anual de 1.520 mm (CARVALHO et al., 2008).

Essa área caracteriza-se por um candeial nativo com a espécie *Eremanthus incanus*, onde ocorreu um incêndio florestal em julho de 2002. Imediatamente após esse incêndio, foi alocado um experimento com delineamento em blocos ao acaso. Este foi composto por dois blocos e cinco tratamentos por bloco. Cada tratamento representa diferentes densidades de plantas remanescentes depois de efetuado o desbaste na regeneração natural, ou seja, o desbaste de plantas obedeceu ao critério do espaçamento pretendido para cada tratamento (Tabela 1). Os tratamentos foram implantados em parcelas de 20 x 20 m (400 m²), formando blocos de 20 x 120 m (2.400 m²).

Tabela 1. Tratamentos aplicados para a área experimental com *Eremanthus incanus* Less. no município do Morro do Pilar, MG.

Tratamento	Espaçamento	Plantas/parcela	Plantas/ha
1	1,0 x 1,5 m	267	6.667
2	1,5 x 1,5 m	178	4.444
3	2,0 x 1,5 m	133	3.333
4	2,5 x 1,5 m	107	2.667
5	3,0 x 1,5 m	89	2.222

3.2 Modelos hipsométricos

A literatura florestal apresenta uma grande quantidade de modelos de relação hipsométrica com as mais variadas formas. Dentre os modelos existentes, foram selecionados 4 para a análise deste estudo, os quais são apresentados na Tabela 2. Estes modelos são comumente utilizados em inventários florestais como nos trabalhos de Machado et al. (2008) para *Araucaria angustifolia* no Paraná; Caldeira et al. (2002) para *Acacia mearnsii* De Wild., na região Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul; Donadoni et al. (2010) para *Pinus tropicais* em Rondônia; Araújo et al. (2012) em povoamento de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) em Minas Gerais. Cada modelo foi ajustado, em cada tratamento, nas idades de 2,0; 5,3 e 8,1 anos, totalizando 60 equações ajustadas.

Tabela 2. Modelos hipsométricos ajustados para *E. incanus* em cada espaçamento.

Nº	Modelo	Denominação
1	$H = \beta_0 + \beta_1.DAP + e_i$	Linear simples
2	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + e_i$	Trorey
3	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{DAP} + e_i$	Assmann
4	$H - 1,3 = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1.DAP + \beta_2.DAP^2} + e_i$	Prodan

H = altura total (m); DAP = diâmetro, com casca, a 1,3 m do solo (cm); β_0, β_1 e β_2 = coeficientes de regressão; e, e_i =erro de estimativa.

3.3 Base de dados

Realizou-se um inventário contínuo anual, no qual, em cada parcela foram mensuradas a altura total (H) e a circunferência a 1,30 m do solo (CAP) das árvores. Para este trabalho utilizou-se os dados provenientes das idades 2,0; 5,3 e 8,1 anos. A variável altura (H) foi mensurada com vara hipsométrica e a variável circunferência (CAP) com fita métrica (Figuras 1 e 2). O diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) de cada árvore foi obtido por meio da relação CAP/π .

Para o ajuste dos modelos de relação hipsométrica foram utilizados apenas os pares altura-diâmetro de um dos blocos. Os dados do outro bloco foram utilizados para fazer a validação das equações ajustadas.



Figura 1. Mensuração das alturas totais de *E. incanus* usando vara hipsométrica em plantio experimental no município de Morro do Pilar, MG.



Figura 2. Mensuração dos CAPs de *E. incanus* usando fita métrica em plantio experimental no município de Morro do Pilar, MG.

3.4 Ajuste e seleção dos modelos de relação hipsométrica

O critério de avaliação e seleção da equação mais precisa para cada tratamento, em cada idade, foi feito com base nos valores do coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro

padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) e análise gráfica dos resíduos. As formulações utilizadas para tais estatísticas de precisão são apresentadas a seguir.

$$R^2_{aj.} = 1 - \left(\frac{SQ_{res}}{SQ_t} \right) \left(\frac{n-1}{n-p} \right)$$

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \hat{H}_i)^2}{n-p}} \therefore S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{H}} \cdot 100$$

Em que: $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa absoluto; $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa em porcentagem; H_i = altura observada (m); \hat{H}_i = altura estimada (m); \bar{H} = média aritmética das alturas observadas (m); n = número de dados observados; p = número de coeficientes do modelo; SQ_{res} = soma dos quadrados dos resíduos e SQ_t = soma dos quadrados totais.

Além disso, foi verificado o valor F da análise de variância da regressão e a significância dos coeficientes das equações por meio do teste t a 5 % de significância.

3.5 Teste de identidade de modelos

Nos casos em que um mesmo modelo foi selecionado para diferentes tratamentos, considerando a mesma idade de avaliação, foi aplicado o teste de identidade de modelos proposto por Graybill (2000). Ele verifica a possibilidade de uma única equação representar a relação hipsométrica para o agrupamento de dois ou mais tratamentos. Quando o valor da estatística F for maior ou igual ao seu valor tabelar, rejeita-se a hipótese H_0 com 5 % de significância, ou seja, não é possível utilizar uma única equação para estimar a relação hipsométrica em diferentes densidades. A Tabela 3 mostra o quadro de análise de variância para o teste F de identidade de modelos.

Tabela 3. Modelo do quadro de análise de variância para o teste de identidade dos modelos.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
Modelo completo	(T * p)	SQ _(completo)		
Modelo reduzido	P	SQ _(reduzido)		
Redução	(T-1) p	SQ _(completo) - SQ _(reduzido)	SQ _(diferença) / (T-1)p	QM _(diferença) / QM _(reduzido)
Resíduos	N - (T * p)	SQ _(total) - SQ _(completo)	SQ _(reduzido) / N - (T*p)	
Total	N	SQ _(total)	-	-

GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = teste F; T = número de classes; p = número de parâmetros do modelo reduzido; N = número de observações do modelo completo.

