Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Biomassa e carbono no estrato arbóreo em área restaurada de Mata Atlântica

Susane Rasera

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção
em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2019

Susane Rasera
Engenheira Florestal

Biomassa e carbono no estrato arbóreo em área restaurada de Mata Atlântica

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **FLÁVIO BERTIN GANDARA MENDES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção
em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Rasera, Susane

Biomassa e carbono no estrato arbóreo em área restaurada de Mata Atlântica / Susane Rasera. - - Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011 - - Piracicaba, 2019.

92 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Biomassa e carbono 2. Restauração florestal 3. Mata Atlântica 4. Modelos de predição 5. Manejo silvicultural de espécies nativas I. Título

AGRADECIMENTOS

Ao meu professor Flávio Bertin Gandara Mendes, pela orientação, compreensão e energia que transmite diariamente e faz com que eu me sinta em casa quando estou no laboratório. Agradeço imensamente por ter me acolhido!

Ao querido Paulo Yoshio Kageyama, que me conquistou logo no início da graduação pela paixão ao lutar pelos movimentos sociais, agricultura familiar, agroecologia e conservação das espécies! Obrigada pela inspiração, ensinamentos e oportunidade em iniciar o projeto de mestrado.

Aos amigos Engenheiros Florestais que tanto me ensinam: Eduardo Gusson, Girlei Costa da Cunha e Frederico Tomás de Souza Miranda. Obrigada por esses anos de companheirismo e aprendizado!

À incrível equipe da Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, que fizeram possível o desenvolvimento desse trabalho: João Carlos Teixeira Mendes, José Valdir Furtado da Silva, Sidney Felix de Souza, Antonio Carlos Pedrozo, Estevão Araújo e a querida Dona Esmeralda.

A todos que passaram pelo LAGRO e me ajudaram com as infinitas amostras e idas à campo: Gabriela Sanches Dolenc, Lucas Augusto Abra Vieira, Pedro Victor Pimenta Pereira, Maria Elisa Russo Mafra Machado, Kerolin Moreira Amarante, Aaron Domingues Gonçalves da Silva, João Fernando Succar Tacla, Lucas Baroncini Gusson.

À Elza Ferraz, pela ajuda e conselhos.

Ao Edgar de Souza Vismara, por todo ensinamento e paciência.

Aos professores e técnicos dos laboratórios do LCF: professores José Nivaldo Garcia, José Otávio Brito, Francides Gomes da Silva Junior e Mario Tommasiello Filho; aos técnicos Luis Eduardo Facco, Udemilson Luiz Ceribelli, Aparecido Candido Siqueira e Alba Valério Masetto; aos alunos Maiara Tetti, Ananias Francisco Dias Júnior e Artur Lana.

À República Balaio, por todos os momentos vividos. Família, refúgio, amizade, alegria!

Aos meus grandes amigos, por todo companheirismo e felicidade. Que sorte a minha ter encontrado vocês!

À minha irmã, que no papel de mais velha, foi vivendo. E eu fui aprendendo junto. Que possamos compartilhar a vida cada vez mais juntas.

Ao meu pai, por me ensinar a fazer o certo, a olhar pro outro, a não ter vergonha do trabalho pesado, a ser humilde e, desde que se foi, a sentir a maior saudade do mundo.

À minha mãe, a mulher mais forte e inspiradora que conheci! Aquela que me ensinou a sempre viver e enfrentar os problemas com um sorriso no rosto, a escutar os outros e a valorizar cada amizade. Maior vontade de viver nunca vi! Obrigada por todo apoio!

À CAPES, pela bolsa concedida, sendo que “o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAIS E MÉTODOS	13
2.1. ÁREA DE ESTUDO	13
2.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	13
2.2.1. <i>Parcelas experimentais</i>	15
2.3. DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA	18
2.3.1. <i>Método gravimétrico</i>	19
2.3.2. <i>Método volumétrico</i>	22
2.3.3. <i>Biomassa pelo método volumétrico e gravimétrico</i>	24
2.4. ALOCAÇÃO DE BIOMASSA NAS ÁRVORES ABATIDAS	24
2.4.1. <i>Alocação da biomassa total acima do solo</i>	24
2.4.2. <i>Alocação de biomassa nos compartimentos arbóreos</i>	25
2.5. CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE PREDIÇÃO DE BIOMASSA.....	25
2.5.1. <i>Equações de predição de biomassa e variáveis preditoras</i>	25
2.5.2. <i>Ajuste de equações com variáveis categóricas</i>	26
2.5.3. <i>Predição da biomassa e avaliação dos modelos de predição</i>	27
2.6. ALOCAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS	30
2.6.1. <i>Equações de predição de biomassa</i>	30
2.6.2. <i>Análise dos dados</i>	30
2.6.3. <i>Teor de carbono</i>	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
3.1. DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA	33
3.1.1. <i>Alocação da biomassa total</i>	38
3.1.2. <i>Alocação de biomassa nos compartimentos arbóreos</i>	42
3.2. CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE PREDIÇÃO DE BIOMASSA.....	46
3.2.1. <i>Equações de predição de biomassa e variáveis preditoras</i>	46
3.2.1.1. <i>Ajuste de equações de biomassa total acima do solo</i>	46
3.2.1.2. <i>Ajuste de equações de biomassa do tronco</i>	48
3.2.1.3. <i>Ajuste de equações de biomassa da copa</i>	49
3.2.1.4. <i>Ajuste de equações de biomassa de raiz</i>	52
3.2.2. <i>Ajuste de equações com variáveis categóricas</i>	56
3.3. ALOCAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS	62
3.3.1. <i>Equações de predição de biomassa</i>	62
3.3.2. <i>Alocação de biomassa na área experimental</i>	64
4. CONSIDERAÇÕES	73
5. CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS.....	77
ANEXOS	79

