



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FELIPE MARTINI SANTOS

**MODELAGEM DA FITOMASSA AÉREA DE *Eucalyptus urograndis* E
Acacia mangium Willd. EM PLANTIOS PUROS E CONSORCIADOS**

Prof. Dr. FABIANO DE CARVALHO BALIEIRO

Orientador

Seropédica – RJ
Junho - 2012



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FELIPE MARTINI SANTOS

**MODELAGEM DA FITOMASSA AÉREA DE *Eucalyptus urograndis* E
Acacia mangium Willd. EM PLANTIOS PUROS E CONSORCIADOS**

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

Prof^o Dr. Fabiano de Carvalho Balieiro
Orientador

Seropédica-RJ
Junho - 2012

MODELAGEM DA FITOMASSA AÉREA DE *Eucalyptus urograndis* E *Acacia mangium* Willd. EM PLANTIOS PUROS E CONSORCIADOS

Comissão examinadora:

Monografia aprovada em 11 de Junho de 2012.

Prof.Dr. Fabiano de Carvalho Balieiro

Embrapa Solos/CNPS

Orientador

Prof.Dr. Alexander Silva de Resende

Embrapa Agrobiologia/CNPAB

Membro

Prof.Dr. Eduardo Vinícius da Silva

UFRRJ/IF/DS

Membro

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e avôs, Alceu Floriano
dos Santos (*in memorian*) e José
Massimino Martini (*in memorian*),
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e sabedoria para que eu vencesse todos os obstáculos e, no fim, alcançar mais essa conquista.

Aos meus pais, José Hugo Ferreira Santos e Josiane Maria Martini Santos, e ao meu irmão, Bruno Martini, por todo o amor, dedicação e os votos de confiança no meu potencial.

À minha madrinha, Maria de Lourdes Ferreira Santos, por todo o carinho, preocupação e dedicação, desde os primeiros dias da minha vida.

Aos meus queridos tios Antônio de Pádua Ferreira, Miguel Ângelo Martini e Rosane Lima Martini; e avó Maria de Lourdes Lima Martini, pelo apoio constante em cada etapa da vida enfrentada e vencida.

A toda minha família, pela força e inspiração em quem eu buscava nos momentos de maior dificuldade.

À minha namorada, Michelle Souza, e toda a sua família pelo amor, companheirismo, acolhimento e respeito durante todos os dias em que tive a felicidade e o privilégio de conviver.

A UFRRJ, pela enorme contribuição para minha formação acadêmica e pessoal.

Ao corpo docente da Engenharia Florestal e funcionários do Instituto de Florestas.

A FAPERJ pela bolsa de iniciação científica concedida.

Ao meu orientador Fabiano de Carvalho Balieiro, pelos ensinamentos, experiências e momentos únicos compartilhados; pelo carisma, amizade e respeito durante toda a minha caminhada na iniciação científica.

Aos membros da comissão examinadora, Dr. Alexander Silva de Resende e Dr. Eduardo Vinícius da Silva pela participação e contribuições valiosas, fornecidas para a melhor construção e apresentação deste trabalho.

A Embrapa Agrobiologia e os funcionários pela oportunidade de aprender a cada dia mais e pela estrutura de trabalho oferecida.

Aos funcionários do Laboratório de Leguminosas, Adriana Santos do Nascimento, Carlos Fernando da Cunha e Telmo Félix, pelas imensas ajudas em diferentes etapas da minha iniciação científica, pelo enorme conhecimento compartilhado, pelo convívio, pela amizade e, sobretudo, pelo bom humor que cativa a todos.

A todos os estudantes do Laboratório de Leguminosas pela convivência, pelas informações e experiências de vida compartilhadas e, principalmente, pela amizade.

Ao pesquisador Guilherme Montandon Chaer pela grande ajuda para que este trabalho tenha sido realizado. Agradeço também pela amizade e por todos os ensinamentos que levarei para o resto da minha vida profissional.

Ao Francy Junio Gonçalves Lisboa e Anderson Ribeiro Diniz, pela contribuição para que este estudo fosse realizado e pela amizade cultivada durante os anos de graduação.

E por último, mas nunca menos importante, agradeço a TODOS os amigos, e agora Engenheiros Florestais, da turma 2007-I pelos inesquecíveis momentos compartilhados, os quais farão muita falta e que me renderão longas horas de nostalgia no futuro.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi ajustar equações capazes de estimar a fitomassa dos compartimentos aéreos de *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) e *Acacia mangium* em plantios puros e consorciados. Um inventário florestal foi realizado em uma área experimental localizada em Seropédica, RJ, contendo cinco arranjos de plantio incluindo: *A. mangium* em monocultivo, eucalipto em monocultivo com ou sem adubação nitrogenada, e consórcios com espaçamento entre árvores de 3 m x 3 m ou 3 x 1,5 m. Os valores de diâmetro à altura do peito (DAP) obtidos foram divididos em três classes para cada espécie e arranjo de plantio e duas árvores representativas da mediana de cada classe foram abatidas para obter a massa seca de folhas, galhos e tronco. Foram testadas cinco equações descritas na literatura para prever a fitomassa em cada compartimento das espécies. A seleção dos melhores modelos foi feita através do Critério de Informação de Akaike. Ao contrário da *A. mangium*, o plantio do eucalipto em consórcio não alterou sua relação altura/DAP nas diferentes condições de plantio; logo, as equações de predição de fitomassa dessa espécie foram ajustadas com os dados de todas as árvores abatidas. Os modelos selecionados para eucalipto apresentaram bons ajustes para os compartimentos folhas ($R^2_{ajust} = 0,83$), galhos ($R^2_{ajust} = 0,97$), tronco ($R^2_{ajust} = 0,98$) e fitomassa total ($R^2_{ajust} = 0,98$) usando somente o DAP ou o DAP e a altura total como variáveis preditoras. Para a *A. mangium*, somente foi possível ajustar modelos para estimar o compartimento tronco ($R^2_{ajust} = 0,84$) e a fitomassa total ($R^2_{ajust} = 0,95$) em plantios puros. A ausência de ajuste de modelos para a *A. mangium* em plantios consorciados pode estar associada a variações na expressão fenotípica da espécie devido à competição com o eucalipto.

Palavras-chave: Critério de Informação de Akaike; plantios mistos; fitomassa arbórea.

ABSTRACT

This study aimed to adjust regression models to estimate the phytomass of aerial compartments of *Eucalyptus urograndis* (eucalyptus) and *Acacia mangium* cultivated in pure or mixed stands. A forestry inventory was performed in an experimental area in Seropédica, RJ, Brazil, containing five planting arrangements including: one stand of *A. mangium*, two stands of eucalyptus (with and without N fertilization), and two mixed stands with 3 m x 3 m, and 3 x 1,5 m of plant spacing. The values of diameter at breast height (DBH) obtained were divided into three classes for each species and planting arrangement. Two trees of representatives of the median of each DBH class were harvested to obtain the dry weight of leaves, branches and trunk. Five equations were tested to predict the phytomass in each compartment of each species. The selection of the best models was made using the Akaike Information Criterion. Different from *A. mangium*, the eucalyptus in the mixed plantations did not change its height/DBH ratio; therefore, the prediction equations for this species were adjusted using data from all harvested trees. Models selected for eucalyptus were well adjusted for the leaves (adjusted-R² = 0,83), branches (adjusted-R² = 0,97), and trunk (adjusted-R² = 0,98) compartments, and for total phytomass (adjusted-R² = 0,98) using only DBH or DBH plus total height as predictor variables. For the *A. mangium*, it was only possible to adjust models to estimate the trunk (adjusted-R² = 0,84), and total phytomass (adjusted-R² = 0,98) in pure stands. The lack of model adjustment for *A. mangium* in mixed stands may be related to variations in the phenotypic expression due to competition with the eucalyptus.

Key words: Akaike Information Criterion; mixed-species plantations; tree phytomass.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 <i>Acacia mangium</i>	2
2.2 <i>Eucalyptus urograndis</i>	2
2.3 Plantios mistos de <i>Eucalyptus sp.</i> com leguminosas florestais fixadoras de N ₂	3
2.4 Estimativa da Fitomassa	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Caracterização da área de estudo	8
3.2 Delineamento experimental e tratos culturais.....	8
3.3 Amostragem de árvores para ajuste dos modelos	10
3.4 Definição de modelos concorrentes preditores da fitomassa.....	11
3.5 Análises estatísticas	11
3.6 Comparação entre modelos ajustados em diferentes localidades	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1 Análise descritiva dos dados utilizados para o ajuste das equações	13
4.2 Ajuste e seleção de modelos de predição da fitomassa.....	15
4.3 Comparação entre modelos ajustados em diferentes localidades	18
5. CONCLUSÕES.....	19
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
7. ANEXOS.....	28

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** (A e B) Plantios mistos de eucalipto com *A. mangium* no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica.....5
- Figura 2.** Arranjo das espécies dentro de cada parcela.....9
- Figura 3.** (A) Plantio das mudas no campo; (B) Desenvolvimento inicial da mudas.....9
- Figura 4.** (A) Abate do indivíduo selecionado; (B) Separação dos compartimentos; (C) Pesagem de todos os compartimentos; (D) Subamostras para ajuste do teor de umidade.....10
- Figura 5.** Relação altura-diâmetro (H/DAP) médio das espécies em plantios puros e consorciados aos 30 meses de idade. Símbolos iguais seguidos da mesma letra não diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$).....15

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Composição, densidade de árvores de eucalipto (E) e *A. mangium* (A) e espaçamentos usados nos tratamentos alocados nas parcelas.....8
- Tabela 2.** Modelos concorrentes de equações de regressão testados para estimar a fitomassa (Y) em função dos respectivos valores de DAP e H.....11
- Tabela 3.** Estatística descritiva das variáveis explanatórias para a construção de modelos de predição da fitomassa aérea de eucalipto e *A. mangium* (Tabela 1).....13
- Tabela 4.** Estatística descritiva das variáveis dependentes para a construção de modelos empíricos de predição da fitomassa nos compartimentos aéreos de eucalipto e *A. mangium* cultivado sob diferentes arranjos de plantio.....14
- Tabela 5.** Modelos ajustados para estimar a fitomassa nos compartimentos aéreos de *Eucalyptus urograndis*.....17
- Tabela 6.** Modelos ajustados para estimar a fitomassa nos compartimentos aéreos de *A. mangium* em plantio puro ou consorciado com eucalipto.....17
- Tabela 7.** Diferença entre estimativas de fitomassa de eucalipto e *A. mangium* feitas a partir dos modelos propostos por LACLAU *et al.* (2008) em relação a alguns dos modelos listados nas tabelas 4 e 5.....18

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos a atividade florestal vem se intensificando e ocupando extensas áreas. Estima-se que no mundo 264 milhões de hectares estejam ocupados por florestas plantadas, e segundo o cenário atual, essa área de plantio deve aumentar para 300 milhões de hectares até 2020 (FAO, 2010).