3.6 Validação das equações selecionadas

Após a seleção da melhor equação em cada densidade de plantio e em cada idade, testou-se a precisão destas em estimar a altura em função do diâmetro quando aplicada em um conjunto de dados diferente daqueles utilizados no ajuste. Para isso, aplicou-se o teste de Qui-quadrado com 5 % de significância. Esse teste consiste em validar a equação por meio da comparação dos valores estimados com os valores observados. Se o valor de Qui-quadrado calculado for superior ao valor tabelado, pode-se afirmar que os valores estimados são diferentes dos observados e a equação não pode ser aplicada para outras situações. Também, foi ajustada uma regressão linear simples para os valores estimados em função dos valores observados. Analisou-se os coeficientes da regressão linear simples, bem como seus respectivos valores de coeficiente de determinação. A formulação utilizada para realização do teste Qui-quadrado é apresentada a seguir.

$$\chi^2_{calculado} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2$$

Em que: $\chi^2_{calculado}$ = valor calculado de Qui-quadrado; y_i = valores observados de altura total; \hat{y}_i = valores estimados de altura total.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estatísticas de ajuste

As equações hipsométricas, para cada espaçamento em cada idade, foram significativas ($p < 0,05$), conforme os valores da estatística F (Tabelas 4, 5 e 6). Contudo, observam-se baixos valores de coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) que variaram de 0,000 para os modelos Linear Simples e Assmann no tratamento 3 aos 8,1 anos (Tabela 5), até 35,748 para o modelo de Assmann no tratamento 1 (Tabela 4) aos 5,3 anos. Isso demonstra que a relação dendrométrica não é forte entre a altura total e o diâmetro das árvores, corroborando resultados já encontrados com diversas espécies florestais em condições de plantio (CARDOSO et al., 1989; MACHADO et al., 1994; BARROS et al., 2002; CALDEIRA et al., 2003; BARTOSZECK et al., 2004; FIGUEIREDO FILHO et al., 2010).

De forma geral, é observado o aumento do coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) conforme se aumentam os espaçamentos. Este fato indica que quanto maior o espaçamento, maior é a relação hipsométrica, pois a relação entre os crescimentos em diâmetro e altura das plantas é maior. Este fato ocorre porque a variável diâmetro é bastante afetada pela alta concorrência entre plantas. Assim, quando a mesma é alta, a razão H/DAP é maior do que quando é mais moderada. Os menores valores dos coeficientes de determinação ajustados ocorrem nas idades de 8,1anos e, em seguida para a idade de 5,3 anos (Tabelas 4 e 5) para o tratamento de menor espaçamento (1,0 x 1,5 m). Isso indica que o crescimento, para estas condições de espaçamento, estabilizou por volta dos 2 anos de idade.

Entretanto, não se recomenda utilizar unicamente o coeficiente de determinação para avaliar o ajuste de um modelo. Com a avaliação do $S_{xy}\%$ foi verificado, em quase todas as situações, que o erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) apresentou valores abaixo de 10%. A única exceção ocorreu no tratamento 1, aos 2,0 anos de idade para o modelo de Prodan. Estes variaram de 6,109% para o modelo de Assmann no tratamento 1 (Tabela 4) aos 5,3 anos, até

os mencionados 10,404% para o modelo de Prodan no tratamento 1 aos 2,0 anos (Tabela 4). Resultados semelhantes foram observados por Zanon et al. (1996), em plantios de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Rio Grande do Sul; Bartoszeck et al. (2004), em bracingais da região metropolitana de Curitiba, PR; Donadoni et al. (2010), para *Pinus* tropicais em Rondônia; por Andrade & Leite (2011) em povoamentos de eucalipto e por Araújo et al. (2012) em povoamento de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) em Minas Gerais.

Considerando-se a avaliação entre tratamentos de mesma idade, pode-se observar que existe uma melhoria dos ajustes para os maiores espaçamentos (Tabelas 4, 5 e 6).

Para as idades de 5,3 e 8,1 anos no tratamento que corresponde ao menor espaçamento (tratamento 1) para todos os modelos ajustados, houve coeficientes dos modelos não significativos. Essa informação mostra mais uma vez que, para essa condição de espaçamento, o crescimento já estagnou para essas referidas idades.

O modelo de Assmann propiciou melhores estimativas da altura. Isto pode ser evidenciado pelos maiores valores de $R^2_{aj.}$ e menores valores de S_{xy} %. Ressalta-se, porém, que os coeficientes do modelo de Assmann não foram significativos na idade de 5,3 anos, no tratamento 1 e 4 e aos 8,1 anos no tratamento 1. Entretanto, nenhum outro modelo, para estes casos, apresentaram coeficientes significativos (Tabelas 4 e 5). Aos 5,3 anos de idade o ajuste da relação hipsométrica também não foi significativo ($p < 0,05$) para o tratamento 1, no modelo de Assmann (Tabela 5).

Tabela 4. Parâmetros estatísticos dos modelos de relação hipsométrica ajustados para a idade 2,0 anos para *E. incanus* em Minas Gerais.

Idade 2,0 anos						
Modelo	β_0	β_1	β_2	S_{xy} %	$R^2_{aj.}$ (%)	F
Tratamento 1						
Linear Simples	2,0701*	0,2056*		7,505	8,665	7,83*
Trorey	3,7867 ^{ns}	-0,7735 ^{ns}	0,1381 ^{ns}	7,553	7,909	4,09*
Assmann	3,5017*	-2,4667*		7,830	8,231	7,46*
Prodan	-8,9729 ^{ns}	6,2901 ^{ns}	-0,3874 ^{ns}	10,404	7,637	1153,98
Tratamento 2						
Linear Simples	1,8007*	0,2629*		7,077	22,626	24,98*
Trorey	3,9254*	-0,8853 ^{ns}	0,1527 ^{ns}	7,012	24,035	13,97*
Assmann	3,6894*	-3,3505*		7,201	19,891	21,36*
Prodan	-16,2382*	10,4350*	-0,9383 ^{ns}	7,035	24,504	1554,63
Tratamento 3						
Linear Simples	1,6286*	0,3143*		7,030	33,205	50,21*
Trorey	0,1992 ^{ns}	1,0657*	0,0971 ^{ns}	6,932	34,382	26,94*
Assmann	4,0258*	-4,5009*		6,930	34,595	53,37*
Prodan	7,2711 ^{ns}	-1,8833 ^{ns}	0,6390 ^{ns}	7,001	34,180	2083,55
Tratamento 4						
Linear Simples	1,9597*	0,2204*		6,680	21,753	20,74*
Trorey	2,6921*	-0,1692 ^{ns}	0,0510 ^{ns}	6,710	21,029	10,45*
Assmann	3,5855*	-2,9555*		6,750	20,074	18,83*
Prodan	-9,0610 ^{ns}	6,2492 ^{ns}	-0,3414 ^{ns}	6,740	21,498	1513,02

(Continua)

(Tabela 4. Continuação)