RESUMO

Biomassa e carbono no estrato arbóreo em área restaurada de Mata Atlântica

Frente às mudanças climáticas, foi estabelecido via Acordo de Paris o compromisso do Brasil em reduzir as emissões de gases do efeito estufa em 37% até 2025 e 43% até 2030. A restauração de 12 milhões de hectares de florestas, dado o potencial das florestas em sequestrar carbono, é apresentada como uma das formas para atingir essas metas. Assim, entender o real potencial das florestas plantadas em sequestrar carbono, obtido via quantificação da biomassa, torna-se de grande importância e oportunidade. O objetivo do trabalho foi desenvolver modelos de predição de biomassa do estrato arbóreo para uma área restaurada com 12 anos de idade e avaliar a alocação de biomassa e carbono na vegetação arbórea em relação ao manejo silvicultural, arranjo de espécies e espaçamento de plantio nessa mesma área, localizada na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, pertencente à ESALQ/USP. Para desenvolvimento das equações foi realizado o abate de 100 indivíduos arbóreos das 20 espécies presentes na área, escolhidos segundo uma amostragem estratificada em cinco classes de diâmetro por espécie. Em todas as árvores foi realizada cubagem rigorosa do tronco e galhos grossos e tiradas medidas de DAP, Altura total e Altura do tronco. Em seguida, foram divididas em quatro compartimentos: raízes, tronco, galhos grossos e copa, composta por galhos finos e folhas, e pesadas separadamente. De cada compartimento foram obtidas amostras para determinação do teor de umidade e densidade básica dos discos, retirados em três posições do tronco: base, meio e topo e um na parte dos galhos grossos. Foram desenvolvidas quatro equações para predição de biomassa: Biomassa total acima do solo (Btas), Biomassa de tronco (Btr), Biomassa de copa (Bcp) e Biomassa de raiz (Brz). Para ajuste dos modelos foram testadas duas equações lineares, comumente utilizadas no meio florestal para cálculo de volume, e variações dessas equações com a inclusão de cinco variáveis preditoras: DAP, Altura, Altura do tronco, Comprimento de Copa e Densidade básica da madeira do tronco. As melhores equações obtidas incluíram pelo menos o DAP e densidade básica da madeira, sendo esta essencial para melhoria nos critérios de seleção de modelos. A aplicação das equações aos dados do inventário realizado em 2016 na área levou a estimativas de fixação de biomassa e carbono do estrato arbóreo bem variáveis entre os tratamentos, indo de 27,7 a 157,7 Mg.ha⁻¹ para biomassa e de 13,0 a 74,1 Mg.C.ha⁻¹ para carbono. As melhores parcelas apresentaram valores próximos aos encontrados em outros estudos em áreas de reflorestamento, mas abaixo do encontrado em florestas maduras.

Palavras-chave: Restauração florestal; Mudanças climáticas; Biomassa e carbono; Modelos de predição

ABSTRACT

Biomass and carbon in the arboreal stratum in an Atlantic Forest restoration area

In response to climate change, Brazil's commitment to reduce greenhouse gas emissions by 37% by 2025 and 43% by 2030 was established through the Paris Agreement. The restoration of 12 million hectares of forests, given the potential of forests in sequestering carbon, is presented as one of the ways to achieve these goals. Thus, understanding the real potential of planted forests to sequester carbon, obtained through the quantification of biomass, becomes of great importance and opportunity. The objective of this work was to develop biomass prediction models of the arboreal stratum for a restored area of 12 years old and to evaluate the biomass and carbon allocation in tree vegetation in relation to silvicultural management, species arrangement and planting spacing. The study area is part of an experimental study titled "Models for the Recovery of Atlantic Forest Degraded Areas", located at the Experimental Station of Forestry Sciences of Anhembi, belonging to ESALQ / USP. For the development of the equations, 100 individuals of the 20 species present in the area were felled according to a stratified sampling in five diameter classes per species. In all the trees was carried out rigorous volume measurements of the trunk and thick branches and taken dimensions of DBH, Total Height and Trunk Height. They were divided into four compartments: roots, trunk, thick branches and canopy, composed of thin branches and leaves, and weighed separately. From each compartment were taken samples to determine the moisture content and basic density of the discs, taken in three positions of the trunk: base, middle and top and one in the part of the thick branches. Four biomass prediction equations were developed: Total Biomass Above the Soil (Btas), Trunk Biomass (Btr), Canopy Biomass (Bcp) and Root Biomass (Brz). Two linear equations commonly used to calculate tree volume and its variations with the inclusion of five predictive variables: DBH, Height, Trunk Height, Cup Length and Basic Density of the trunk wood were used to develop the equations. The best equations obtained included at least the DBH and basic wood density, which is essential for improvement in the model selection criteria. The application of the equations in the inventory carried out in 2016 in the area led to estimates of biomass and carbon values of the tree stratum very variable between the treatments, ranging from 27.7 to 157.7 Mg.ha⁻¹ for biomass and 13.0 to 74.1 Mg.C.ha⁻¹ for carbon. The best plots presented values close to those found in other studies in reforestation areas, but lower than those found in mature forests.

Keywords: Forest restoration; Climate changes; Biomass and carbon; Prediction models

1. INTRODUÇÃO

Emissões antrópicas de gases do efeito estufa (GEEs), principalmente pelo uso de combustíveis fósseis e, em menor escala, pela mudança do uso da terra, têm aumentado desde a época pré-industrial. Essas ações, diretamente ligadas ao crescimento econômico e populacional, têm elevado as concentrações de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso na atmosfera (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

Estimativas de emissões de GEEs por deflorestamentos ou de sequestro por reflorestamentos, entretanto, são cercadas de incertezas, pela dificuldade em determinar o estoque real de carbono dentro das florestas. Nesse mesmo sentido, florestas tropicais detêm grandes reservas de carbono, mas sua contribuição quantitativa para o ciclo global do carbono permanece incerta (CHAVE et al., 2005).

No contexto de mudanças climáticas, o Brasil assumiu o compromisso no Acordo de Paris em reduzir as emissões de gases do efeito estufa em 37% até 2025 e 43% até 2030, tendo como ano-base 2005. Para atingir essas metas, no setor de Mudanças do Uso da Terra, o país se comprometeu em restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas (MMA, 2017). Assim, aliado à demanda legal em restaurar áreas de preservação permanente (APPs) e reservas legais (RLs), projetos de reflorestamento que aliem a conservação da Mata Atlântica e funcionem como sumidouro de CO₂ são de grande importância e potencialidade. Para tanto, equações alométricas de predição de biomassa desenvolvidas especificamente para áreas restauradas de Mata Atlântica são extremamente necessárias.