No Brasil, 4,8 milhões de hectares estão ocupados por plantios do gênero *Eucalyptus* spp. (ABRAF, 2012). Este número reflete a ampla adaptação do eucalipto, o qual tem sido crescentemente demandado por diversos setores industriais como o de produção de celulose e papel, siderurgia, construção civil e indústria moveleira.

Os plantios de eucalipto no Brasil são implantados em sua maioria no sistema de monocultivo e em rotações curtas. Dependendo da qualidade do sítio, da estrutura do plantio e do manejo dos resíduos orgânicos da cultura, alterações significativas nos ciclos biogeoquímicos de nutrientes e na qualidade do solo podem ser observadas em florestas de eucalipto (CHAFER *et al.*, 2007; BOUILLET *et al.*, 2008; STAPE *et al.*, 2010).

O consórcio do eucalipto com espécies de leguminosas arbóreas que se associam a bactérias fixadoras de N₂, como é o caso da *Acacia mangium*, pode ser visto como uma alternativa aos modelos de cultivo homogêneo do eucalipto, pois pode proporcionar a intensificação da ciclagem de nutrientes, aumento da estocagem de C e N no sistema e incremento na produção de biomassa (BALIEIRO *et al.* 2004; FORRESTER *et al.*, 2006; BALIEIRO *et al.*, 2008a; VOIGTLAENDER *et al.*, 2012). Entretanto, poucos trabalhos foram desenvolvidos no Brasil visando avaliar a viabilidade técnica dessa alternativa (BALIEIRO *et al.*, 2002; COELHO *et al.*, 2007; BALIEIRO *et al.*, 2008a; KLEINPAUL, 2008; LACLAU *et al.*, 2008).

Além da fertilidade do solo e da disponibilidade de água (REIS *et al.*, 1990; BALIEIRO *et al.*, 2008c; STAPE *et al.*, 2010), a estrutura de plantio influencia fortemente a produção de fitomassa do eucalipto em consórcio com leguminosas, consequência das alterações das relações de competição intraespecíficas e interespecíficas (FORRESTER *et al.*, 2005a). No entanto, pesquisas nessa linha relatam maiores produtividades do eucalipto quando em consórcio com leguminosas fixadoras de N₂ em comparação ao seu plantio homogêneo.

A obtenção de estimativas de produtividade em formações florestais é importante para o estabelecimento de ações de manejo, bem como para se identificar as formas de utilização dos recursos disponíveis na área. A produção de fitomassa pode ser estimada através de modelos de predição que utilizam variáveis dendrométricas, de fácil medição em campo, em sua estrutura. No entanto, poucos trabalhos discutem a construção de modelos para estimativa da fitomassa, principalmente em plantios consorciados de eucalipto com leguminosas, onde a competição interespecífica pode ser um fator determinante para influenciar o padrão de crescimento arbóreo e, conseqüentemente, as estimativas obtidas, quando se utiliza modelos desenvolvidos a partir de plantios homogêneos. Além disso, a literatura aponta que os modelos são mais precisos quando elaborados e aplicados em sítios com características específicas (SILVEIRA *et al.*, 2008).

Mediante o exposto, o presente estudo objetivou ajustar equações para estimar a fitomassa em compartimentos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mangium* em plantios puros e consorciados. Buscou-se ainda comparar a concordância entre modelos desenvolvidos em estudo similar, porém ajustados em condições edafoclimáticas contrastantes às deste trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Acacia mangium*

A *Acacia mangium* Willd. pertence à família Fabaceae (Mimosoideae), de ocorrência natural na região sudeste asiática (Indonésia e Papua Nova Guiné) e nordeste da Austrália (ATIPANUMPAI, 1989). Essa espécie apresenta crescimento rápido, capacidade de se associar a bactérias diazotróficas eficientes na fixação de N₂ atmosférico (GALIANA *et al.*, 2002), tolerância a acidez e baixa exigência nutricional (DIAS *et al.*, 1994; FRANCO E FARIA, 1997; KRISNAWATI *et al.*, 2011).

A madeira da *A. mangium* é adequada como fonte de matéria-prima para o processo de produção de pasta celulósica, a qual apresenta propriedades similares às produzidas a partir do *Eucalyptus*, viabilizando a produção de papéis de qualidade para impressão e embalagens de produtos (TONINI *et al.*, 2010). Esta espécie também apresenta potencial para indústria moveleira e madeira serrada com utilizações na construção civil e naval (ATIPANUMPAI, 1989). Tendo em vista o seu alto poder calorífico (4800-4900 kcal / kg), a madeira também pode ser utilizada para lenha e carvão (KRISNAWATI *et al.*, 2011). A serragem proporciona boa qualidade no substrato para cogumelos comestíveis (LIM *et al.*, 2003). Os ramos e folhas mortas podem ser usados como combustível. As folhas podem servir como forragem para o gado (KRISNAWATI *et al.*, 2011). Alguns usos não-madeireiros ainda incluem a produção de cola e mel (ATIPANUMPAI, 1989; KRISNAWATI *et al.*, 2011). A multiplicidade de uso desta espécie é vantajosa, pois permite diversificar a fonte de renda dos seus produtores (TONINI, 2010).

Além dos plantios comerciais de *A. mangium* concentrados na região norte do Brasil (TONINI, 2010), essa espécie vem se destacando nos programas de recuperação de áreas degradadas (FORTES, 2000; FRANCO *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2004; MACHADO *et al.*, 2006; FRANCO *et al.*, 2008; MACEDO *et al.*, 2008), em sistemas agroflorestandos (FRANCO *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2007) e em florestas comerciais consorciadas (experimentos em empresas diversas) com o eucalipto (COELHO *et al.*, 2007; LACLAU *et al.*, 2008).

O intuito de sua utilização é principalmente intensificar a ciclagem de nutrientes (especialmente o N) do sistema por meio da elevada produção de serapilheira e introdução do N biologicamente fixado (GALIANA *et al.*, 2002; FRANCO *et al.*, 2003; BOUILLET *et al.*, 2008; FRANCO *et al.*, 2008). Com o propósito de estudar a dinâmica dos resíduos orgânicos, o acúmulo de serapilheira de *A. mangium* foi abordado nos trabalhos de ANDRADE *et al.* (2000) e BALIEIRO *et al.* (2004) os quais verificaram que a espécie acumulou 13,6 Mg ha⁻¹ aos 4 anos de idade e 12,7 Mg ha⁻¹ aos 5 anos de idade, respectivamente. Outro fator a ser considerado é a taxa de decomposição lenta destes resíduos, também avaliada pelos autores (1,5 anos de tempo médio de residência *versus* 481 dias de meia vida, respectivamente). Embora a combinação desses fatores garanta a reserva de nutrientes e a cobertura precoce do solo, permitindo a proteção contra agentes erosivos e perdas de água por evaporação a acumulação de quantidades expressivas de serapilheira sobre o solo tem sido considerada como fator negativo a sucessão vegetal (PARROTA e KNWOLES, 1999) e favorecendo a propensão ao fogo.

2.2 *Eucalyptus urograndis*

O gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália e da região sudeste asiática e pertence à família Myrtaceae. Possui cerca de 600 espécies, além de um grande número de variedades e alguns híbridos (LIMA, 1993).

A necessidade por materiais genéticos mais resistentes e adequados para a finalidade de uso, além de atingir grandes produtividades, fez com que as empresas e instituições de pesquisa florestal investissem em intensas pesquisas e ensaios de campo, para realizar o melhoramento genético de plantações comerciais de *Eucalyptus*, como é o caso do híbrido *Eucalyptus urograndis*, resultante da combinação entre o *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Spreng e o *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake (AGROTECA TANABI, 2010; FILHO *et al.*, 2011). O objetivo desse cruzamento é reunir características positivas do *E. grandis*, tais como, rápido crescimento e qualidade da madeira, e do *E. urophylla*, como adaptação e resistência a doenças e ao déficit hídrico (AGROTECA TANABI, 2010). Por ser um material genético resultante da hibridação interespecífica, o seu cultivo se baseia em plantios clonais, com vista à manutenção de suas características desejáveis (BRAGA, 2006)

Os usos comerciais deste híbrido se concentram sobre a produção de matéria-prima voltada para a produção de polpa celulósica. Porém, possui baixa qualidade da madeira para o processo de polpação, o que é sanado por meio do cruzamento com outras espécies de *Eucalyptus* sp. a fim de obter maiores rendimentos em celulose e características de interesse para os processos e reações industriais (FILHO *et al.*, 2011).

Esse é um dos híbridos mais conhecidos e utilizados pelas empresas brasileiras do setor florestal, responsável por 80% dos plantios clonais de eucalipto no país (FONSECA *et al.*, 2010). Atualmente, já existem clones específicos para diversas localidades de plantio e sob diferentes condições climáticas (FILHO *et al.*, 2011). Esta tecnologia está disponível inclusive para pequenos produtores de eucalipto por atividades de fomento ou de parcerias com as empresas (FILHO *et al.*, 2011).

Uma grande quantidade de trabalhos já foi realizada com este híbrido, e os conhecimentos estão bem avançados, principalmente sobre: suas necessidades ecofisiológicas (PEREIRA *et al.*, 2006; LOPES *et al.*, 2010); espaçamentos adequados, conforme a finalidade do plantio (NICODEMO *et al.*, 2007; GARCIA, 2010); produtividade (ANDRADE *et al.*, 2011) e muitos outros estudos relacionados à qualidade da madeira para celulose e serraria (CARVALHO, 2000; GONÇALVES, 2006; COSTA, 2011).

2.3 Plantios mistos de *Eucalyptus* sp. com leguminosas florestais fixadoras de N₂

LACLAU *et al.* (2010) observaram um desbalanço de nitrogênio (N) em florestas de *Eucalyptus* spp. no Brasil e no Congo por conta da exportação de nutrientes contidos na biomassa, do baixo aporte de N via deposição atmosférica, das baixas reservas do solo e da diminuta contribuição da fixação biológica de N₂ (FBN) neste sistema. Por conta disso, o plantio misto de *Eucalyptus* com leguminosas arbóreas são apontados na literatura como um interessante modelo alternativo de produção para as florestas plantadas de eucalipto (FRANCO *et al.*, 2003; FORRESTER 2006a; LACLAU 2008).