Tratamento 5						
Linear Simples	1,6764*	0,2677*		7,580	32,430	32,43*
Trorey	0,9127 ^{ns}	0,6588 ^{ns}	-0,0490 ^{ns}	7,620	34,432	16,23*
Assmann	3,7893*	-4,0780*		7,540	35,748	33,27*
Prodan	4,5688 ^{ns}	-0,3383 ^{ns}	0,4807 ^{ns}	7,680	34,530	921,11

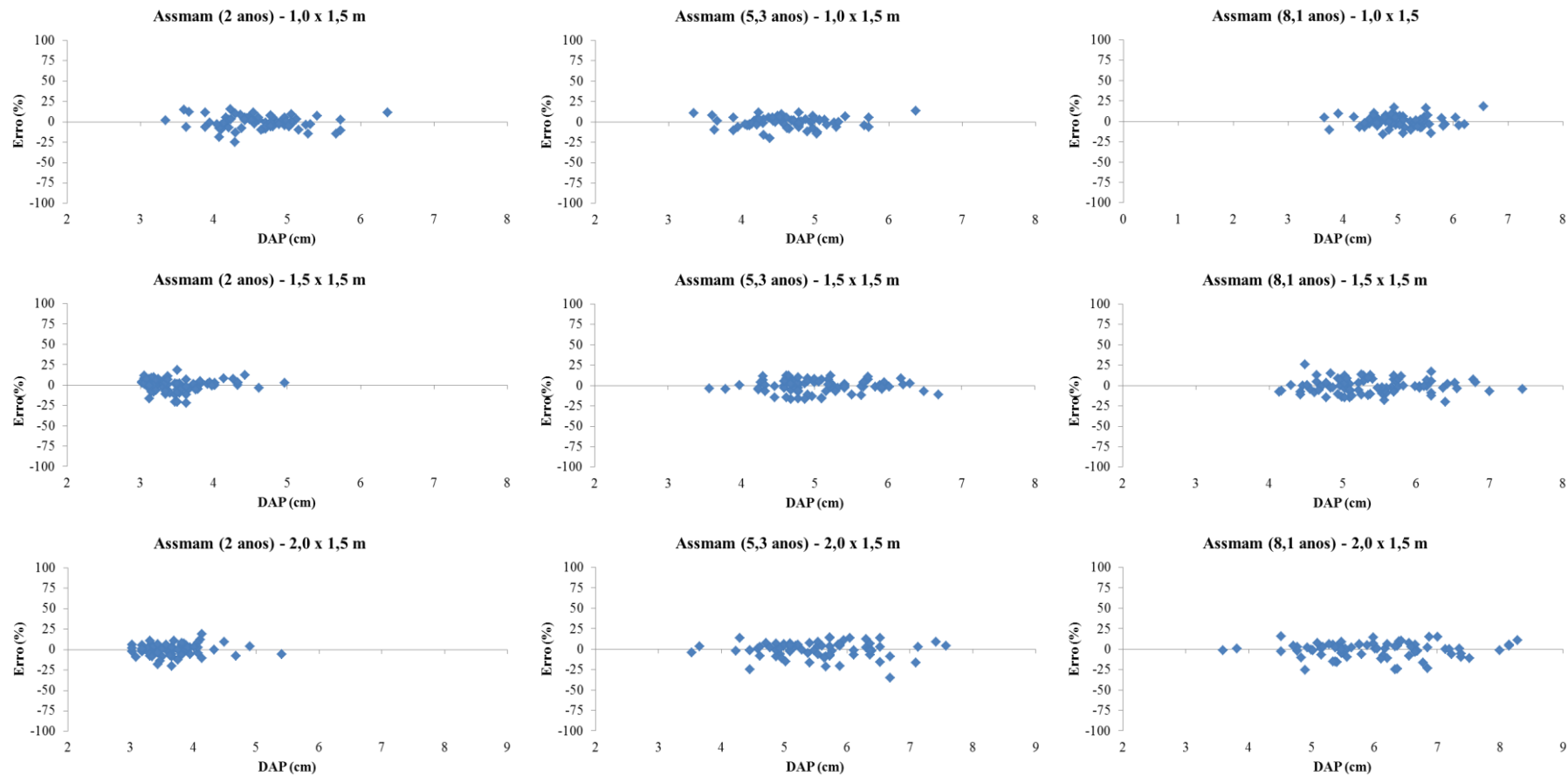
Tabela 5. Parâmetros estatísticos dos modelos de relação hipsométrica ajustados para a idade 5,3 anos para *E. incanus* em Minas Gerais.

Idade 5,3 anos						
Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{xy}\%$	$R^2_{aj.}\%$	F
Tratamento 1						
Linear Simples	3,2144*	0,0488 ^{ns}		6,122	0,000	0,97*
Trorey	5,5746*	-0,9653 ^{ns}	0,1075 ^{ns}	6,166	3,634	2,36*
Assmann	3,5863*	-0,6670 ^{ns}		6,109	0,000	0,41 ^{ns}
Prodan	-11,0185*	5,1177*	-0,1177 ^{ns}	8,357	3,277	2296,02
Tratamento 2						
Linear Simples	2,5216*	0,1811*		7,444	15,266	15,77*
Trorey	0,3306 ^{ns}	1,0420 ^{ns}	-0,0833 ^{ns}	7,387	16,564	9,14*
Assmann	4,3969*	-4,7809*		7,375	16,832	17,60*
Prodan	7,8078 ^{ns}	-2,0891 ^{ns}	0,5695 ^{ns}	7,445	16,307	1961,92
Tratamento 3						
Linear Simples	2,5034*	0,2098*		9,228	17,895	22,58*
Trorey	0,6156 ^{ns}	0,9009*	-0,0621 ^{ns}	9,207	19,227	12,78*
Assmann	4,8217*	-6,2807*		9,131	20,130	25,95*
Prodan	7,9109 ^{ns}	-1,8399 ^{ns}	0,4902*	9,266	19,720	1711,12
Tratamento 4						
Linear Simples	3,0824*	0,0954 ^{ns}		7,520	2,786	3,03*
Trorey	5,4626*	-0,7989 ^{ns}	0,0830 ^{ns}	7,490	3,552	2,31*
Assmann	4,0390*	-2,3612 ^{ns}		7,560	1,925	2,39*
Prodan	-13,8137 ^{ns}	5,8001 ^{ns}	-0,1604 ^{ns}	7,560	3,132	1731,95
Tratamento 5						
Linear Simples	2,4923*	0,1757*		9,060	20,093	15,58*
Trorey	-0,9159 ^{ns}	1,2881*	-0,0886*	8,770	25,128	10,73*
Assmann	4,7406*	-7,0058*		8,830	24,078	19,39*
Prodan	19,2674 ^{ns}	-5,1177 ^{ns}	0,7483*	8,840	25,260	1038,32

Tabela 6. Parâmetros estatísticos dos modelos de relação hipsométrica ajustados para a idade 8,1 anos para *E. incanus* em Minas Gerais.