A determinação do estoque de carbono pode ser obtida pela multiplicação da biomassa seca pelo teor de carbono. Dessa forma, a determinação da biomassa é o ponto crucial para levar a estimativas corretas da fixação de CO₂ em florestas.

A biomassa arbórea pode ser quantificada tanto pelo método direto (método destrutivo) como pelo método indireto, através de estimativas da biomassa a partir de equações alométricas, que, por sua vez, são fundamentadas no método direto.

A construção de modelos empíricos de predição permite determinar a biomassa da floresta em pé a partir de atributos dendrométricos das árvores. Para construção desses modelos, realiza-se o abate de alguns indivíduos arbóreos a partir de uma amostragem estratificada da floresta em estudo.

A determinação direta de biomassa do estrato arbóreo pode ser realizada na árvore como um todo ou separando a árvore em diferentes compartimentos, como raízes, fuste, galhos e folhas (VISMARA, 2009).

É possível determinar diretamente a biomassa por dois métodos de medição: o método gravimétrico e o método volumétrico. No método gravimétrico a biomassa é determinada pela pesagem do componente da árvore, obtendo-se sua massa verde, e coleta de amostra desse componente para determinação do seu teor de umidade em laboratório. A biomassa de cada componente da árvore é obtida, então, pelo produto da massa verde e do teor de umidade de cada componente (BATISTA et al, 2014).

No método volumétrico a biomassa é obtida através do produto do volume, determinado por algum método de cubagem rigorosa, pela densidade básica da madeira (determinada em laboratório, retirando-se amostras do lenho na forma de discos). Diferentemente do método gravimétrico, esse é indicado apenas para componentes lenhosos da árvore, cujos volumes possam ser determinados por cubagem (BATISTA et al, 2014).

Nota-se que o método volumétrico apresenta duas fontes de erros, uma em relação à incerteza na determinação do volume (ao envolver erro no processo de medição e de aproximação da forma geométrica do lenho) e outra na determinação da densidade básica média (que também envolve erro associado ao processo de medição), ambas em nível de árvore ou mesmo de espécie. O método gravimétrico, entretanto, apresenta como fonte de incerteza apenas a estimativa do teor de umidade em laboratório (VISMARA, 2009; BATISTA et al, 2014).

Apesar da densidade básica da madeira ser diretamente relacionada à biomassa das árvores, é comumente desconsiderada como variável preditora nos modelos pelo trabalho em ser determinado em laboratório (GUSSON, 2014). No entanto, existe muita variação na densidade básica entre indivíduos de uma mesma espécie, sendo essas variações devido à idade, localização geográfica, aos aspectos climáticos e de manejo e às variações genotípicas dentro da espécie (VITAL, 1984 Apud VISMARA, 2009).

Considerando que o estoque de carbono na biomassa arbórea varia conforme a tipologia florestal, regime de manejo, espécie, idade, entre outros, considera-se importante o estudo de biomassa e estoque de carbono em áreas de processo de restauração e em florestas naturais. Essa importância está ligada à busca pela padronização nas metodologias de

quantificação de biomassa e carbono que possam levar a estimativas confiáveis e possíveis de comparação (SILVA, 2014).

Em complementação, Chave et al. (2005) afirmam que a falta de padronização de modelos alométricos que permitam quantificar a biomassa acima do solo é uma das principais fontes de incertezas dos estoques de carbono em florestas tropicais. Da mesma forma, Vismara (2009) aponta que há uma lacuna de informações sobre o potencial dos ecossistemas florestais em sequestrar carbono, sendo poucos os trabalhos envolvendo modelagem de biomassa e carbono.

Diante dessa questão, Gusson (2014) apresenta que estudos com esse enfoque, em diferentes ecossistemas florestais - que permitam levantar informações que possam ser utilizadas nos inventários de emissões, estocagens ou remoções de GEEs - apresentam-se como um importante tema para a comunidade científica.

Adicionalmente, expõe que essas informações podem subsidiar decisões na esfera das políticas públicas, como ações de combate ao desmatamento e incentivos aos reflorestamentos, de forma que metas internas de redução de emissões de GEEs sejam atingidas.

Nesse sentido, os objetivos do presente trabalho são i) desenvolver equações de predição de biomassa total do estrato arbóreo e de seus diferentes compartimentos (raiz, tronco e copa), tendo-se 100 árvores de 20 espécies nativas de Mata Atlântica abatidas em uma área experimental em restauração aos 12 anos de idade; e ii) avaliar a alocação de biomassa e carbono na vegetação arbórea em relação ao manejo silvicultural, arranjo de espécies e espaçamento de plantio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi da Universidade de São Paulo, em um ensaio experimental intitulado “Modelos de Recuperação de Áreas Degradadas da Mata Atlântica”. Realizado através de convênio entre ESALQ/IPEF e Petrobrás, o experimento foi instalado em março de 2004, em área destinada à Reserva Legal da Estação Experimental, ao longo do reservatório de Barra Bonita do rio Tietê. Geograficamente, situa-se entre os paralelos 22° 43’ 22” de latitude sul e 48° 10’ 32” longitude oeste e a 455m de altitude.

O clima, segundo Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado como mesotérmico de inverno seco, sendo a temperatura média de 23°C e a precipitação média anual de 1100mm. Existe um déficit hídrico de 20mm durante o período seco, entre maio e agosto (FEREZ et al., 2015).

Originalmente inserido em área de Floresta Mesófila Semidecídua (CÉSAR, 1988), possui como solo predominante o Latossolo Amarelo Distrófico, com composição de 5% de silte, 13% de argila e 82% de areia, segundo mapeamento da própria Estação Experimental.