Os plantios mistos de eucalipto com leguminosas arbóreas fixadoras de N₂ (Figura 1) objetivam trazer melhorias na fertilidade do solo e na ciclagem de nutrientes (BINKLEY *et al.*, 2000; MONTAGNINI, 2000; BALIEIRO *et al.*, 2002; BALIEIRO 2004; GARAY *et al.*, 2004); aumentar a estocagem de C (RESH *et al.*, 2002; FORRESTER *et al.* 2006b; BALIEIRO *et al.*, 2008b) no solo e minimizar o esgotamento das reservas orgânicas de N ou mesmo, suprir parcial ou totalmente a demanda desse nutriente pelo eucalipto (KHANNA, 1997; COELHO *et al.*, 2007; FORRESTER *et al.*, 2007; BOUILLET *et al.*, 2008; LACLAU *et al.*, 2008; VOIGTLAENDER *et al.*, 2012). Além disso, um grande número de trabalhos nesta linha relata que maiores produtividades dos plantios mistos podem ser alcançadas, em comparação ao sistema de monocultura (FORRESTER *et al.*, 2006a). Estes estudos se apoiam em alguns conceitos de interações ecológicas para explicar a maior produção de biomassa,

tais como: a redução competitiva e facilitação. A primeira está relacionada ao particionamento do uso dos recursos acima (luz) e abaixo do solo (água e nutrientes). A segunda ocorre quando pelo menos uma das espécies atua positivamente no desenvolvimento da outra espécie, como é o caso da leguminosa, aumentando as reservas orgânicas de N no sistema via FBN (VANDERMEER *et al.*, 1989; FORRESTER *et al.*, 2005b; FORRESTER, 2006a).

Um dos trabalhos pioneiros com plantios mistos de leguminosas com *Eucalyptus* foi o realizado por DeBell *et al.* (1985) no Havaí, no qual estabeleceram plantios puros e mistos de *Eucalyptus* com *Falcataria moluccana* (Leguminosae). Neste estudo, a produção de biomassa do eucalipto aos 65 meses, foi maior no plantio consorciado com a leguminosa (58,2 Mg ha⁻¹) em relação ao plantio puro e fertilizado com N de eucalipto (37,6 Mg ha⁻¹). No mesmo país Binkley *et al.* (1992) avaliaram diferentes proporções de plantio entre as espécies *Eucalyptus saligna* e *Falcataria moluccana* com 20 anos de idade e concluíram que a maior produção de biomassa da parte aérea ocorreu para o tratamento com 50% de eucalipto e 50% de *F. moluccana* (287 Mg ha⁻¹) quando comparado ao plantio puro de *E. saligna* fertilizado com N (235 Mg ha⁻¹). Essa diferença foi atribuída a melhorias sobre a ciclagem de nutrientes e a maior eficiência na obtenção de luz em plantios mistos com *F. moluccana*. Na Austrália, Bauhus *et al.* (2004), avaliaram dois espaçamentos (2 x 3,3 m e 3 x 3,3 m) em diferentes arranjos de plantios puros e mistos de *Eucalyptus globulus* e *Acacia mearnsii*. Eles verificaram que a substituição do eucalipto pela *A. mearnsii* não resultou em declínios proporcionais na biomassa do eucalipto. Conseqüentemente, os plantios mistos testados mostraram um efeito sinérgico aos 9,5 anos de idade e a maior produção de biomassa observada foi para o tratamento 50 % de eucalipto e 50 % de *A. mearnsii*, com 75,3 Mg ha⁻¹ para o maior espaçamento e 83,4 Mg ha⁻¹ para o plantio mais denso. Estes valores foram significativamente maiores em relação ao monocultivo do eucalipto (35 Mg ha⁻¹).

No Brasil existem poucas informações a respeito de plantios de eucalipto consorciados com leguminosas arbóreas. As experiências são voltadas para estudos sobre fluxo de nutrientes associados ao ciclo hidrológico (BALIEIRO *et al.*, 2007), dinâmica da serapilheira (BALIEIRO *et al.*, 2004a; ABEL, 2010), taxa de FBN pela leguminosa (COELHO *et al.* 2007; BALIEIRO *et al.* 2008a), estoques de C e N no solo (BALIEIRO *et al.*, 2004; FORRESTER *et al.*, 2006a; FORRESTER *et al.*, 2006b; BALIEIRO *et al.*, 2008b), produção de raízes finas (SILVA *et al.*, 2009) e possíveis melhorias na fertilidade do solo (BALIEIRO *et al.* 2008b; BALBINOT *et al.* 2010).

A produção de biomassa aérea também foi estudada por Balieiro *et al.* (2002) e Balieiro *et al.* (2010), os quais não encontraram diferenças significativas sobre a produção de biomassa do eucalipto (*Eucalyptus grandis*) entre os plantios puros e mistos com *P. guachapele* (leguminosa nativa da América Central), aos 5 e 7 anos de idade. Este fato foi atribuído à dominância do eucalipto sobre a *P. guachapele* e à ciclagem mais intensa de N, tanto pela lavagem da copa quanto pela deposição e decomposição da serapilheira. Por outro lado, os autores detectaram que aos 7 anos o eucalipto perdeu eficiência no uso dos nutrientes absorvidos, quando comparado a idade de 5 anos, levando os autores especularem que seria mais interessante cortar o eucalipto no quinto ano em que a exportação de nutrientes da área seria menor (proporcionalmente a biomassa produzida) do que aos sete anos.

Em outros estudos similares, resultados contrastantes foram descritos, como por exemplo, o de Parrota (1999) que testou, em Porto Rico, diferentes combinações de plantios puros e mistos de *Eucalyptus robusta* com *Casuarina equisetifolia* (Casuarinaceae) e *Leucaena leucocephala* (Leguminosae), espécies que desenvolvem associação simbiótica com bactérias diazotróficas do gênero *Frankia* e *Rhizobium*, respectivamente. Neste trabalho, a produção de biomassa encontrada aos 4 anos de idade foi maior nas áreas onde as espécies

fixadoras estiveram presentes, seja em monocultivo ou em consórcio (*C. esquisetifolia* + *L. leucocephala*), porém não foram observados possíveis benefícios sobre a produção de biomassa do *E. robusta*, independente da espécie fixadora de N introduzida. Os valores de biomassa encontrados nestes plantios não diferiram do monocultivo de *E. robusta*. O autor atribuiu os resultados às possíveis influências na obtenção de recursos causadas pela competição interespecífica e que o efeito da associação com espécies fixadoras de N não gerou nenhuma influência positiva sobre a disponibilidade de nutrientes para o eucalipto até a idade de avaliação. Devido a estas divergências, torna-se necessário o conhecimento sobre espécies com potencial, bem como da estrutura de plantio ideal e buscar entender melhor as interações (competição ou facilitação) entre as espécies em consórcio, principalmente sob condições edafoclimáticas distintas para avaliar a viabilidade dessa alternativa de cultivo.



Figura 1: (A e B) Plantios mistos de eucalipto com *A. mangium* no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica.

2.4 Estimativa da Fitomassa

O termo fitomassa, por definição, compreende toda a massa de matéria originada a partir de um vegetal (SILVEIRA *et al.*, 2008). Sua quantificação é essencial em formações florestais, podendo ser encarada como um indicador fiel da produtividade de um plantio florestal, além de fornecer informações sobre o acúmulo de nutrientes nos tecidos vegetais (SANQUETTA *et al.*, 2002). A estimativa da fitomassa também é importante para destinação e valoração de madeira para fins energéticos (SILVEIRA *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2010). Adicionalmente, estudos sobre a fixação de C em formações florestais também estão amplamente ligados à quantificação desta variável contida nos diferentes compartimentos acima (folhas, galhos e troncos) e abaixo (raízes) do solo, e viabilizar a construção de novos projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (SANQUETTA e BALBINOT, 2004; BURGER, 2005; SILVEIRA *et al.*, 2008). Para todos os propósitos, as estimativas dessa variável devem ser precisas, de maneira que resultados consistentes sejam obtidos e decisões corretas sejam tomadas (SANQUETTA *et al.*, 2002; MAESTRI *et al.* 2004).

Existem diversas formas de quantificar a fitomassa aérea, podendo-se utilizar de métodos diretos ou indiretos (HIGUCHI & CARVALHO JUNIOR, 1994). O primeiro baseia-se em uma condição mais próxima da realidade, por exemplo, a derrubada e pesagem de todas as árvores em uma parcela instalada no campo, e posteriormente feito o cálculo de extrapolação do valor obtido na amostragem para determinada área de interesse (SANQUETTA & BALBINOT, 2004; SILVEIRA *et al.*, 2008). No entanto, sua quantificação direta no campo não é uma opção muito viável, pois envolvem custos elevados na realização das operações. O segundo método consiste em correlacionar a fitomassa com alguma variável explanatória de fácil medição em campo (DAP e altura, por exemplo) (SANQUETTA & BALBINOT, 2004; SILVEIRA *et al.*, 2008). Do qual, após a obtenção dos dados de um inventário conhece-se a distribuição diamétrica do plantio, que pode ser organizada em uma distribuição de classes. A partir deste ponto, a realização da amostragem pode ser feita através do abate de indivíduos representativos das classes diamétricas e em seguida, realiza-se análises de regressão para construção de modelos que irão estimar a fitomassa (LACLAU *et al.*, 2008; SILVEIRA *et al.* 2008). Desta maneira, modelos empíricos de predição da fitomassa permitem ao pesquisador quantificá-la de maneira confiável e menos onerosa baseando-se em uma amostra destrutiva composta por um pequeno número de indivíduos criteriosamente selecionados (MAESTRI *et al.*, 2004; BURGER, 2005). Ainda com relação ao método indireto, outras maneiras de realizar tal estimativa é a adoção de técnicas do sensoriamento remoto (SOUZA & PONZONI, 1998; WATZLAWICK, 2003).

Alguns estudos apresentam modelos de predição da fitomassa em *Eucalyptus* spp ajustados para diferentes materiais genéticos, plantados nas mais variadas condições climáticas do Brasil (SANTANA *et al.*, 2008; MELLO & GONÇALVES, 2008).

Por outro lado, para a *A. mangium* poucos são os trabalhos encontrados para o Brasil e estes se concentram no Estado de São Paulo, em região de clima mais ameno. Veiga *et al.* (1998) conseguiram ajustar modelos de predição da fitomassa de *A. mangium* com 7 anos de idade em plantios experimentais localizados em Botucatu, SP. Na Colômbia, Vélez & Dell Valle (2007), também conseguiram ajustar modelos específicos para essa espécie.

Mais recentemente, Laclau *et al.* (2008) realizaram o primeiro estudo no Brasil para gerar modelos de estimação da fitomassa em compartimentos de eucalipto e *A. mangium* plantados em diferentes arranjos de consórcio e monocultivo em uma estação experimental localizada em Itatinga, SP. Porém, existe a necessidade de se elaborar modelos para as

condições do presente estudo, visto que modelos de predição de fitomassa geralmente são elaborados para sítios específicos, pois estes são dependentes, por exemplo, do tipo e qualidade do solo e de fatores climáticos (CROW & SCHLAEGEL, 1988; SILVEIRA *et al.* 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido a partir de um experimento implantado no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ (22° 46' de latitude sul e 43° 41' de longitude oeste; 33 m de altitude). O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com verões chuvosos e invernos secos, média pluviométrica anual de 1.250 mm, temperaturas médias mensais variando de 16° C (junho a julho) a 32° C (janeiro a março) e média anual em torno de 24° C e umidade relativa média anual é de 73% (MATOS *et al.*, 2008).