Idade 8,1 anos						
Modelo	β_0	β_1	β_2	S_{xy}%	R²_{aj.}%	F
Tratamento 1						
Linear Simples	3,3651*	0,0760 ^{ns}		6,186	1,050	1,76*
Trorey	5,9155*	-0,9418 ^{ns}	0,1004 ^{ns}	6,311	2,615	1,97*
Assmann	4,0624*	-1,5672 ^{ns}		6,170	0,356	1,26*
Prodan	-6,6258 ^{ns}	3,0355 ^{ns}	0,0696 ^{ns}	8,265	0,528	2052,11
Tratamento 2						
Linear Simples	2,6176*	0,2203*		9,285	14,744	15,18*
Trorey	0,3792 ^{ns}	1,0351 ^{ns}	-0,0730 ^{ns}	9,267	15,074	8,28*
Assmann	5,0739*	-6,7358*		9,225	15,854	16,45*
Prodan	7,6890 ^{ns}	-1,7969 ^{ns}	0,4623 ^{ns}	9,326	15,076	1403,94
Tratamento3						
Linear Simples	2,8358*	0,2216*		8,860	23,209	30,92*
Trorey	1,5173 ^{ns}	0,6684 ^{ns}	-0,0370 ^{ns}	8,947	23,658	16,34*
Assmann	5,4499*	-7,5213*		8,859	25,197	34,35*
Prodan	3,7597 ^{ns}	-0,3760 ^{ns}	0,3027*	9,016	24,346	2103,52
Tratamento4						
Linear Simples	3,0571*	0,1365*		7,990	6,073	5,59*
Trorey	3,9340 ^{ns}	-0,1716 ^{ns}	0,0267 ^{ns}	8,040	4,950	2,85*
Assmann	4,5775*	-4,1829*		8,010	5,589	5,20*
Prodan	-5,9748 ^{ns}	2,8199 ^{ns}	0,0849 ^{ns}	8,100	4,797	1620,11
Tratamento 5						
Linear Simples	2,7006*	0,1800*		9,430	21,891	17,25*
Trorey	-2,0875 ^{ns}	1,6329*	-0,1072*	8,620	34,728	16,43*
Assmann	5,2253*	-8,5773*		9,020	28,677	24,32*
Prodan	23,4004*	-6,0518*	0,7491*	8,810	33,157	1153,79

Por meio da análise gráfica dos resíduos, é possível inferir que o modelo de Assmann propiciou estimativas mais precisas da variável altura total. Verifica-se que a distribuição é homogênea e sem tendência para todos os espaçamentos nas idades de 2; 5,3 e 8,1 anos, conforme apresentado na Figura 3.



(Continua)

(Figura 3. Continuação)

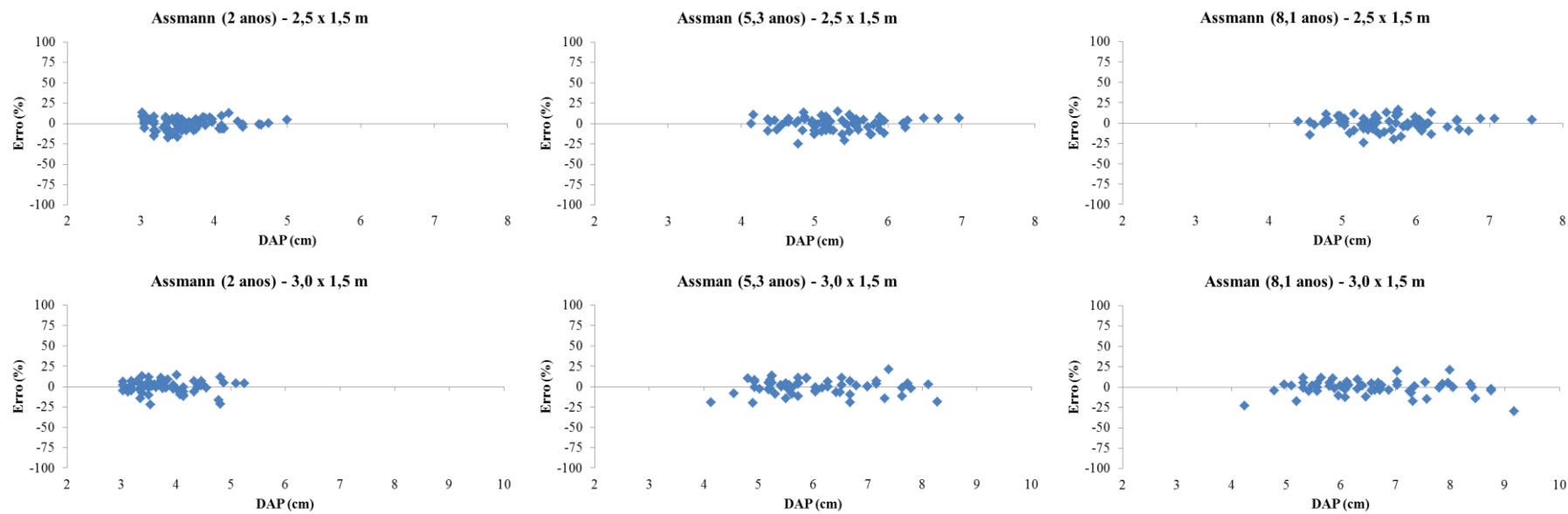


Figura 3. Distribuição gráfica dos resíduos para as equações provenientes do modelo de relação hipsométrica de Assmann, em diferentes idades e espaçamentos, para *E. incanus* em Minas Gerais.

4.2 Teste de identidade entre modelos

Por apresentar maior precisão na estimativa da variável altura em função do diâmetro, as equações provenientes do modelo de Assmann foram selecionadas para todos os espaçamentos (tratamentos) em todas as idades. Surge então, a necessidade de avaliar a possibilidade de utilização de uma única equação, proveniente deste modelo, para estimar as alturas em todos os espaçamentos. Para verificar tal possibilidade, foi aplicado o teste de identidade de modelos, cujos resultados estão apresentados na Tabela 7. Caso seja possível, pode-se agrupar os dados de todos os tratamentos e ajustar uma equação única para retratar a relação hipsométrica numa referida idade.