2.2. Delineamento experimental

O ensaio experimental foi instalado em março de 2004 em área abandonada de pasto degradado e dominada por gramínea exótica *Urochloa decumbens*, controlada com glifosato (7 L. ha⁻¹) e capina mecânica. Iscas formicidas a base de sulfluramida, para controle de formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, foram aplicadas sistematicamente em todos os tratamentos a cada seis meses. Para preparo do solo foi utilizado subsolador a 60 cm de profundidade, com espaçamento de 3 metros entre as linhas.

No planejamento e implantação do experimento, foi utilizado como critério de seleção de espécies e arranjo destas em campo os grupos ecológicos (GE). Posteriormente, as mesmas espécies implantadas foram classificadas em grupos de velocidade de crescimento esperado (GC). Essa classificação foi baseada em dados empíricos, oriundos de experiências em plantios de restauração florestal.

Os grupos ecológicos foram divididos em espécies Pioneiras, Secundárias Iniciais, Secundárias Tardias e Climáticas. Os grupos de velocidade de crescimento, por sua vez, foram classificados em espécies de Rápido, Moderado e Lento crescimento.

Composto por 20 espécies nativas (Tabela 1), o experimento possui delineamento fatorial completo (2^3), em 4 blocos ao acaso. Sendo três fatores estudados, com dois níveis em cada fator, tem-se 8 tratamentos, que, distribuídos nos 4 blocos, somam 32 parcelas experimentais. Adicionalmente, em cada bloco existem outras duas parcelas: testemunha, que serve de “Linha base” do experimento, sendo mantida intacta desde a instalação com a vegetação preexistente; e destrutiva, para estudos de biomassa arbórea aérea e de raiz, bem como densidade da madeira e conteúdo de carbono. Dessa forma, são 40 parcelas experimentais no total, ocupando uma área de aproximadamente 5 hectares. O croqui da área está contido no Anexo A.

Os três fatores estudados foram: Arranjo de espécies, Adensamento e Tecnologia silvicultural, sendo estes:

Arranjo de espécies: proporção de espécies pioneiras e não pioneiras, sendo:

- A. 50% pioneiras + secundárias iniciais e 50% secundárias tardias + climáticas;
- B. 66% pioneiras + secundárias iniciais e 34% secundárias tardias + climáticas.

Adensamento: diferentes espaçamentos de plantio, sendo:

- 1. Espaçamento 3m x 1m: área por indivíduo de $3,0\text{m}^2 = 3.333$ árvores/ha;
- 2. Espaçamento de 3m x 2m: área por indivíduo de $6,0\text{m}^2 = 1.667$ árvores/ha.

Tecnologia silvicultural: dois níveis tecnológicos de implantação e manutenção da área:

- U. Manejo Usual: Preparo do solo + Adubação de base em covetas laterais + Capina manual na linha e roçada na entrelinha até o 2º ano + controle sistemático de formiga realizado semestralmente;
- X. Manejo Intensivo: Preparo de solo + Adubação de base em covetas laterais, aplicação de calcário aos 12 meses e adubação de cobertura aos 12 e 24 meses + capina manual na linha e aplicação de glifosato na entrelinha, realizados a cada 3

meses para manter a área livre de matocompetição + controle sistemático de formiga realizado semestralmente.

Tabela 1. Relação de espécies utilizadas no ensaio experimental, suas respectivas siglas, bem como informações de família, Grupo de Crescimento esperado (GC): Rápido (R), Moderado (M) e Lento (L) e Grupo Ecológico (GE): Pioneira (P); Secundária Inicial (SI); Secundária Tardia (ST); e Clímax (CL).

Nome popular	Nome científico	Família	Sigla	GC	GE
Algodoeiro	<i>Heliocarpus americanus</i> L.	Malvaceae	AL	R	P
Aroeira Pimenteira	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Anarcadiaceae	AP	R	P
Canafístula	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Fabaceae	CF	R	SI
Monjoleiro	<i>Senegalia poplyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	Fabaceae	MO	R	SI
Mulungu	<i>Erythrina mulungu</i> Mart.	Fabaceae	ML	R	SI
Mutambo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae	MT	R	SI
Sangra D'água	<i>Croton urucurana</i> Baill.	Euphorbiaceae	SD	R	P
Açoita Cavalo	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	Malvaceae	AC	M	SI
Dedaleiro	<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	Lythraceae	DE	M	ST
Figueira Branca	<i>Ficus guaranítica</i> Chodat	Moraceae	FB	M	ST
Ipê-Roxo-de-Bola	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Bignoniaceae	IR	M	ST
Jacarandá	<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.	Bignoniaceae	JA	M	ST
Paineira Rosa	<i>Chorisia speciosa</i> A.St.-Hil.	Malvaceae	PA	M	ST
Timburil	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	TI	M	SI
Amendoim Bravo	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Fabaceae	AM	L	SI
Cabreúva	<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	Fabaceae	CB	L	CL
Cedro Rosa	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Meliaceae	CE	L	ST
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae	JT	L	CL
Jequitibá Branco	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	Lecythidaceae	JE	L	ST
Lapacho	<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.	Fabaceae	LA	L	CL

Para abate das árvores foram utilizadas as parcelas destrutivas, destinadas exatamente para estudos de estimacão de biomassa e carbono. Essas parcelas foram instaladas em espaçamento 3 x 2, com uma proporção de espécies de 50% pioneiras e 50% não pioneiras e manejadas de forma intensiva.

2.2.1. Parcelas experimentais

Cada parcela experimental possui uma área de 1260 m², sendo 14 linhas (42 metros) por 30 metros. Ou seja, nas parcelas de espaçamento 3 x 1, são 14 linhas por 30 plantas, sendo a parcela útil de 12 linhas por 22 plantas. Nas parcelas de espaçamento 3 x 2m, são 14 linhas

por 15 plantas na parcela total e 12 linhas por 11 plantas na parcela útil. Essa diferenciação entre parcela total e parcela útil vem da necessidade em estabelecer bordaduras entre plantas, para que uma parcela e seu tratamento não interfira na outra.