O relevo da área é predominantemente suave com declividade máxima de 5 %. O solo da área corresponde a um Planossolo Háptico (RAMOS *et al.*, 1983), com um horizonte superficial bastante arenoso, formado pela eluviação de argila, e um horizonte glei em profundidade variada, caracterizado pela textura mais argilosa e pela influência do lençol freático em pontos mais baixos da topossequência. Este solo é tipicamente distrófico e com baixa capacidade de retenção e estocagem de C, sendo as variações desses atributos dependentes da localização na topossequência local (BALIEIRO *et al.*, 2008c).

3.2 Delineamento experimental e tratos culturais

A área experimental utilizada para esse estudo foi constituída por quatro blocos de 18 m x 105 m, cada um contendo cinco parcelas de 18 m x 21 m para alocar cinco combinações de plantios das espécies *Eucalyptus urograndis* (clone do híbrido *E. urophylla* S. T. Blake x *E. grandis* W. Hill ex Spreng) e *Acacia mangium* Willd. (Tabela 1). A maneira como as espécies foram distribuídas dentro de cada parcela, encontra-se na Figura 1.

Tabela 1. Composição, densidade de árvores de eucalipto (E) e *A. mangium* (A) e espaçamentos usados nos tratamentos alocados nas parcelas.

Tratamento	Composição	Densidade	Espaçamento (m)
E100	Eucalipto em monocultivo	100% E ‡	3 x 3
E100+N *	Eucalipto com adubação nitrogenada	100% E	3 x 3
A100	<i>A. mangium</i> em monocultivo	100% A	3 x 3
A100:E100	<i>A. mangium</i> x Eucalipto	100% A + 100% E †	3 x 1,5
A50:E50	<i>A. mangium</i> x Eucalipto	50 % A + 50 % E	3 x 3

‡ As parcelas com densidade 100% apresentam 42 árvores no total (densidade de 1111 árvores/ha).

† A parcela A100:E100 apresenta 84 árvores, 42 de cada espécie (densidade de 2222 árvores/ha).

* N aplicado na forma de uréia (100 kg/ha de N sendo 30 kg/ha no plantio e 30+40 kg/ha aos 6 e 12 meses pós-plantio).

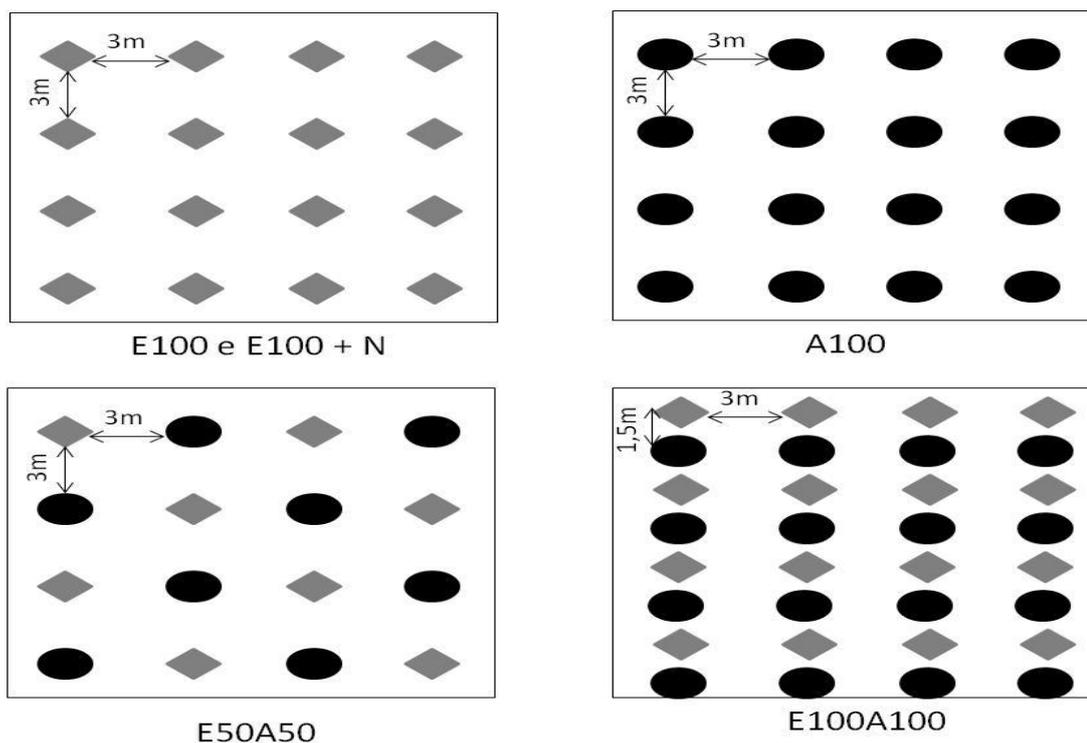


Figura 2: Arranjo das espécies nas parcelas de plantios puros ou consorciados de eucalipto (losango) e *A.mangium* (círculo).

Na fase de pré-plantio toda a vegetação espontânea foi dessecada com glifosato e posteriormente roçada. As mudas de *Eucalyptus urograndis* foram clonais e as de *A. mangium* foram produzidas a partir de sementes. O plantio das mudas foi realizado em janeiro de 2009 em covas de 20 x 20 x 20 abertas com motocoveador (Figura 2). Após o plantio, as parcelas foram roçadas mensalmente até 6 meses de idade. A partir dessa data, o controle foi realizado em períodos onde houvesse reincidência de espécies invasoras. Em relação ao controle de formigas cortadeiras, esse foi realizado em periodicidade semelhante.



Figura 3: (A) Plantio das mudas no campo; (B) Desenvolvimento inicial da mudas na área do experimento.

3.3 Amostragem de árvores para ajuste dos modelos

Para gerar equações de estimativa da fitomassa dos plantios em seus compartimentos, foi realizado, aos 30 meses de idade, um censo das árvores da parcela útil, obtendo-se os valores de altura total e diâmetro à altura do peito (DAP) de cada arranjo de plantio testado. O conjunto de dados foi dividido em três classes de diâmetro (inferior, médio e superior) referente a cada espécie, dentro de cada tratamento (Tabela 1). Posteriormente, foram abatidas 2 árvores que representassem o valor mediano de cada classe para cada tratamento. Um total de 42 árvores foi cortado para compor o conjunto de dados para as análises de regressão.

Após o abate das árvores-amostra (Figura 2A), os componentes formadores da fitomassa aérea (folhas, galhos e tronco) foram separados (Figura 2B) e pesados em balança digital (Figura 2C) (precisão de 20 g) no campo. Amostras de folhas (filódios, no caso da *A. mangium*) e galhos foram coletadas para determinação do peso de matéria seca em estufa de circulação forçada a 65 ± 2 °C, até atingirem peso seco constante. As amostras de tronco foram obtidas a partir da retirada de discos em três pontos ao longo do comprimento do fuste (Figura 2D), e também foram levadas à estufa. O peso de cada fração da fitomassa foi calculado a partir do peso de matéria fresca total e do ajuste do teor de umidade das amostras de cada componente.



Figura 4: (A) Abate do indivíduo selecionado; (B) Separação dos compartimentos; (C) Pesagem de todos os compartimentos; (D) Subamostras para ajuste do teor de umidade.

3.4 Definição de modelos concorrentes preditores da fitomassa

Foram utilizados modelos de equações encontrados na literatura para avaliar aqueles com as melhores estimativas da fitomassa seca de cada componente (Tabela 2). Estes modelos utilizam como variáveis independentes o DAP e a altura total (H), as quais são de fácil obtenção em campo.

Tabela 2. Modelos concorrentes de equações de regressão testados para estimar a fitomassa (Y) em função dos respectivos valores de DAP e H.

Modelo	Descrição	Autores
1	$\text{Ln } Y = \beta_0 + \beta_1 \text{ Ln DAP} + \beta_2 \text{ Ln H} + \varepsilon$	Schumacher-Hall
2	$\text{Ln } Y = \beta_0 + \beta_1 \text{ Ln (DAP}^2\text{H)} + \varepsilon$	Spurr
3	$\text{Ln } Y = \beta_0 + \beta_1 \text{ Ln DAP} + \beta_2 (1/\text{DAP}) + \varepsilon$	Brenac
4	$\text{Ln } Y = \beta_0 + \beta_1 \text{ Ln H} + \varepsilon$	Finger
5	$\text{Ln } Y = \beta_0 + \beta_1 \text{ Ln DAP} + \varepsilon$	Finger

Todos os cinco modelos testados usam a variável dependente (fitomassa) logaritimizada. De acordo com BASKERVILLE (1972), citado por MELLO & GONÇALVES (2008), as equações logarítmicas são mais apropriadas para a estimativa da fitomassa, pois tem como principal vantagem a redução da variância associada com o sucessivo aumento na altura da árvore.

3.5 Análises estatísticas

A escolha do modelo com melhor condição para prever a fitomassa em seus compartimentos foi feita a partir da abordagem inferencial sobre múltiplos modelos baseada no critério de informação de Akaike (AIC). Essa abordagem está reputada na clássica teoria da informação de Kulbach-Leibler e na teoria da probabilidade (BURNHAM & ANDERSON, 2001). Diferentemente das abordagens clássicas, baseadas no ajuste de modelos aos dados observados, essa abordagem não representa um teste estatístico em seu senso estrito, uma vez que não está calcada na aceitação ou rejeição de uma hipótese nula e na escolha arbitrária de um nível (α) de significância (BURNHAM & ANDERSON, 2001). Em vez disso, após o ajuste e a obtenção do valor de AIC para cada modelo *i* candidato, é possível obter um conjunto confiança de modelos com maior probabilidade em descrever o fenômeno observado, através de cálculos numéricos capazes de subsidiar as inferências.

No presente trabalho foi utilizada a medida de Akaike de segunda ordem (AICc), a qual é adequada para situações onde a relação entre o número de observações *n* e o número de parâmetros do modelo é menor do que 40 (BURNHAM & ANDERSON, 2001).

O valor de AICc é obtido através da seguinte fórmula:

$$AICc = -2 \ln (mv) + 2p + ((2p (p+1))/(n-p-1)) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

mv é o valor de máxima verossimilhança do modelo.

p é o número de parâmetros do modelo.

n é o número de amostras.

Entre as principais evidências, baseada no valor de AICc, utilizadas para obter o conjunto confiança de modelos está a obtenção do valor de $\Delta AICc$, obtido por meio da diferença entre o valor de AICc de um determinado modelo **i** e o **menor** valor de AICc dentro de um conjunto de modelos candidatos. Modelos com grande valor de $\Delta AICc$ são considerados menos plausíveis quanto à aproximação ao modelo considerado “melhor” para descrever o fenômeno investigado (BURNHAM & ANDERSON, 2001; JOHNSON *et al.*, 2004). Outro cálculo utilizado na abordagem inferencial é a quantificação da probabilidade do modelo **i** determinar o fenômeno descrito. Essa probabilidade foi calculada com a seguinte fórmula:

$$P = e^{-0,5 \cdot \Delta AICc} \quad (\text{Equação 2})$$

Os modelos concorrentes também foram comparados por meio do peso de Akaike (WAICc). Esse peso é obtido por meio da divisão entre a probabilidade de um modelo **i** e a soma de todas as probabilidades dos modelos candidatos. Esse valor de $WAIC_i$ pode ser encarado como a probabilidade de um determinado modelo **i** ser o que mais se aproxima do modelo que melhor descreve o fenômeno (BURNHAM & ANDERSON, 2001; JOHNSON *et al.*, 2004;)

Adicionalmente, foram utilizados como parâmetros de ajuste algumas propriedades estatísticas clássicas utilizadas em seleção de modelos de regressão, tais como o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}), o erro padrão da estimativa (S_{yx}) e o coeficiente de variação (CV%).