Tabela 7. Análise de variância do teste de identidade para a idade 2,0 anos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Ft
2,0 anos					
Completo	10	2919,2229			
Reduzido	2	2918,0486			
Diferença	8	1,1743	0,1468	3,8261	1,9630
Resíduo	377	14,4638	0,0384		
Total	387	2933,6867			
5,3 anos					
Completo	10	4867,9599			
Reduzido	2	4864,9238			
Diferença	8	3,0361	0,3795	4,7300	1,9630
Resíduo	377	30,2492	0,0802		
Total	387	4898,2091			
8,1 anos					
Completo	10	5915,3365			
Reduzido	2	5907,5939			
Diferença	8	7,7426	0,9678	8,8313	1,9630
Resíduo	377	41,3156	0,1096		
Total	387	5956,6521			

FV= fonte de variação; GL= grau de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; Fc= valor do teste f calculado; Ft= valor do teste f tabelado

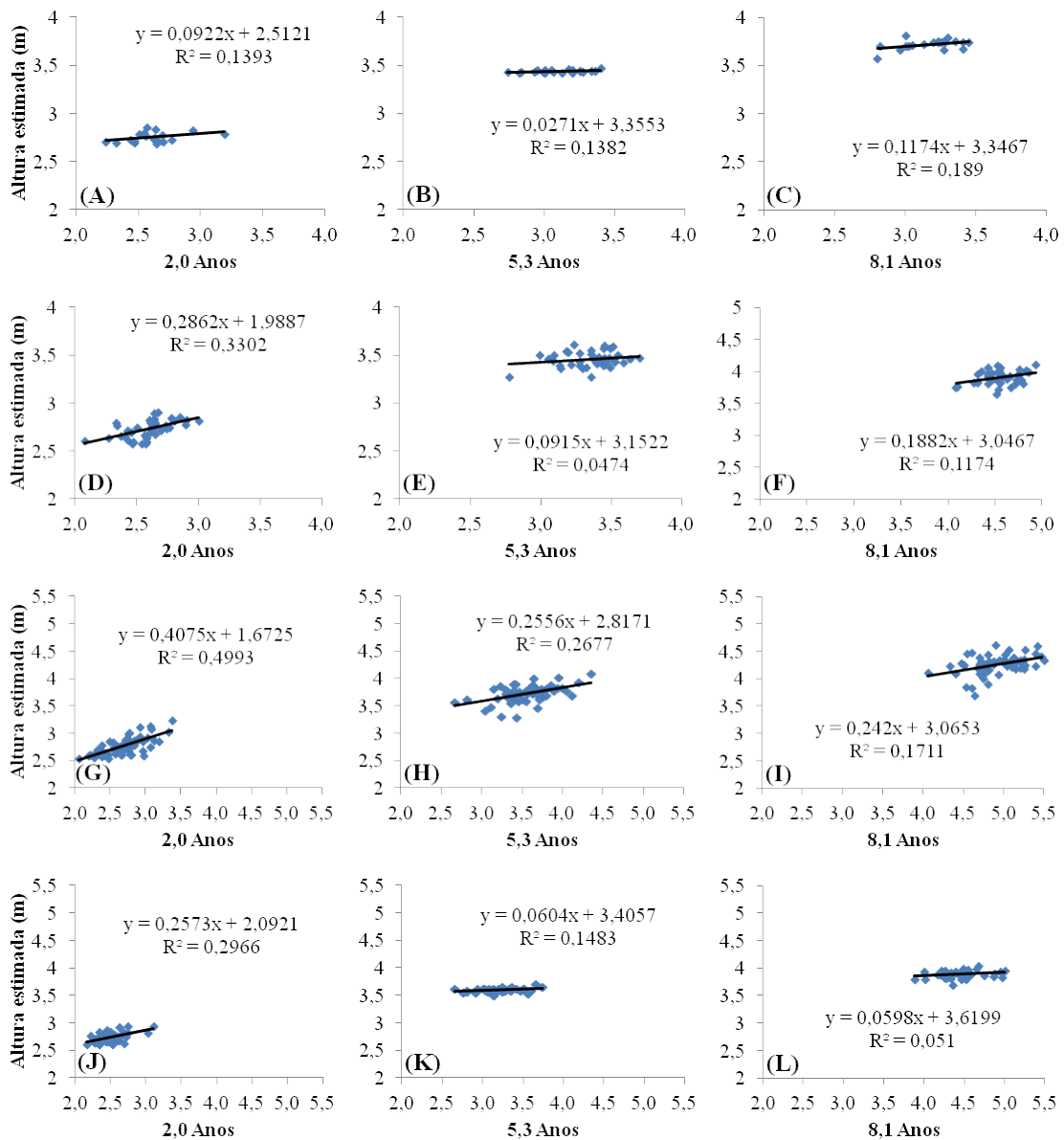
Conforme exposto na tabela 7 de análise de variância, os valores de F calculado, a 5% de probabilidade, são superiores aos valores de F tabelado para todos os casos. Ou seja, rejeita-se a hipótese H_0 . Portanto, não é possível uma única equação para retratar a relação hipsométrica de todos os tratamentos considerando-se a mesma idade. Os mesmos resultados foram obtidos por Araújo et al. (2012) para a espécie *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish. Nessa ocasião testou-se os modelos de Stofells e Henricksen.

4.3 Validação das equações selecionadas

A Figura 4 apresenta a relação das alturas estimadas em função das observadas para as mesmas densidades de plantio e idades num conjunto de dados diferente daquele utilizado no ajuste. Para uma boa precisão na estimativa das alturas, utilizando-se as equações dos ajustes, é esperado que a linha de tendência dos gráficos tenha um ângulo de inclinação próximo a 45°

do eixo cartesiano. Entretanto, isso não é verificado para nenhum dos casos, pois nesse caso os coeficientes angulares das equações seriam próximos do valor 1 e os coeficientes lineares da equação seriam próximos do valor 0. Esse fato indica que os valores estimados das alturas estão sendo subestimados. Os valores do coeficiente de determinação apresentaram valores próximos de zero, o que caracteriza baixa precisão na estimativa.