São quatro diferentes croquis existentes para o ensaio:

Parcelas A1: proporção 50:50 e espaçamento 3x1 (Figura 1);

Parcelas A2: proporção 50:50 e espaçamento 3x2 (Figura 2);

Parcelas B1: proporção 66:34 e espaçamento 3x1 (Figura 3);

Parcelas B2: proporção 66:34 e espaçamento 3x2 (Figura 4);

O fator Manejo silvicultural não interfere na distribuição dos indivíduos dentro da parcela, mas é aplicado nesses quatro tratamentos mencionados, levando ao total de oito tratamentos, como mencionado anteriormente.

As espécies foram todas distribuídas de forma aleatória na parcela. Nas parcelas de proporção 50:50, a distribuição dessas espécies considerou a alternância entre uma pioneira ou secundária inicial e uma secundária tardia ou climática. Naquelas de proporção 66:34, a distribuição foi dada por uma secundária tardia ou climática seguida por dois indivíduos de espécies pioneiras ou secundárias iniciais.

Figura 1. Croqui da parcela A1 (proporção de 50% espécies pioneiras e secundárias iniciais e 50% de secundárias tardias e climáticas; espaçamento de plantio de 3 x 1m. A área central em destaque é a área útil da parcela. As espécies estão representadas pelas suas siglas, apresentadas na Tabela 1.

Figura 2. Croqui da parcela A2 (proporção de 50% espécies pioneiras e secundárias iniciais e 50% de secundárias tardias e climáticas; espaçamento de plantio de 3 x 2m. A área central em destaque é a área útil da parcela. As espécies estão representadas pelas suas siglas, apresentadas na Tabela 1.

Figura 3. Croqui da parcela B1 (proporção de 66% espécies pioneiras e secundárias iniciais e 34% de secundárias tardias e climáticas; espaçamento de plantio de 3 x 1m. A área central em destaque é a área útil da parcela. As espécies estão representadas pelas suas siglas, apresentadas na Tabela 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	MO	CB	SD	AP	JA	CF	AP	CE	AL	CF	JT	MO	AL	JA	SD
2	AP	MT	JA	TI	MO	DE	TI	TI	DE	MO	ML	JE	MO	TI	FB
3	PA	ML	SD	LA	TI	SD	FB	AM	SD	LA	AM	TI	JA	CF	SD
4	MT	JE	MO	TI	FB	ML	MT	DE	ML	MO	JE	CF	AM	CE	TI
5	AP	AL	PA	AP	MO	JT	AL	MO	DE	AL	MT	LA	AL	AL	JA
6	IR	AP	AP	JA	MT	AP	JE	AM	SD	CB	MT	AP	JA	AL	SD
7	SD	JT	CF	ML	FB	CF	AC	JT	CF	ML	JE	CF	AM	CE	AM
8	AC	ML	CE	SD	TI	CE	AP	CF	CE	AP	MT	IR	AL	AL	DE
9	IR	TI	SD	CB	ML	SD	IR	AM	AP	CB	TI	AP	PA	MO	AM
10	SD	JE	CF	AC	FB	AM	AC	CB	TI	AC	JE	AC	AM	JT	AM
11	AL	AP	CE	SD	ML	PA	AP	ML	PA	SD	ML	PA	AL	SD	DE
12	PA	ML	AL	CB	MT	AL	JT	MT	AL	IR	MT	AL	LA	AL	MT
13	AC	CB	CF	AC	IR	MO	MT	IR	AC	MO	JT	AC	AM	LA	AM
14	AP	AC	FB	AP	AC	LA	ML	SD	FB	AL	AL	LA	CF	AL	DE

Pioneiras
 Sec. Iniciais
 Sec. Tardias
 Climáticas

Figura 4. Croqui da parcela B2 (proporção de 66% espécies pioneiras e secundárias iniciais e 34% de secundárias tardias e climáticas; espaçamento de plantio de 3 x 2m. A área central em destaque é a área útil da parcela. As espécies estão representadas pelas suas siglas, apresentadas na Tabela 1.

2.3. Determinação da biomassa

Os indivíduos arbóreos abatidos foram selecionados segundo uma amostragem estratificada, sendo a classe de diâmetro o estrato. Foram cinco as classes de diâmetros estabelecidas por espécie, sendo um indivíduo por classe. Essas cinco classes foram definidas por inventário realizado em todo o experimento em janeiro de 2016.

Nesse inventário foram coletados dados de diâmetro aos 30cm de altura do solo (D30), diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total. Todas as parcelas experimentais foram inventariadas e a partir da distribuição dos DAPs foi realizada a estratificação em cinco classes de diâmetro.

Sendo 20 espécies presentes na área e cinco indivíduos abatidos por espécie, totalizou-se 100 árvores estudadas. A relação desses indivíduos abatidos, com informações de diâmetro e altura está contida na Tabela 2.

Nota-se que, para algumas espécies, houve dificuldade em encontrar, dentro das parcelas destrutivas, árvores que se encaixassem nas classes de diâmetro estabelecidas tomando-se como base o inventário de todas as parcelas. Assim, para algumas espécies, algumas classes tiveram valores próximos de diâmetro, como é o caso do Jequitibá branco (*Cariniana estrellensis*), Figueira branca (*Ficus guaranítica*) e Cabreúva (*Myroxylon peruiferum*).

Três das cinco árvores abatidas tiveram suas raízes amostradas. Estabeleceu-se, a princípio, retirar raízes das classes de diâmetro 1, 3 e 5. Entretanto, algumas alterações foram feitas por dificuldade da operacionalização em campo dessa atividade.

Tabela 2. – Diâmetro e altura de cada uma das árvores abatidas, separadas por espécie e classe de diâmetro.