As análises paramétricas e de regressão foram realizadas no programa R[®] (R Development Core Team, 2011). A seleção de modelos via critério de Akaike foi realizada por meio do pacote AICmodavg também disponível no ambiente R.

3.6 Comparação entre modelos ajustados em diferentes localidades

Os modelos de predição de fitomassa do estudo de Laclau *et al.* (2008) foram desenvolvidos a partir de plantios em Latossolos localizados à 860 m de altitude, onde a temperatura média anual era de 19°C com mínimas absolutas abaixo de 0°C.

Para verificar a concordância entre os modelos de predição de fitomassa de eucalipto e *A. mangium* e aqueles propostos por Laclau *et al.* (2008), os dados dendrométricos obtidos no presente estudo, foram usados para estimar os compartimentos da fitomassa usando os modelos propostos. Para isso, foram selecionados daquele trabalho os modelos ajustados para eucalipto e *A. mangium* com idade (30 meses), arranjo de plantio e compartimento da fitomassa semelhantes. Foram calculados o coeficiente de correlação entre as estimativas de cada par de modelo comparado e o percentual relativo à diferença entre as estimativas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise descritiva dos dados utilizados para o ajuste das equações

A estatística descritiva do conjunto de dados utilizados como variáveis explanatórias para o ajuste dos modelos preditores da fitomassa encontra-se na Tabela 3. Os valores de altura das árvores amostradas de eucalipto apresentou um coeficiente de variação (CV%) de 18,97 %, ao passo que a variação dos valores de DAP em torno da média representou 25,25 %. Com relação ao CV% dos plantios consorciados e puro de *A. mangium*, a altura apresentou uma variação de 8,42 a 20,29 %, e o DAP variou de 17,50 até 27,67 %.

Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis explanatórias para a construção de modelos de predição da fitomassa aérea de eucalipto e *A. mangium* (Tabela 1).

Variável	Min.	Máx.	Mediana	Média	CV %
<i>Eucalyptus urograndis</i>					
Altura (m)	8,00	17,40	14,55	13,76	18,97
DAP (cm)	6,05	14,64	11,6	10,89	25,25
A100					
Altura (m)	8,00	9,90	9,30	9,15	8,42
DAP (cm)	8,02	12,11	10,93	10,29	17,78
A50E50					
Altura (m)	7,80	13,00	8,90	9,56	20,29
DAP (cm)	8,72	14,03	11,47	11,2	17,50
A100E100					
Altura (m)	7,30	11,30	8,40	8,97	17,61
DAP (cm)	4,97	11,08	8,26	8,13	27,67

DAP: Diâmetro à altura do peito; CV%: Coeficiente de variação em porcentagem.

A estatística descritiva do conjunto de dados utilizados como variável dependente para o ajuste dos modelos preditores da fitomassa de plantios puros e consorciados de eucalipto encontra-se na Tabela 4. Os resultados demonstram que a fitomassa total de eucalipto foi representada em grande parte pelo tronco (74%). Os valores de fitomassa de folhas e galhos tiveram uma pequena contribuição (ambos com 13 %), provavelmente pelo fato da amostragem ter sido realizada dentro do período de maior deposição de serapilheira (junho a setembro).

Tabela 4: Estatística descritiva das variáveis dependentes para a construção de modelos empíricos de predição da fitomassa nos compartimentos aéreos de eucalipto e *A. mangium* cultivado sob diferentes arranjos de plantio (Tabela 1).

Compartimento	Min.	Max.	Mediana	Média	CV%	% total
<i>Eucalyptus urograndis</i> ----- kg arvore ⁻¹ -----						
Fitomassa Total	7,65	75,33	38,89	38,85		
Folha	1,54	10,67	5,46	5,19	46,05	13
Galho	0,84	9,74	4,90	5,06	50,18	13
Tronco	4,66	55,19	30,47	28,60	59,51	74
<i>A. mangium</i> - A100 ----- kg arvore ⁻¹ -----						
Fitomassa Total	15,41	40,25	26,96	28,35		
Folha	1,19	4,85	3,27	3,24	41,67	12
Galho	4,07	14,21	7,17	8,27	47,88	29
Tronco	10,16	23,58	16,60	16,83	47,76	59
<i>A. mangium</i> - A50E50 ----- kg arvore ⁻¹ -----						
Fitomassa Total	22,41	82,58	43,13	44,03		
Folha	2,11	8,10	5,43	5,09	44,79	12
Galho	6,37	21,20	10,14	11,26	46,45	25
Tronco	12,39	55,61	25,22	27,68	57,94	63
<i>A. mangium</i> - A100E100 ----- kg arvore ⁻¹ -----						
Fitomassa Total	9,68	26,91	18,13	18,62		
Folha	1,08	2,56	2,13	1,93	30,05	11
Galho	1,67	5,70	4,89	4,53	31,81	24
Tronco	6,63	19,60	10,41	12,16	40,62	65

CV%: Coeficiente de variação em porcentagem; % total: Porcentagem relativa à massa total;

Nos plantios de *A. mangium* estudados, a fitomassa de tronco também representou a maior parte da fitomassa total (Tabela 4). Entretanto, diferentemente do eucalipto, a fitomassa de galhos teve uma contribuição considerável (24% a 29%) na composição da fitomassa total da espécie, devido a sua arquitetura característica com intensas ramificações horizontais e copa densa (TONINI, 2010). A contribuição das folhas foi semelhante ao padrão encontrado para o eucalipto.

A competição por luz entre as espécies nos plantios consorciados fez com que ocorressem algumas mudanças na arquitetura das árvores, principalmente da *A. mangium*. Este comportamento pôde ser evidenciado através da análise da relação altura-diâmetro (H/DAP) das espécies, mostrada na Figura 1. A relação H/DAP dos plantios de eucalipto, independente da condição de plantio (monocultivo ou consórcio), não apresentou diferenças estatísticas até a idade de avaliação (Figura 1). Com respeito à *A. mangium*, a relação H/DAP diferiu estatisticamente entre o plantio puro e consorciado (somente o consórcio E50:A50), provavelmente pelo efeito causado pela competição com o eucalipto (Figura 1). Devido a essas considerações, foi construído somente um modelo para estimar a fitomassa nos compartimentos do eucalipto utilizando, os dados de todas as árvores abatidas. Com relação à *A. mangium* foram gerados modelos específicos de predição da fitomassa para cada arranjo de plantio avaliado.

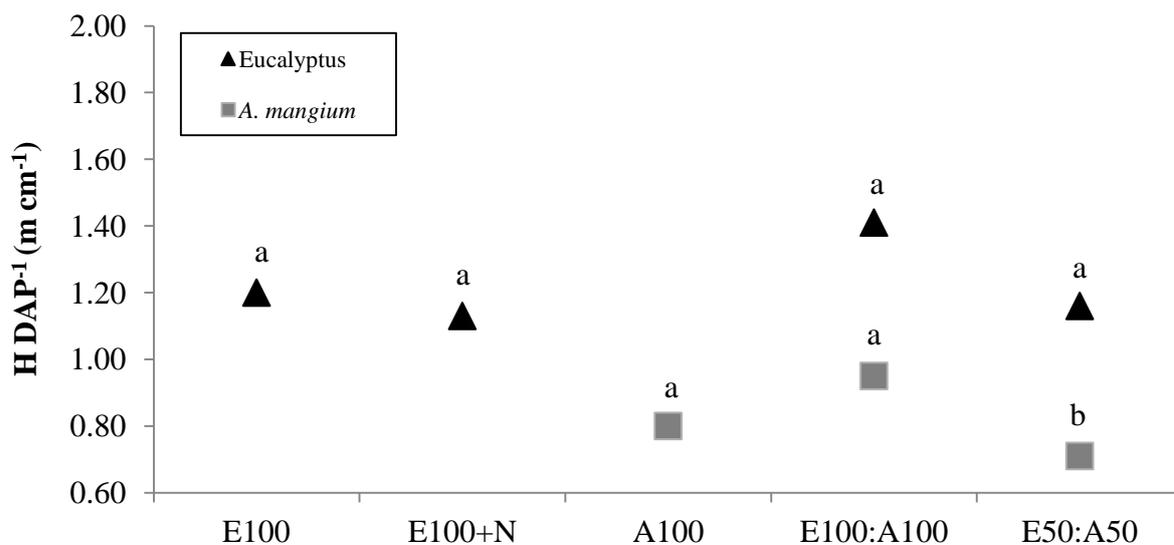


Figura 5: Relação altura-diâmetro (H/DAP) médio das espécies em plantios puros e consorciados aos 30 meses de idade. Símbolos iguais seguidos da mesma letra não diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

4.2 Ajuste e seleção de modelos de predição da fitomassa

Foram selecionados diferentes modelos para estimar a fitomassa de compartimentos aéreos de eucalipto com base nos critérios da abordagem inferencial e clássica (Anexo B). De maneira geral, os modelos apresentaram bons ajustes, pois os valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) variaram de 0,83 a 0,98 e os valores de erro padrão da estimativa (Syx) e coeficiente de variação (CV%) foram relativamente baixos (Tabela 5). Para os compartimentos de fitomassa de galhos, tronco e total foram selecionados mais de um modelo em razão de terem sido considerados adequados com base nos critérios de seleção utilizados (Tabela 5 e Anexo A) e àqueles de simples aplicação (somente o DAP como variável explanatória).

Em contrapartida, os modelos selecionados para *A. mangium* não apresentaram a mesma qualidade no ajuste, salvo para o compartimento tronco e para a fitomassa total, ambos no plantio puro da espécie (A100) (Tabela 6). Estes modelos apresentaram valores de R^2_{ajust} da ordem de 0,83 e 0,94, respectivamente, e baixos valores de Syx e CV%. Os demais modelos ajustados para *A. mangium*, tanto em plantio puro quanto misto, apresentaram baixos coeficientes de determinação, e elevados valores de Syx (0,33 a 0,54) e CV% (até 16%), demonstrando a incapacidade desses de explicar a maior parte da variação dos dados.

Recentemente, a técnica da abordagem inferencial utilizando o Critério de Informação de Akaike (AIC), vem sendo bastante utilizada e com grande aceitação pela literatura da ciência florestal (CARVALHO 2010; NICOLETTI, 2011) com o propósito de selecionar modelos para estimativa da fitomassa arbórea. Dentre os trabalhos nessa vertente, vale destacar o de VISMARA (2009), que elaborou uma seleção de modelos estatísticos ajustados aos dados da fitomassa de algumas espécies arbóreas de ampla ocorrência geográfica em um reflorestamento estabelecido no sudeste brasileiro. A seleção dos modelos a partir do critério AIC neste estudo permitiu de maneira simples identificar, através do *ranking* de modelos

candidatos, aqueles mais precisos e acurados. Isso foi possível com a análise dos valores de AICc, Δ AICc e WAICc de cada modelo.