Observa-se que quanto menor o espaçamento, pior foi a validação das equações. Este fato ocorre devido ao espaçamento interferir grandemente na relação altura/diâmetro a qual interfere na validação. Quanto maior a densidade de plantio, maior será a concorrência entre as plantas e mais alta será a razão altura/diâmetro. Ou seja, estas variáveis terão menor relação entre elas. Com a análise dos gráficos também pode ser observado que com o decorrer da idade, para um mesmo espaçamento de plantio existe uma menor relação entre as alturas estimadas para com as observadas. Este fato pode ser atribuído a estabilização do crescimento com o decorrer da idade que diminui a razão entre altura e diâmetro.



(Continua)

(Figura 4. Continuação)

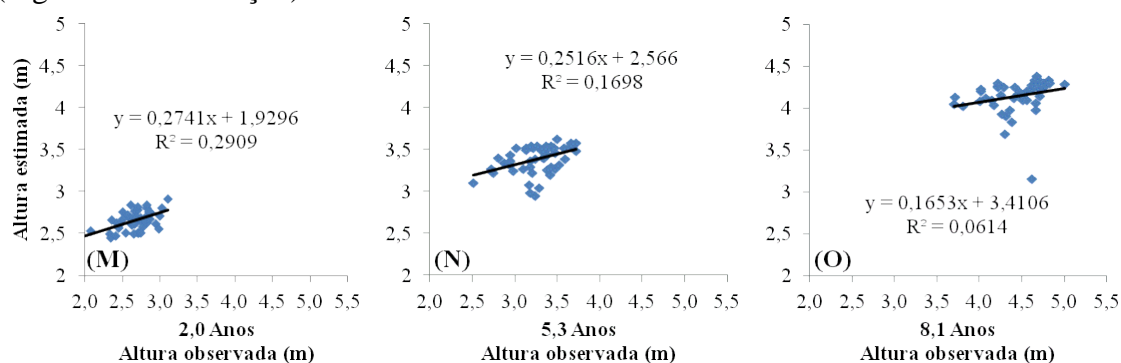


Figura 4. Validação do modelo selecionado para o bloco 2, onde, Tratamento 1 (1,0 x 1,5 m) (A a C); Tratamento 2 (1,5 x 1,5 m) (D a F); Tratamento 3 (2,0 x 1,5 m) (G a I); Tratamento 4 (2,5 x 1,5 m) (J a L); Tratamento 5 (3,0 x 1,5 m) (M a O).

A Tabela 8 mostra o resultado do teste Qui-quadrado com 5 % de significância. A validação das equações foi feita por meio da comparação dos valores estimados com os valores observados. Os valores de Qui-quadrado calculados foram superiores aos valores de Qui-quadrado tabelados em todos os tratamentos para as idades de 5,3 e 8,1 anos. Pode-se afirmar para esses casos que os valores estimados são diferentes dos observados e a equação não pode ser aplicada para outras situações. Entretanto, para a idade de 2,0 anos, na maioria dos tratamentos o teste não foi significativo a 5% de significância. Isso demonstra que a variável dependente foi bem estimada quando a equação ajustada foi utilizada para a referida idade. Isso se deve ao fato de que nessa idade o espaçamento ainda não tenha degenerado a relação hipsométrica, pois se trata de uma fase jovem de crescimento da espécie.

Tabela 8. Teste Qui-quadrado para os diferentes tratamentos e idades a 5% de significância.

Idade	Tratamento	X ² calculado	X ² tabelado	Significância
2,0	1	49,3433	30,1435	S
5,3	1	79,7560	30,1435	S
8,1	1	80,8554	30,1435	S
2,0	2	47,9690	53,3835	NS
5,3	2	110,0002	53,3835	S
8,1	2	282,5044	53,3835	S
2,0	3	59,0733	72,1532	NS
5,3	3	122,0500	72,1532	S
8,1	3	317,8269	72,1532	S
2,0	4	43,3572	53,3835	NS
5,3	4	102,2965	53,3835	S
8,1	4	279,7088	53,3835	S
2,0	5	56,2362	64,0011	NS
5,3	5	101,0934	64,0011	S
8,1	5	255,8166	64,0011	S

4.4 Dinâmica da Relação Hipsométrica

Após verificar a melhor adequação do modelo de Assmann, estimou-se a relação hipsométrica para cada espaçamento, nas diferentes idades (Figura 5). Observa-se que, ao longo do tempo, a curva hipsométrica reduz a sua inclinação, devido à estabilização do crescimento em altura e diâmetro. As curvas hipsométricas também deslocam-se para a direita, caracterizando o crescimento em diâmetro. E sobem de patamar, caracterizando o crescimento em altura. Além disso, há redução do intervalo entre elas a partir da idade de 5,3 anos, mostrando que o crescimento é mais acelerado nos primeiros anos de desenvolvimento e se reduz a partir da referida idade. Tais resultados corroboram com os obtidos por Araújo et al. (2012) estudando o comportamento hipsométrico de outra espécie de candeia. Segundo eles, as curvas hipsométricas estimadas reduzem a inclinação com a idade, deslocam-se para a direita e sobem de patamar, com a redução do intervalo entre elas em espaçamentos menores.

No tratamento de menor espaçamento (Tratamento 1) observa-se que o crescimento tanto em diâmetro como em altura já entrou em processo de estagnação à partir de 5,3 anos de avaliação. Araújo et al. (2012) observou esse mesmo comportamento para a espécie *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish. Por outro lado, para os maiores espaçamentos, as curvas de crescimento ainda mostram-se dinâmicas, indicando que nos menores espaçamentos o efeito da competição é relevante na redução de crescimento.