Espécie	DAP (cm)					Altura (m)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<i>Heliocarpus americanus</i>	11,8	13,2	19,8	27,1	31,1	11,0	9,5	9,9	9,7	8,8
<i>Schinus terebinthifolius</i>	9,2	11,5	13,5	18,2	20,7	9,3	10,2	9,3	11,0	9,5
<i>Peltophorum dubium</i>	5,3	10,2	20,7	21,8	26,5	8,5	11,3	16,3	13,5	13,9
<i>Senegalia poplyphylla</i>	9,0	15,3	19,0	30,0	32,8	10,0	11,8	11,3	13,5	14,5
<i>Erythrina mulungu</i>	11,5	19,3	23,5	31,2	47,5	9,1	11,0	14,2	13,5	15,7
<i>Guazuma ulmifolia</i>	5,9	9,5	13,0	16,4	18,5	7,7	10,3	12,0	12,1	13,5
<i>Croton urucurana</i>	9,8	14,0	21,5	26,0	36,0	9,8	10,7	14,4	12,8	10,8
<i>Luehea divaricata</i>	8,3	9,0	11,7	14,9	21,5	9,7	9,3	10,5	11,3	11,8
<i>Lafoensia pacari</i>	5,3	8,5	11,3	12,6	16,5	7,0	10,9	11,8	10,4	10,9
<i>Ficus guaranítica</i>	5,9	10,6	10,8	16,3	17,0	6,4	10,4	10,3	11,5	10,4
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	8,5	11,3	14,5	16,3	19,5	11,0	11,9	12,5	10,7	12,2
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	9,2	12,2	19,0	22,8	29,5	10,5	7,8	14,8	14,3	12,6
<i>Chorisia speciosa</i>	6,0	10,8	13,8	15,0	25,0	9,1	10,8	7,7	10,2	13,6
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	7,5	11,0	14,8	20,3	30,7	5,5	10,2	13,0	14,8	15,8
<i>Pterogyne nitens</i>	6,4	10,0	11,4	14,2	26,0	10,3	11,7	10,8	14,1	15,0
<i>Myroxylon peruiferum</i>	5,0	6,4	6,4	8,4	9,5	6,1	8,0	6,6	7,0	10,0
<i>Cedrela fissilis</i>	6,1	8,5	9,4	12,3	20,5	5,7	7,1	8,0	11,1	10,0
<i>Hymenaea courbaril</i>	8,5	13,4	16,3	18,5	20,4	11,1	12,1	11,5	13,7	15,4
<i>Cariniana estrellensis</i>	7,0	10,8	12,5	16,0	16,3	5,8	11,6	10,8	13,9	11,4
<i>Poecilanthe parviflora</i>	5,9	7,0	9,9	11,7	13,7	6,5	7,0	8,0	8,1	10,2

2.3.1. Método gravimétrico

A determinação da biomassa pelo método gravimétrico foi realizada para parte aérea e raiz, sendo a parte aérea dividida nos seguintes compartimentos (Figura 5):

- i) Tronco: porção do caule que vai da base da árvore até a primeira bifurcação;
- ii) Galhos grossos: galhos com até 5cm de diâmetro, que partem da bifurcação;
- iii) Copa: composta por galhos finos (diâmetros menores que 5cm), ramos e folhas.

Figura 5. Compartimentos de *Cedrela fissilis* da classe 5 de diâmetro.

Assim que derrubadas, das árvores foram tomadas medidas de diâmetro aos 30cm de altura (D30), diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (Ht) e altura do tronco (Htr), dada pela altura da base até a primeira bifurcação.

Cada árvore, quando abatida, foi separada em seus respectivos compartimentos e estes foram pesados com dinamômetro com capacidade de carga máxima de 500 kg e precisão em decigramas. Amostras de cada compartimento foram retiradas para determinação do teor de umidade, sendo pesadas em balança digital eletrônica com capacidade de carga de 10 kg e precisão em miligramas.

Para determinação do teor de umidade, da porção da copa e de raízes foram retiradas amostras em média de 350g e 450g, respectivamente. Da parte dos galhos grossos foi retirado um disco na região de aproximadamente 5cm de diâmetro. Na porção do tronco foram retirados discos em três posições da altura do tronco: 0% (base), 50% e 100% (topo). Os discos tinham aproximadamente 5cm de espessura.

Todas essas amostras tiveram seu peso de massa verde anotado e, em laboratório, determinou-se a massa seca das mesmas. Amostras de raízes e galhos finos e folhas foram

colocadas em estufa com circulação forçada de ar, em uma temperatura de $65^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e os discos, a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Todas as amostras permaneceram em estufa até atingirem peso constante.

Cálculo de biomassa seca pela técnica gravimétrica

A técnica gravimétrica consiste na pesagem dos componentes arbóreos (Figura 6) que, multiplicados pelo teor de umidade, levam à determinação de biomassa de cada um dos compartimentos. A fórmula de biomassa pela pesagem, portanto, é dada por:

$$b_{Gci} = m_{Ci} \cdot (1 - U_{Ci}/100)$$

Onde: b_{Gci} é a biomassa seca (kg); C é o índice de compartimento da amostra; i é o índice que indica a árvore; m_{Ci} é a massa verde pesada em campo (kg); U_{Ci} é o teor de umidade (%).

O teor de umidade, por sua vez, é dado por:

$$U_{Ci} = (m_{vCi} - m_{sCi}/m_{vCi}) \cdot 100$$

Onde: U_{Ci} é o teor de umidade da amostra (%); C é o índice de compartimento da amostra; i é o índice que indica a árvore; m_{vCi} é a massa verde da amostra retirada em campo (g); m_{sCi} é a massa seca da amostra retirada em campo (g).

Por fim, a biomassa total da árvore é dada pelo somatório da biomassa seca de todos os compartimentos da árvore (tronco, galhos grossos, copa e raiz, quando houver).

Nota-se que o teor de umidade para a região do tronco é estabelecido pela média aritmética dos teores dos três discos estudados (base, meio e topo).

Figura 6. Componentes da árvore sendo pesados para determinação da biomassa pelo método gravimétrico: (a) Copa de *Enterolobium contortisiliquum* (classe 5); (b) Galhos grossos de *Enterolobium contortisiliquum* (classe 5); (c) Tronco de *Guazuma ulmifolia* (classe 5); (d) Raiz de *Pterogyne nitens* (classe 2).