Os modelos selecionados para estimar a fitomassa dos compartimentos dos plantios de eucalipto tiveram como principal variável preditora o DAP. A seleção de modelos com apenas uma variável independente pode ser encarada como uma das vantagens da abordagem inferencial, pois essa técnica preza por selecionar modelos mais parcimoniosos (BURNHAM e ANDERSON, 2001; VISMARA, 2009). Além disso, essa variável é menos sujeita aos erros de medição no campo quando comparada à altura, tornando o uso dos modelos de forma simplificada. Entretanto, a adição da variável altura foi útil para melhorar o ajuste de alguns modelos, e, conseqüentemente, a sua capacidade de explicação da variação da fitomassa. Modelos de predição de fitomassa de eucalipto utilizando as variáveis DAP e altura também foram ajustados por NICOLLETI (2011).

Tabela 5. Modelos ajustados para estimar a fitomassa nos compartimentos aéreos de *Eucalyptus urograndis*.

Componente	Modelo selecionado	AICc	Δ AICc	WAICc	R ² ajust	Syx	CV %
Folha	$\text{Ln } Y = 0,9897 + 3,9125 \text{ Ln (DAP)} - 3,3317 \text{ Ln (H)}$	2,65	-	1,0	0,8260	0,221	4,27
Galho	$\text{Ln } Y = -3,054 + 3,5840 \text{ Ln (DAP)} - 1,5230 \text{ Ln (H)}$	-22,24	-	0,98	0,9663	0,132	2,61
	$\text{Ln } Y = -4,494 + 2,5120 \text{ Ln (DAP)}$	-13,79	8,45	0,01	0,9484	0,163	3,22
Tronco	$\text{Ln } Y = -3,840 + 2,3432 \text{ Ln (DAP)} + 0,5556 \text{ Ln (H)}$	-32,88	0,97	0,26	0,9812	0,106	0,37
	$\text{Ln } Y = -4,247 + 1,0080 \text{ Ln (DAP}^2\text{H)}$	-33,85	-	0,42	0,9805	0,107	0,37
	$\text{Ln } Y = -3,314 + 2,7340 \text{ Ln (DAP)}$	-32,94	0,91	0,26	0,9798	0,110	0,38
Total	$\text{Ln } Y = -1,9271 + 2,846 \text{ Ln (DAP)} - 0,5026 \text{ Ln (H)}$	-40,65	-	0,46	0,9836	0,090	0,23
	$\text{Ln } Y = -2,402 + 2,4920 \text{ Ln (DAP)}$	-40,37	0,28	0,40	0,9821	0,094	0,24

Y: valor da fitomassa em kg árvore⁻¹; DAP: diâmetro à altura do peito; H: altura total; AICc: valor do critério de informação de Akaike de segunda ordem; Δ AICc: medida de plausibilidade; WAICc: peso de Akaike; R²ajust: coeficiente de determinação ajustado; Syx: erro padrão da estimativa; CV%: coeficiente de variação em porcentagem.

Tabela 6. Modelos ajustados para estimar a fitomassa nos compartimentos aéreos de *A. mangium* em plantio puro ou consorciado com eucalipto.

Componente	Tratamento	Modelo selecionado	AICc	WAICc	R ² ajust	Syx	CV %
Folha	A100	$\text{Ln } Y = -1,4100 + 1,0760 \text{ Ln (DAP)}$	24,95	0,41	-0,06	0,529	16,3
	A50E50	$\text{Ln } Y = -1,0040 + 1,1280 \text{ Ln (H)}$	25,05	0,46	-0,040	0,533	10,48
	A100E100	$\text{Ln } Y = 1,6650 - 0,5095 \text{ Ln (DAP)}$	19,63	0,39	-0,004	0,340	7,12
Galho	A100	$\text{Ln } Y = -0,7149 + 1,1791 \text{ Ln (DAP)}$	23,74	0,41	0,011	0,478	5,78
	A50E50	$\text{Ln } Y = -0,5959 + 1,3120 \text{ Ln (H)}$	20,37	0,64	0,218	0,361	3,21
	A100E100	$\text{Ln } Y = -0,7024 + 0,3400 \text{ Ln (DAP}^2\text{H)}$	23,60	0,39	-0,053	0,472	10,21
Tronco	A100	$\text{Ln } Y = -1,2610 + 1,7420 \text{ Ln (DAP)}$	9,00	0,55	0,838	0,140	0,83
	A50E50	$\text{Ln } Y = -0,9395 + 1,8392 \text{ Ln (H)}$	24,45	0,65	0,216	0,508	1,83
	A100E100	$\text{Ln } Y = -1,4370 + 1,7730 \text{ Ln (H)}$	17,88	0,86	0,466	0,293	0,98
Total	A100	$\text{Ln } Y = -0,2055 + 1,5117 \text{ Ln (DAP)}$	14,79	0,58	0,948	0,106	0,37
	A50E50	$\text{Ln } Y = 0,1067 + 1,5946 \text{ Ln (H)}$	22,78	0,65	0,214	0,441	1,0
	A100E100	$\text{Ln } Y = 0,3079 + 1,1765 \text{ Ln (H)}$	19,46	0,60	0,140	0,335	0,85

Y: valor da fitomassa em kg árvore⁻¹; DAP: diâmetro à altura do peito; H: altura total; AICc: valor do critério de informação de Akaike de segunda ordem; WAICc: peso de Akaike; R²ajust: coeficiente de determinação ajustado; Syx: erro padrão da estimativa; CV%: coeficiente de variação em porcentagem.

Em contraste ao eucalipto, não foi possível ajustar bons modelos para prever a fitomassa de *A. mangium* na maioria das estruturas de plantio avaliadas. Tal falta de ajuste dos modelos pode ter sido em função do padrão heterogêneo de crescimento da *A. mangium* no sítio em estudo, visto que foram encontrados desde indivíduos com fuste único e retilíneo até indivíduos com fustes sinuosos e ramificados. Este fato pode ser devido à variabilidade natural do material genético em questão (sementes), o qual foi originário de diversas matrizes.

Entretanto, o bom ajuste das equações de predição da fitomassa de tronco e total de *A. mangium* em plantio puro sugere que a falta de ajuste nos plantios consorciados pode estar associada à competição interespecífica com o eucalipto. Em contraste com esse estudo, LACLAU *et al* (2008) conseguiram ajustar modelos de predição da fitomassa de *A. mangium* quando em consórcio com o eucalipto, embora esses autores também tenham observado maiores relações H/DAP e uma mudança na arquitetura característica dessa espécie onde a competição interespecífica com o eucalipto foi mais severa.

Apesar da falta de ajuste de modelos para *A. mangium* em plantios consorciados, espera-se que com o avanço da idade dos plantios consorciados as duas espécies atinjam um maior equilíbrio na dinâmica de crescimento que poderá se refletir em uma melhor relação entre a fitomassa e as variáveis dendrométricas da *A. mangium*.

4.3 Comparação entre modelos ajustados em diferentes localidades

As diferenças entre as estimativas dos modelos propostos pelo trabalho de Laclau *et al.* (2008) e os modelos ajustados pelo presente estudo são apresentadas na Tabela 7. Foram observadas altas correlações ($r > 0,837$) entre os modelos de predição da fitomassa comparados. No entanto, os modelos apresentados por Laclau *et al.* (2008) subestimaram a fitomassa de folhas e tronco de eucalipto em 7,8% e 5,3%, respectivamente. Para a fitomassa de *A. mangium* produzida no compartimento tronco, o modelo proposto por Laclau *et al.* (2008) resultou em valores superestimados da ordem de 8,8% em comparação ao modelo deste estudo.

Tabela 7: Diferença entre estimativas de fitomassa de eucalipto e *A. mangium* feitas a partir dos modelos propostos por Laclau *et al.* (2008) em relação a alguns dos modelos listados nas tabelas 4 e 5.

Compartimento/ Espécie	Fonte	Modelo	r	Diferença entre estimativas
Folha/Eucalipto	Santos <i>et al.</i>	$\ln Y = 0,9897 + 3,9125 \ln (\text{DAP}) - 3,3317 \ln (\text{H})$	0,837	-7,8%
	Laclau <i>et al.</i> (2008)	$Y = 37,61255 C^2$		
Tronco/Eucalipto	Santos <i>et al.</i>	$\ln Y = -4,247 + 1,0080 \ln (\text{DAP}^2\text{H})$	0,998	-5,3%
	Laclau <i>et al.</i> (2008)	$Y = 15,9606(C^2H)^{0,8849}$		
Tronco/ <i>A. mangium</i>	Santos <i>et al.</i>	$\ln Y = -1,2610 + 1,7420 \ln (\text{DAP})$	0,983	+8,8
	Laclau <i>et al.</i> (2008)	$Y = 228,8193gH$		

Y: fitomassa em kg árvore⁻¹; C: circunferência à altura do peito; H: altura total; g: área basal; DAP: diâmetro à altura do peito; r: coeficiente de correlação entre as estimativas dos modelos comparados.

As diferenças entre as estimativas obtidas pelos modelos confrontados (Tabela 6) sugerem que os valores de fitomassa e das variáveis dendrométricas explanatórias utilizados na construção desses modelos sofreram influências devido às condições edafoclimáticas distintas entre as duas áreas experimentais, visto que, as espécies utilizadas, o espaçamento adotado, os arranjos testados e a idade de avaliação foram comuns entre os dois estudos. Outro fator a ser considerado, é o critério diferenciado do presente estudo, na seleção e intensidade amostral das árvores para compor o conjunto de dados. Porém, o uso dos modelos do trabalho de Laclau *et al.* (2008) pode ser uma alternativa para as presentes condições deste estudo, em ocasiões de não ser possível gerar tais equações, tendo em vista que, os valores apresentaram pequenas discrepâncias nas estimativas da fitomassa dos compartimentos das espécies testadas.

5. CONCLUSÕES

Em geral, os modelos selecionados para a estimativa de todos os compartimentos da fitomassa aérea de *Eucalyptus urograndis* e da fitomassa total e de tronco de *A. mangium* apresentaram ajustes refinados. Além disso, os modelos selecionados foram de simples aplicação, pois a maior parte deles apresentou o DAP como variável preditora, medida de fácil obtenção em campo e menos sujeita a erros.

O consorciamento com a *A. mangium* não alterou a arquitetura arbórea do eucalipto até aos 2,5 anos de idade. Ao contrário, a arquitetura da *A. mangium* foi alterada, sugerindo que esta espécie sofreu maior influência quando plantada em consórcio, fato que resultou em ausência de relação entre os compartimentos da fitomassa dessa espécie e suas variáveis dendrométricas.