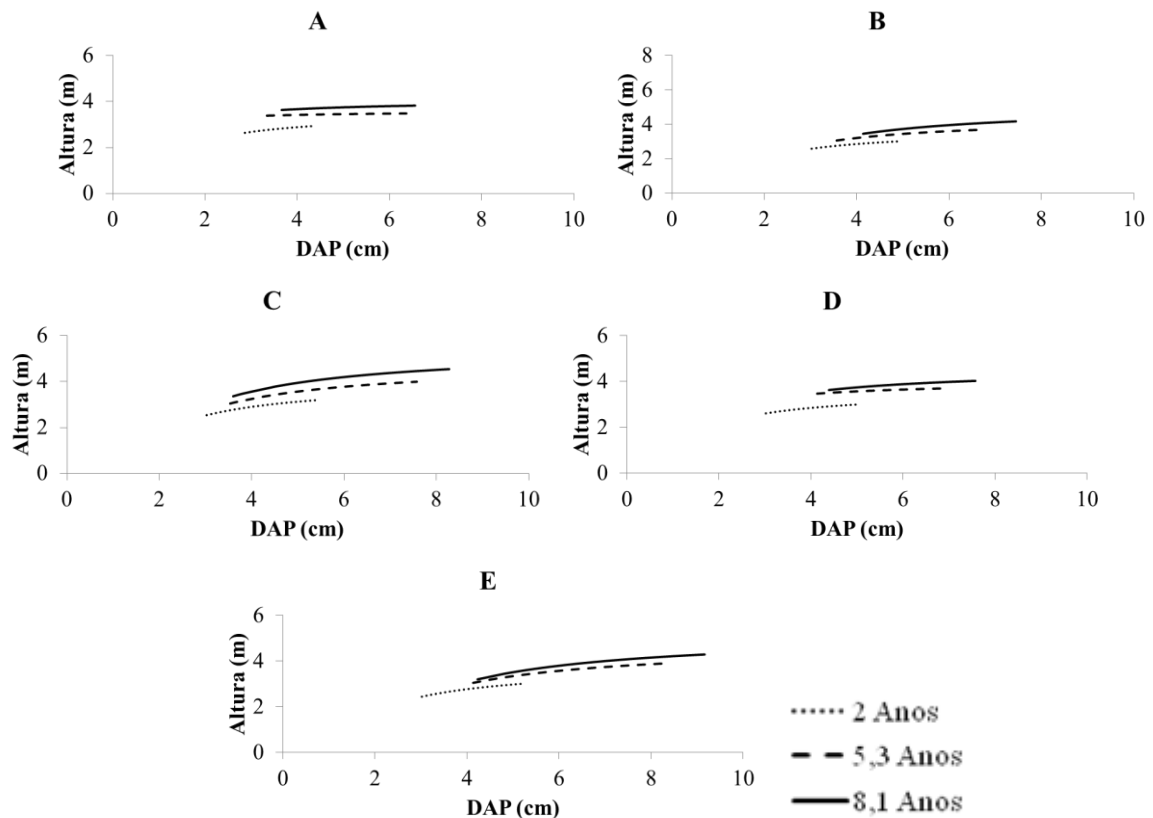


Figura 5. Curvas hipsométricas para *E. incanus*, com os diferentes espaçamentos, para o modelo de Assmann, em Minas Gerais. Onde: Tratamento 1 (1,0 x 1,5 m) (A); Tratamento 2 (1,5 x 1,5 m) (B); Tratamento 3 (2,0 x 1,5 m) (C); Tratamento 4 (2,5 x 1,5 m) (D); Tratamento 5 (3,0 x 1,5 m) (E).

5 CONCLUSÕES

As equações provenientes do modelo de Assmann propiciam estimativas mais precisas da variável altura total de *Eremanthus incanus* Less. em função dos diâmetros em diferentes densidades de plantas.

Em espaçamentos muito adensados, a relação altura-diâmetro é praticamente inexistente a partir dos 5,3 anos de idade, demonstrando a estabilização do crescimento e, portanto, a inaplicabilidade da relação hipsométrica a partir de então. Entretanto, para plantios de menor densidade, a utilização do modelo de Assmann pode oferecer boas estimativas da variável altura em condições similares das realizadas neste estudo.

O ajuste e utilização de uma única equação para diferentes densidades em uma mesma idade não é possível, conforme demonstra o teste de identidade de modelos. Além disso, não é possível aplicar uma equação hipsométrica para um conjunto de dados diferente dos utilizados no ajuste, conforme comprova o teste de validação.

As curvas hipsométricas mostraram-se dinâmicas ao longo da idade, alcançando maiores patamares e maior deslocamento e inclinação em condições de menor densidade de plantas. Isso implica que em espaçamentos mais abertos as plantas de candeia estabilizam seu crescimento em idades mais avançadas, além de alcançarem maiores dimensões e, por isso, pode-se recomendar o espaçamento 3,0 x 1,5 m para plantios com essa espécie.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, V. C. L. de; LEITE, H. G. Hipsometric relationship modeling using data sampled in tree scaling and inventory plots. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 157-164, 2011.
- ANDRADE, V. C. L.; MARTINS, S. V.; CALEGARIO, N.; CHICHORRO, J. F. Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do volume de árvores em um fragmento de Mata Atlântica. **Cientia Forestalis**. n. 70, p. 31-37, 2006.
- ARABATZIS, A.; BURKHART, H. An evaluation of sampling methods and model form for estimating height-diameter relationships in Loblolly pine plantations. **Forest science**, v. 38, n. 1, p. 192-198, 1992.
- ARAÚJO, E. J. G.; PELLISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, R. J. S.; NETTO, S. P.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 32, n. 71, p. 257-268, jul./set. 2012.
- ASSMANN, E. **Waldetragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgesellschaft, 1961. 435 p.
- BALLONI, E. A. Influência do espaçamento de plantio na produtividade florestal. **Silvicultura**, v. 8, n. 31, p. 558-592, 1983.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **O espaçamento do plantio e suas implicações silviculturais**. Piracicaba: IPEF, 1980. 16 p. (Série Técnica, 3).
- BAPTISTA, J. C.; AMARAL, D. R.; VILAS-BÔAS, C. H.; RESENDE, M. L.V.; OLIVEIRA, D. F. **Efeito de extratos vegetais na germinação de esporos de *Crinipellis perniciosa* (stahel) Singer**. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Fitopatologia, v. 36. 2003, Uberlândia.: SBF., p. S343, 2003. **Resumo...**
- BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. **Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos**. Boletim de Pesquisa Florestal, n. 45, p. 3-28, 2002.
- BARTOSZECK, A. C. de P. e S.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da Região metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 517-533, 2004.
- BATISTA, J. F. L.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de florestas. **Scientia Forestalis**, n. 60, p. 149-163, 2001.
- BERNARDO, A. L. **Crescimento e Eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 102p. Dissertação (Mestrado em ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.

- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Acacia mearnsii* com Diferentes Idades. *Revista Acadêmica: Pesquisa Florestal Brasileira*, n. 45, p. 57-68, 2002.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na Região Oeste do Estado do Paraná. *Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 1, n. 2, p. 79-88, 2003.
- CAMOLESI, J. F.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; JÚNIOR, F. W. A.; RUFINI, A. L.; MELLO, J. M. Ajuste, seleção e teste de identidade de modelo para volume e número de moirões da candeia (*Eremanthus erythropappus*). *Cerne*, v. 16, n. 4, p. 431-441, 2010.
- CARDOSO, D. J.; MACHADO, S. A.; ROSOT, N. C.; EMERENCIANO, D. B. Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do Estado do Paraná. *Floresta*, v. 19, n. 19, p. 96-115, 1989.
- CARVALHO, L. G.; OLIVEIRA, M. S.; ALVEAS, M. C.; VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G. C.; NETO, P. C.; DANTAS, A. A. A. Clima. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. **Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico**. Lavras: UFLA, 2008. p. 89-101.
- CURTIS, R. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. *Forest science*, v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.
- DI STASI, L. C. **Plantas medicinais: arte e ciência: um guia de estudo interdisciplinar**. São Paulo: FUNEP, p. 231, 1996.
- DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHER, R.; ROSA, G. D. da. Relação hipsométrica para *Pinus caribaeavar. hondurensise Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. *Ciência Rural*, v. 40, n. 12, p. 2499-2504, 2010.
- FANG, Z.; BAILEY, R. Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. *Forest ecology and management*, v. 110, p. 315-327, 1998.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; KOHLER, S. V.; VERUSSA, A. A.; CHIQUETTO, A. L. Evolution of the hypsometric relationship in *Araucaria angustifolia* plantations in the mid-south region of Paraná State. *Cerne*, v. 16, n. 3, p. 347-357, 2010.
- GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury, 2000. 704 p.
- HÖKKÄ, H. Height-diameter curves with random intercepts and slopes for trees growing on drained peatlands. *Forest ecology and management*, v. 97, p. 63-72, 1997.
- HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B. de; CUNHA, U. S. da. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: UFPR, 2008. 164 p.
- IMAÑA ENCINAS, J.; SILVA, G. F. da; TICCHETTI, I. **Variáveis dendrométricas**. Brasília. DF: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2002. 102 p.
- KNOWE, S.; FOSTER, G. Height-age and height-diameter relationships for monocultures and mixtures of eastern cottonwood clones. *Forest ecology and management*, v. 106, p. 115-123, 1998.

- LEITE, F. P., BARROS, N. D., NOVAIS, R. D., SANS, L. M. A., & FABRES, A. S. (1997). Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Árvore**, 21, 313-321.
- LELES, P. S. S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.
- MACHADO, S. A.; BALLEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JÚNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito a idade para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 05-12, 1994.
- MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, 2008.
- MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.. Caracterização anatômica, química e física da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* DC. MacLeish). **Cerne**, v. 16, n. 451-456, 2010. **Resumo...**
- OLIVEIRA, G. B.; CHARTONE-SOUZA, E.; NASCIMENTO, R. M. A.; BRANDÃO, M. G. I. Trabalho apresentado no Simpósio de Plantas Medicinais do Brasil, 26, Manaus. INPA, p. 107, 2004.
- OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; LUCIA, R. M. D.; JÚNIOR, P. S. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. Sociedade de Investigações Florestais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.
- OMULE, S.; MACDONALD, R. Simultaneous curve fitting for repeated height-diameter measurements. **Canadian journal of forest research**, v. 21, p. 1418-1422, 1991.
- PATIÑO-VALERA, F. **Variación genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com espaçamento**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 986. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986.
- PEDRALLI, G. Estrutura diamétrica, vertical e análise do crescimento da candeia. (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip.) na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto . MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 301-306, 1997.
- PÉREZ, J. F. M.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; BORGES, L. F. R.; CAMOLESI, J. F. Sistema de manejo para a candeia – *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish – A opção do sistema de corte seletivo. **Cerne**, v. 10, n. 2, p. 257-273, 2004.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José: IICA, 1997. 586 p.
- RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M. de; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 22-31, 2010.

- SALUSTIANO, M. E.; FILHO, A. C. F.; POZZA, E. A.; CASTRO, H. A. Extratos de candeia (*Eremanthus erythropappus* (D.C.) na inibição in vitro de *Cylindrocladium scoparium* de quatro espécies de ferrugens. **Cerne**, v. 12, n. 2, p. 189-193, 2006. Nota Técnica/*Technical Note*
- SANQUETTA, C.R. et al. **Inventários florestais: planejamento e execução**. Curitiba: Multi-Graphi. 2006. 270 p.
- SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para a produção de painéis cimento- madeira. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 241-250, 2008.
- SCHOENAU, A. P. G. A site evolution study in Black Wattle (*Acacia mearnsii* De Wild). Ann. Univ. von Stellenbosh, v. 44, n. 2A, p. 79-214, 1969.---. Height growth and site index curves for *Acacia mearnsii* on the Uasingishu Plateau of Kenya. **Commonwealth Forestry Review**, v. 52, n. 153, p. 245-253, 1973.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: parte I: modelos de regressão linear e não linear; parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005, 352 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; LOEUILLE, B. F. P.; ALTOÉ, T. F. **O Manejo Sustentável da Candeia**. Capítulo 1: Caracterização da Candeia. Lavras: UFLA/FAEPE 2002. 20 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; DAVIDE, A. C.; MELLO, J. M.; ACERBI JUNIOR, F. W. **Manejo sustentável da candeia *Eremanthus erythropappus* e *Eremanthus incanus***. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 350 p. Relatório técnico científico.
- SCOLFORO, J. R. S.; PÉREZ, J. F. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; CAMOLESI, J. F.; BORGES, L. F. R.; JÚNIOR, F. W. A. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). **Cerne**, v. 10 n. 1, 87-102, 2004.
- SCOLFORO, JRS. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras. UFLA / FAEPE, 2006.
- SIMÕES, J. W.; BRANDI, T. M.; LEITE, N. B. **Formação, manejo e exploração de florestas de rápido crescimento**. Brasília: IBDF, 1981. 131 p.
- SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, M. L. R.; SILVA, E. F.; COELHO, D. J. S. Caracterização fitossociológica em áreas de ocorrência natural de candeia (*Eremanthus erythropappus* (D.C.) MacLeish). **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 667-677, 2007.
- VALE, A. B.; PAIVA, H. N. & FELFILI, J. M. **Influência do espaçamento e do sítio na produção florestal**. Boletim Técnico SIF, n. 4, 1982. 20 p. (Boletim Técnico 4).
- ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E. M.; COELHO, M. C. B. Funções para descrever a relação altura diâmetro de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Rural**, v. 26, n. 1, p. 87-90, 1996.
- ZHANG, S.; BURKHART, H.; AMATEIS, R. The influence of thinning on tree height and diameter relationships in Loblolly pine plantations. **Southern journal of applied forestry**, v. 21, n. 4, p. 199-205, 1997.