2.3.2. Método volumétrico

Assim que abatidas as árvores, realizou-se cubagem rigorosa em toda porção do tronco e galhos grossos (Figura 7). A cubagem foi feita pela medição dos diâmetros a cada metro, partindo da base, e para cálculo do volume sólido foi utilizada a Fórmula de Smalian:

$$v = \frac{\pi}{8} \cdot (d_b^2 + d_l^2) \cdot l$$

Onde: v é o volume do torete (m^3); l é o comprimento do torete (m); d_b e d_l são os diâmetros da face maior e menor do torete (m^2).

A biomassa nesse método é obtida através do produto do volume pela densidade básica, sendo esta determinada com os mesmos discos retirados para determinação do teor de umidade (método gravimétrico). A fórmula da biomassa pelo método volumétrico é, portanto:

$$b_{Vci} = v_{Ci} \cdot d_{BCi}$$

Onde: b_{Vci} é a biomassa seca pelo método volumétrico (kg); C é o índice de compartimento da amostra (tronco ou galhos grossos); i é o índice que indica a árvore; v_{Ci} é o volume obtido pela cubagem (m^3); d_{BCi} é a densidade básica média ($kg \cdot m^{-3}$).

Figura 7. Cubagem rigorosa de *Erythrina mulungu* de classe 3 de diâmetro para determinação de biomassa pelo método volumétrico.

Densidade básica

A determinação da densidade básica foi realizada através do método de imersão, com auxílio de balança hidrostática.

Para tal, todos os discos retirados da porção do tronco (base, meio, topo) e do galho de cada um dos indivíduos abatidos foi corretamente identificado, pesado e imerso em água para que atingissem a máxima saturação de água. Assim que saturados, os discos foram pesados para obtenção de seu peso imerso (através do empuxo, determinado na balança hidrostática) e peso saturado. Tendo essas medidas, os discos foram colocados em estufa de circulação forçada, a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ C$, até que atingissem massa constante.

Quando secos, foram pesados. Assim, a densidade básica de cada disco foi obtida pela seguinte fórmula:

$$d_{BPi} = P_{SPi} / (P_{UPi} - P_{IPi})$$

Onde: d_{BPi} é a densidade básica (g.cm^{-3}); P é a posição do disco (base, meio, topo ou galho); i é o índice que indica a árvore; P_{SPi} é o peso seco do disco (g); P_{UPi} é o peso do disco em sua máxima umidade (saturado) (g); P_{IPi} é o peso imerso (g).

A densidade obtida pelo disco do galho grosso foi utilizada para cálculo de biomassa desse compartimento. Já para o cálculo da biomassa do tronco foi feita a média aritmética das densidades dos três discos amostrados nesse compartimento.

2.3.3. Biomassa pelo método volumétrico e gravimétrico

Todas as árvores abatidas tiveram suas determinações de biomassa realizadas pelo método volumétrico e gravimétrico. No gravimétrico foi possível calcular a biomassa para os quatro compartimentos: raízes, tronco, galhos grossos e copa. Já para o volumétrico, calculou-se a biomassa de tronco e galhos grossos.

De forma a entender como esses dois métodos se comportam quando comparados, plotou-se em gráfico os indivíduos calculados por esses diferentes métodos. Como apenas tronco e galhos grossos foram calculados pelos dois métodos, foram esses os comparados.

Além do gráfico, colocou-se em tabela a biomassa de tronco mais galhos grossos para todos os indivíduos amostrados.

2.4. Alocação de biomassa nas árvores abatidas

2.4.1. Alocação da biomassa total acima do solo

Através da somatória das biomassas de tronco, galhos grossos e copa, obtidas pelo método gravimétrico, foi gerada a Biomassa total acima do solo (B_{tas}) para os 100 indivíduos arbóreos amostrados.

Esses dados foram comparados por grupo de crescimento (GC) e grupo ecológico (GE), tanto graficamente como por teste de comparação de médias (Tukey).

2.4.2. Alocação de biomassa nos compartimentos arbóreos

A partir da biomassa total e da biomassa dos compartimentos, foi possível determinar a proporção média de cada um dos quatro compartimentos em relação à biomassa total para os 60 indivíduos que tiveram raízes retiradas. Dessa forma, pode-se visualizar como a árvore aloca sua biomassa ao longo de seus compartimentos.

A análise foi feita para todos os indivíduos e para média por espécie. Ademais, foi realizado teste de comparação de médias por Tukey para os quatro compartimentos quando separados os indivíduos em grupos de crescimento (GC) e grupos ecológicos (GE), separadamente.

2.5. Construção dos modelos de predição de biomassa

2.5.1. Equações de predição de biomassa e variáveis preditoras

O processo de predição é uma combinação dos processos de medição e de estimação. Assim, predizer é *atribuir números a certas grandezas medidas no mesmo objeto e segundo uma relação matemática estimada* (BATISTA et al, 2014). Nesse sentido, equações de predição são funções matemáticas desenvolvidas para estimar valores de uma variável resposta (volume ou biomassa, por exemplo), dado um conjunto de observações (medidas) tomadas em um determinado sistema (GUSSON, 2014; BATISTA et al, 2014).

A escolha dos modelos a serem testados é uma questão muito importante e, segundo Burnham e Anderson (2001), deve ser muito bem pensada, antes mesmo da análise de dados ser iniciada e, talvez, mesmo antes da coleta dos dados.

Para desenvolvimento dessas equações, foram testadas algumas variáveis preditoras como diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (Ht), altura do tronco (Htr), densidade básica do tronco (Dbt) e comprimento de copa (CC). A ideia foi analisar se a inclusão ou não destas variáveis preditoras explicam melhor o comportamento da variável resposta, uma vez que dentre estas, apenas o DAP é de fácil mensuração. Ademais, algumas fontes de incertezas

estão associadas à altura total, altura do tronco, comprimento de copa e densidade básica. As três primeiras apresentam fontes de incerteza no processo de medição, enquanto a densidade básica possui incertezas quanto à variação deste índice até mesmo dentro de espécie e do próprio indivíduo.

Dessa forma, apesar da potencial relação existente entre altura total (Ht), densidade básica (Dbt) e até mesmo comprimento de copa (CC) com a biomassa, a não-inclusão destas nos modelos pode minimizar o trabalho em campo com a mensuração dessas variáveis, bem como simplificar as equações e reduzir as fontes de incertezas.