As divergências na aplicação de modelos de predição de fitomassa de eucalipto e *A. mangium*, gerados em outro sítio experimental, foram atribuídas às condições edafoclimáticas distintas entre as duas áreas experimentais e quanto ao critério de amostragem. No entanto, as diferenças entre as estimativas foram pequenas, não descartando o uso destes modelos.

Acredita-se que o material produzido por este estudo servirá como subsídios para futuros estudos com estimativas a respeito do potencial econômico e do sequestro de C na fitomassa das espécies em plantios mistos de eucalipto com leguminosas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, E. L. S. **Aporte de serapilheira e crescimento inicial de Eucalipto consorciado com *Acacia mangium* Willd. e *Mimosa artemisiana* Heringer & Paula.** Monografia (Conclusão de Curso em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 24 p., 2010.

AGROTECA TANABI **Reflorestamento Eucalipto.** Disponível em: <http://www.agrotecatanabi.com.br/vendasmudas_eucalipto.html> Acesso em 3 dez. 2010.

ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 777-785, 2000.

ANDRADE, G. C.; BOGNOLA, I. A.; BELLOTE, A. F. J.; FRANCISCON, L.; WATERLOO, M. J.; BRUIJINZEEL, L. A. Site evaluation and productivity of a 3-year old stand of *Eucalyptus urograndis* in São Paulo, Brazil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 331-346, out./dez. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário Estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011. **ABRAF**, Brasília, 130 p., 2012.

ATIPANUMPAI, L. *Acacia mangium*: studies on the genetic variation in ecological and physiological characteristics of a fast-growing plantation tree species. **Acta Forestalia Fennica**, v. 206, 92 p., 1989.

BALBINOT, E.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G.; PAULINO, G. M.; LAMÔNICA, K. R. Crescimento inicial e fertilidade do solo em plantios puros e consorciados de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 27-37, mar. 2010.

BALIEIRO, F.C.; FONTES, R.L.F.; DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Accumulation and distribution of aboveground biomass and nutrients in pure and mixed stands of Guachapele and Eucalyptus. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 12, p. 2639-2654, 2002.

BALIEIRO, F.C.; FRANCO, A.A.; PEREIRA, M.G.; DIAS, L.E.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39. p.597-601, 2004a.

BALIEIRO, F.C.; FRANCO, A.A.; PEREIRA, M.G.; DIAS, L.E.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14. p.59-65, 2004b.

BALIEIRO, F. C. ; FRANCO, A. A. ; FONTES, R. L. F. ; DIAS, L. E. ; CAMPELLO, E. F. ; FARIA, S. M. . Throughfall and stemflow nutrient contents in mixed and pure plantations of

Acacia mangium, *Pseudosamanea guachapele* and *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 31, p. 339-346, 2007.

BALIEIRO, F. C. ; ALVES, B. J. R. ; Pereira M.G. ; FRANCO, A. A. ; FARIA, S. M. ; CAMPELLO, E. F. . Biological nitrogen fixation and nutrient release from litter of the guachapele leguminous tree under pure and mixed plantation with eucalyptus. **CERNE**, v. 14, p. 185-193, 2008a

BALIEIRO, F.C.; PEREIRA, M.G.; ALVES, B.J.R.; RESENDE, A.S.; FRANCO, A.A. Soil carbon and nitrogen in pasture soil reforested with eucalyptus and guachapele. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1253-1260, mai./jun. 2008b.

BALIEIRO, F.C.; OLIVEIRA, W.C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; PICCOLO, M.C.; JACCOUD, C.F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa toposeqüência em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 153-162, 2008c.

BALIEIRO, F. C. ; FRANCO, A. A. ; PEREIRA, M.G. ; CAMPELLO, E. F. ; FARIA, S. M. ; DIAS, L. E. ; ALVES, B.J.R. . Acúmulo e distribuição de biomassa e nutrientes na parte aérea de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis* em consórcio e monocultivos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. (Boletim de Pesquisa)

BAUHUS, J.; WINDEN, A.P. van; NICOTRA, A.B. Aboveground interactions and productivity in mixed species plantations of *Acacia mearnsii* and *Eucalyptus globulus*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, p. 686-694, 2004.

BINKLEY, D.; DUNKIN, K.A.; DEBELL, D.S.; RYAN, M.G. Production and nutrient cycling in mixed plantations of *Eucalyptus* and *Albizia* in Hawaii. **Forest Science**, v. 38, n. 2, p. 393-408, 1992.

BINKLEY, D., GIARDINA, C., BASHKIN, M.A. Soil phosphorous pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia facaltaria*. **Forest Ecology and Management** v. 128, p. 241–247, 2000

BOUILLET, J.-P.; LACLAU, J.-P.; GONÇALVES, J.L.M.; MOREIRA, M.Z.; TRIVELINC, P.C.O.; JOURDANA, C.; SILVA, E.V.; PICCOLO, M.C.; TSAIC, S.M.; GALIANA, A. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil: Nitrogen accumulation in the stands and biological N₂ fixation. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 3918–3930, 2008.

BURGER, D. **Modelos alométricos para a estimativa da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar, SP**. 2005. 112 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Kullback–Leibler information as a basis for strong inference in ecological studies. **Wildlife Research**, Collingwood, v. 28, p. 111-119, 2001.

BRAGA, J. L. P. **Estabilidade fenotípica de clone de *Eucalyptus urograndis*, na fazenda Bom Jardim - Aparecida - SP**. 2008. 27 f. Monografia (Conclusão de curso em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha.** 2000. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

CARVALHO, S.P.C. **Uma nova metodologia de avaliação do crescimento e da produção de *Eucalyptus* sp clonal para fins energéticos.** 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.

COELHO, S.R.F.; GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M.; MOREIRA, R.M.; SILVA, E.V.; LACLAU, J.-P. Crescimento, nutrição e fixação biológica de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [Online], v. 42, n. 6, p. 759-768, 2007.

COSTA, G. S.; FRANCO, A. A; DAMASCENO, R. N.; FARIA, S. M. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 919-927, 2004.

COSTA, A.J. **Qualidade da madeira de *E. urograndis* plantado no Distrito Federal, para a produção de celulose Kraft.** 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

CROW, T. R.; SCHLAEGEL, B. E. A guide to using regression equations for estimating tree biomass. **Northern Journal of Applied Forestry**, v. 5, n. 1, Mar., 1988.

DEBELL, D. S.; WHITESELL, C. D.; SCHUBERT, T. H. Mixed plantations of *Eucalyptus* and leguminous trees enhance biomass production. **Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station**, n. 245, 1985.

VÉLLEZ, D. A. T.; DELL VALLE, J. I. Growth and yield modelling of *Acacia mangium* in Colombia. **New Forests** v. 34: p. 293–305, 2007.

DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C. Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Acacia mangium* e *Eucalyptus pellita*. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO e SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: 1994. p.145-153.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Global Forest Resources Assessment 2010, Main Report, FAO Forestry Paper 163, 2010.

FILHO, E. P.; SANTOS, P. E. T. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas: resultados e perspectivas.** Colombo: Embrapa Florestas, 64 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 214) 2011.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A.C., GUIMARÃES, L.M.S.; ASSIS, T.F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. Editora UFV. Viçosa-MG, 2010. 200p.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, v. 209, n. 1/2, p. 147-155, 2005a.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L. Nutrient cycling in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 2942-2950, 2005b.

FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; ANNETTE L. COWIE; VANCLAY, J.K. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen-fixing trees: A review. **Forest Ecology and Management**, v. 233, n. 2/3, p. 211-230, 2006.

FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; ANNETTE L. COWIE; VANCLAY, J.K. Carbon allocation in a mixed species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, v. 233, n. 2/3, p. 275-284, 2006b.

FORRESTER, D.I.; SCHORTMEYER, M.; STOCK, W. D.; BAUHUS, J.; KHANNA, P. K.; ANNETTE L. COWIE. Assessing nitrogen fixation in mixed- and single-species plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Tree Physiology**, v. 27, p. 1319-1328, 2007.

FORTES, J. L. O. **Reabilitação de depósito de rejeito do refino de bauxita com o uso de resíduos orgânicos insutriais e leguminosas arbóreas**. 185 p., 2000. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5/6, p. 897-903, 1997.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. de ; CAMPELLO, E. F. C. Introdução das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: Seminário Sobre sistemas agroflorestais e desenvolvimento sustentável, 2003, Campo Grande. Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento sustentável. **Anais...** Campo Grande : CNPGC, 2003, p. 1-24..

FRANCO, A. A.; MACHADO, R. L.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. Bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos na recuperação de voçorocas. In: FIGUEIREDO, M. do V. B.; BURITY, H. A.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. (Ed.). **Microorganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba: Agrolivros, p. 527-545, 2008.

GALIANA, A.; BALLE, P.; N'GUESSAN KANG, A.; DOMENACH, A.M. Nitrogen fixation estimated by the ¹⁵N natural abundance method in *Acacia mangium* Willd. inoculated with *Bradyrhizobium* sp. and grown in silvicultural conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 251-262, 2002.

GARAY, I.; PELLEN, R.; KINDEL, A.; BARROS, E.; FRANCO, A. A. Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. **Applied Soil Ecology**, v. 27, p. 177-187, 2004.

GARCIA, E.A. **Caracterização física e química do solo e avaliação do desenvolvimento de plantas de eucalipto em função do espaçamento e da adubação, visando à colheita precoce para utilização em bioenergia**. 2010. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Unesp, Botucatu, 2010.

GONÇALVES, F. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos**. 2006. 167f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: EMISSÃO × seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro: [s.n.], 1994. p. 125-153.

JOHNSON, J.B.; OMLAND, K.S. Model selection in ecology and evolution. **TRENDS in Ecology and Evolution**, v. 19, n. 2, p. 101-108, Fevereiro 2004.

KHANNA, P.K. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 94, n. 1/3, p. 105-113, 1997.

KLEINPAUL, I.S. **Plantio misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agroflorestal**. 2008. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KRISNAWATI, H.; KALLIO, M.; KANNINEN, M. *Acacia mangium* Willd.: ecology, silviculture and productivity. **CIFOR**, Bogor, Indonesia, 2011.

LACLAU, J.-P.; BOUILLET, J.-P.; GONÇALVES, J.L.M.; SILVA, E.V.; C, J.; S, C.M.C.; R, M.M.; SAINT-ANDRÉ, L.; MAQUÈRE, V.; NOUVELLON, Y.; RANGER, J. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil: Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 3905-3917, 2008.

LACLAU, J.-P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J.L.M.; MAQUÈRE, V.; KRUSCHE, A.V.; M'BOU, A.T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J.-P.; PICCOLO, M.C. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1771-1785, 2010.

LIM, S.C.; GAN, K.S.; CHOO, K.T. The characteristics, properties and uses of plantation timbers - rubberwood and *Acacia mangium*. **Timber Technology Bulletin**, v. 26, p. 1-11, 2003.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do Eucalipto**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 302 p.. 1993.

LOPES, J. A. W; SILVA, M. R.; SAAD, J. C. C.; ANGÉLICO, T. S. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 217-224, 2010.

MACEDO, M.O.; RESENDE, A.S.; GARCIA, P.C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E.F.C.; FRANCO, A.A. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 1516-1524, 2008.

MACHADO R.L., CAMPELLO E.F.C., RESENDE A.S., MENEZES C.E.G., SOUZA C.M., FRANCO A.A. Recuperação de voçorocas em áreas rurais. In: Sistemas de Produção, Número 4. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, 2006 Disponível em: <http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/vocoroca/index.htm>. Acesso em: 15/05/2012

MAESTRI, R.; SANQUETTA, C.R.; MACHADO, S.A.; SCOLFORO, J.R.S.; CÔRTE, A.P.D. Viabilidade de um projeto florestal de *Eucalyptus grandis* considerando o sequestro de carbono. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3 , p. 347-360, dez. 2004.

MATTOS, C.C.L.; SILVA, M.A.R.; OLIVEIRA, M.N. COMBAT, I.B. Boletim Agrometeorológico. **Floresta e Ambiente**, v.5, n.1, p.208-215, 1998.

MELLO, S.L.M.; GONÇALVES, J.L.M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 101-111, 2008.

MONTAGNINI, F. Accumulation in aboveground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. **Forest Ecology and Management**, v. 134, p. 257-270, 2000.

NICODEMO, M. L.; LAURA, V. A.; MELOTTO, A. M.; BOCCHESI, R. A.; SCHUNKE, R. M.; BARBOSA, R. A. Avaliação de espaçamentos para eucalipto para sistemas silvipastoris no Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., Jaboticabal, SP. **Anais...** Jaboticabal: SBZ: UNESP, 2007.

NICOLETTI, M.F. **Comparação de métodos não-destrutivos de cubagem de árvores em pé visando à determinação da biomassa**. 2011. 83 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

PARROTA, J.A.; KNOWLES, O. H. Restoring of tropical Moist forest on bauxite-mined lands in Brazilian Amazon. **Restoration Ecology**, v.7 (2), p. 103-116, 1999.

PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; SILVA, M. R.; SOUZA, R. A.; FONSECA, N. R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Revista Irriga**, v. 11, n. 4, p. 518-531, 2006.

RAMOS, D.P.; CASTRO, A.F.; CAMARGO, M.N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Agronomia, v. 8, p. 1-27, 1973.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa-MG, Editora Folha de Viçosa, p. 265-301 1990.

RESH, S.C., BINKLEY, D., PARROTTA, J.A. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with Eucalyptus species. **Ecosystems** v. 5, p. 217–231, 2002.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; LEITE, H.G.; COMERFORD, N.B.; NOVAIS, R.F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 697-706, jul./ago. 2008.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S (ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: FUPEF, 2002. p. 119-140.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: [s.n], 2004. p.77-93.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010. Brasília, p. 152, 2010.

SILVA, G. T. A.; RESENDE, A.S.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, P. F.; FRANCO, A. A. O papel da fixação biológica de nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007; 36 p. (Documentos, Embrapa Agrobiologia, 231).

SILVA, E. V. ; GONÇALVES, J. L. M. ; COELHO, S. R. F. ; MOREIRA, R. M. ; MELLO, S. L. M. ; BOUILLET, J-P. ; JOURDAN, C. ; LACLAU, J-P. . Dynamics of fine root distribution after establishment of monospecific and mixed-species plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium*. **Plant and Soil**, v. 325, p. 305-318, 2009.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H.S.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, p. 185-206, 2008.

SOUZA, C. L.; PONZONI, F. J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/LANDSAT para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus spp*. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos. **Anais...** Santos: INPE, 1998. 1 CD-ROM.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; FONSECA, S.; LOOS, R.A.; TAKAHASHI, E.N.; SILVA, C.R.; SILVA, S.R.; HAKAMADA, R.E.; FERREIRA, J.M.D.A.; LIMA, A.M.N.; GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; ANDRADE, H.B.; ALVES, J.M.; SILVA, G.G.C.; AZEVEDO, M.R. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684-1694, 2010.

TONINI, H. Características em plantios e propriedades da madeira de *Acacia mangium*. In: TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B.A.; SILVA, S.J.R. **Acacia mangium: Características e seu cultivo em Roraima**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Boa Vista: Embrapa Roraima, 2010. p. 63-81.

VANDERMEER, J. **The ecology of intercropping**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 237 p.

VEIGA, R.A.A.; BRASIL, M.A.M.; CARVALHO, C.M. Aboveground biomass equations for 7-year-old *Acacia mangium* Willd in Botucatu, Brazil. In: Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. 1998, Idaho, USA. **Proceedings of IUFRO Conference**. Minnesota: USDA Forest Service North Central Research Statement, 1998, p. 430-434.

VISMARA, E.D.S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construções de equações de biomassa**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

VOIGTLAENDER, M., LACLAU, J.P., GONÇALVES, J.L.M., PICCOLO, M.C. MOREIRA, M.Z, NOUVELLON, Y., RANGER, J. BOUILLET, J.P. Introducing *Acacia mangium* trees in *Eucalyptus grandis* plantations: consequences for soil organic matter stocks and nitrogen mineralization. **Plant and Soil**, v. 352, n. 1/2, p. 99-111, 2012.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II**. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

7. ANEXOS

Anexo A: Parâmetros utilizados na abordagem inferencial para selecionar modelos de predição da biomassa de eucalipto e *A. mangium*

Modelo	Total			Folha			Galho			Tronco		
	AICc	Δ AICc	WAICc	AICc	Δ AICc	WAICc	AICc	Δ AICc	WAICc	AICc	Δ AICc	WAICc
<i>Eucalyptus urograndis</i>												
1	-40,65	0	0,46	2,65	0	1	-22,24	0	0,98	-32,88	0,97	0,26
2	-25,38	15,27	0	20,81	18,16	0	-2,61	19,63	0	-33,85	0	0,42
3	-38,19	2,46	0,14	19,13	16,48	0	-11,28	10,96	0	-30,08	3,77	0,06
4	9,96	50,61	0	30,36	27,71	0	21,93	44,17	0	3,17	37,02	0
5	-40,37	0,28	0,4	16,7	14,05	0	-13,79	8,45	0,01	-32,94	0,91	0,26
<i>A. mangium</i> (A100)												
1	44	29,21	0	50,3	25,35	0	53,27	29,53	0	38,98	29,98	0
2	15,65	0,87	0,37	25,38	0,43	0,33	23,97	0,23	0,37	9,45	0,45	0,44
3	44,79	30	0	54,86	29,91	0	53,68	29,94	0	38,72	29,73	0
4	19,71	4,92	0,05	25,8	0,84	0,27	24,94	1,2	0,22	17	8,01	0,01
5	14,79	0	0,58	24,95	0	0,41	23,74	0	0,41	9	0	0,55
<i>A. mangium</i> (A50E50)												
1	52,46	29,68	0	54,86	29,82	0	50,33	29,97	0	54,12	29,67	0
2	25,31	2,53	0,18	26,09	1,04	0,27	22,6	2,23	0,21	27,01	2,55	0,18
3	53,83	31,05	0	54,91	29,86	0	48,5	28,13	0	56,2	31,75	0
4	22,78	0	0,65	25,05	0	0,46	20,37	0	0,64	24,45	0	0,65
5	25,53	2,75	0,16	26,1	1,06	0,27	23,17	2,8	0,16	27,21	2,76	0,16
<i>A. mangium</i> (A100E100)												
1	49,13	29,67	0	49,43	29,79	0	53,6	30	0	47,56	29,68	0
2	21,65	2,19	0,2	20,02	0,39	0,32	23,6	0	0,39	22,99	5,1	0,07
3	50	30,54	0	49,43	29,8	0	52,93	29,34	0	50,36	32,48	0
4	19,46	0	0,6	20,2	0,56	0,29	24,6	1,01	0,24	17,88	0	0,86
5	21,67	2,21	0,2	19,63	0	0,39	23,69	0,1	0,37	22,75	4,87	0,08

AIC: Valor do critério de informação de Akaike de segunda ordem; Δ AICc: Medida de plausibilidade; WAICc: Peso de Akaike;

Anexo B: Melhores modelos selecionados para *Eucalyptus urograndis* em plantios puros ou consorciados com *A. mangium*

Componente	Modelo selecionado	r^2_{ajust}	S_{yx}	CV %
E100				
Folha	$\text{Ln } Y = -0,4242 + 0,8290 \text{ Ln (DAP)}$	0,0620	0,4645	10,30
Galho	$\text{Ln } Y = -4,5369 + 0,8302 \text{ Ln (DAP}^2\text{H)}$	0,9943	0,0520	1,33
Tronco	$\text{Ln } Y = -3,7600 + 2,9330 \text{ Ln (DAP)}$	0,9808	0,1183	0,57
Total	$\text{Ln } Y = -2,2230 + 2,4300 \text{ Ln (DAP)}$	0,9623	0,1385	0,48
E100+N				
Folha	$\text{Ln } Y = -3,1590 + 1,9190 \text{ Ln (DAP)}$	0,5752	0,2630	4,81
Galho	$\text{Ln } Y = -3,6130 + 2,1480 \text{ Ln (DAP)}$	0,7430	0,2088	3,38
Tronco	$\text{Ln } Y = -3,5580 + 2,8420 \text{ Ln (DAP)}$	0,9463	0,1150	0,30
Total	$\text{Ln } Y = -2,7800 + 2,6430 \text{ Ln (DAP)}$	0,9475	0,1057	0,21
A50E50 Eucalipto				
Folha	$\text{Ln } Y = -3,8780 + 2,3530 \text{ Ln (DAP)}$	0,9669	0,1364	2,27
Galho	$\text{Ln } Y = -5,1390 + 2,8240 \text{ Ln (DAP)}$	0,9805	0,1249	2,26
Tronco	$\text{Ln } Y = -3,9954 + 0,9714 \text{ Ln (DAP}^2\text{H)}$	0,9924	0,0680	0,26
Total	$\text{Ln } Y = -3,7022 + 0,9821 \text{ Ln (DAP}^2\text{H)}$	0,9980	0,0354	0,09
A100E100 Eucalipto				
Folha	$\text{Ln } Y = -2,6340 + 1,7260 \text{ Ln (DAP)}$	0,9715	0,0923	4,77
Galho	$\text{Ln } Y = -6,4120 + 1,0430 \text{ Ln (DAP}^2\text{H)}$	0,9998	0,0100	0,22
Tronco	$\text{Ln } Y = -3,3140 + 2,7350 \text{ Ln (DAP)}$	0,9823	0,1148	0,94
Total	$\text{Ln } Y = -2,6180 + 2,5660 \text{ Ln (DAP)}$	0,9884	0,0871	0,46

Onde: Y representa o valor da fitomassa em Kg árvore⁻¹; DAP: Diâmetro à altura do peito; H: Altura total; r^2_{ajust} : coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} : Erro padrão da estimativa; CV%: Coeficiente de variação em porcentagem.