Considerando os componentes das árvores que foram utilizados para estimar a biomassa, os modelos foram ajustados, separadamente, para gerar 4 equações, com suas respectivas variáveis dependentes: Biomassa total acima do solo (Btas), Biomassa de raízes (Brz), Biomassa do tronco (Btr) e Biomassa da copa (Bcp), que é a somatória de galhos grossos mais galhos finos e folhas.

Para ajuste das equações foram testados dois modelos comumente utilizados para estimar volume e biomassa no setor florestal (log-Spurr e Schumacher-Hall), bem como algumas variações desses modelos e combinações com as variáveis DAP, Altura total (Ht), Comprimento de Copa (CC), Altura do tronco (Htr) e Densidade básica do tronco (Dbt).

2.5.2. Ajuste de equações com variáveis categóricas

Adicionalmente, foi testado se a inclusão de variáveis categóricas, entrando nas equações como fator, nos melhores modelos obtidos nos compartimentos analisados levariam à melhoria da qualidade de ajuste. Foram testados três grupos: espécie (cada uma das 20 espécies), grupos de velocidade de crescimento (rápido, moderado e lento) e grupo ecológico (pioneira, secundária inicial, secundária tardia e climática).

É importante salientar que esse ajuste com variáveis categóricas foi realizado tendo em vista que a próxima etapa do estudo, após desenvolvidas as equações, é avaliar o estoque de biomassa e carbono na área experimental. As equações genéricas são as desenvolvidas pelo ajuste com todos os indivíduos, sem tentativa de separação em grupos.

2.5.3. Predição da biomassa e avaliação dos modelos de predição

Além da verificação das pressuposições dos modelos quanto à normalidade dos resíduos e homocedasticidade da variância, como critério de seleção dos modelos, estes foram comparados pelos seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão residual ($S_e\%$) e valores do Critério de Informação de Akaike (AIC), além da análise gráfica dos resíduos.

Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj})

O coeficiente de determinação (R^2) permite inferir sobre a qualidade de ajuste dos modelos. Ele mede de que forma a variável dependente é explicada pelas variáveis independentes. Ou seja, estabelece a proporção em que as variáveis preditoras dentro de cada um dos modelos a serem testados vão explicar a variável resposta biomassa. O coeficiente é uma proporção entre a soma de quadrados devido à regressão (SQ_{reg}) e a soma de quadrados total (SQ_{total}):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}}$$

Onde: n é o número de observações; $\hat{y}_i$ é o valor estimado de cada observação; $\bar{y}$ é a média dos valores de y ; e y_i é valor de cada observação.

Sendo o Coeficiente uma medida de proporção, seus valores podem variar de 0 a 1, comumente escrito como $0 \leq R^2 \leq 1$.

Como a soma de quadrados total é dada pela somatória da soma de quadrados dos resíduos mais a soma de quadrados devido à regressão ($SQ_{total} = SQ_{reg} + SQ_{res}$), valores de R^2 próximos a 1 explicam não somente que as variáveis independentes são capazes de explicar a variável dependente, mas que o erro aleatório associado é baixo, ou seja, da grande parte da variação que ocorre na variável resposta (SQ_{total}), uma pequena parte é oriunda da soma de quadrados do resíduo e, portanto, a maior parte vem da soma de quadrados devido à regressão.

O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) permite comparar modelos com números diferentes de variáveis preditoras, penalizando a inclusão de variáveis que sejam pouco explicativas. Essa penalização ocorre ao incluir na fórmula o número de coeficientes no modelo:

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

Onde: n é o número de observações e p é o número de coeficientes.

Erro padrão da estimativa ($S_e\%$)

Também conhecido como erro padrão residual, é o desvio padrão dos valores estimados da variável dependente ao redor da linha de regressão. Quanto menor a dispersão dos dados em relação à reta, maior a precisão das estimativas, ou seja, maior a chance do valor estimado se aproximar do valor real.

O erro padrão da estimativa é obtido pela raiz da soma do quadrado médio residual dividida pela diferença entre o número de observações e o número de parâmetros de cada equação (MIRANDA, 2008):

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p)}}$$

Onde: S_e é o erro padrão residual; y_i é o valor real de cada observação; $\hat{y}_i$ é o valor estimado de cada observação; n é o número de observações e p é o número de coeficientes da equação, incluindo o intercepto b_0 .

Para obtenção do erro padrão da estimativa em porcentagem, o próprio valor do erro padrão da estimativa é dividido pela média aritmética da variável dependente, depois multiplica-se por 100:

$$S_e\% = \frac{S_e}{\bar{y}} \cdot 100$$

Onde: S_e é o erro padrão da estimativa; $\bar{y}$ é a média aritmética da variável dependente

Critério de Informação de Akaike (AIC)

O Critério de Informação de Akaike (AIC) é um dos critérios existentes para seleção de modelos que evita a ideia de super ajuste. É baseado na Divergência de Kullback-Leibler, que estabelece uma medida de distância entre o modelo proposto e o modelo teórico “verdadeiro”. Entretanto, como não se conhece o modelo verdadeiro, sendo os modelos apenas uma aproximação de uma realidade desconhecida, Akaike, através da função de verossimilhança e da ordem do modelo, permitiu estimar essa distância (BURNHAM; ANDERSON, 2001; SOBRAL; BARRETO, 2016).

Dessa forma, ao considerar a ordem do modelo, não favorece modelos mais complexos, que acabam conformando melhor ao conjunto de dados mesmo quando a presença de todas as variáveis incluídas não signifique maior agregação de informação ao modelo. Esse fenômeno é chamado de “overfit”, ou super ajuste (SOBRAL; BARRETO, 2016).

Modelos com pouquíssimas variáveis podem conter viéses, enquanto modelos com número desnecessariamente grande de variáveis podem levar a uma precisão fraca ou que tende a identificar efeitos que são hipotéticos. Modelos super ajustados acabam descrevendo muito bem a realidade em que foi obtido o conjunto de dados, mas não se comportam bem quando aplicados a outras realidades (BURNHAM; ANDERSON, 2001; SOBRAL; BARRETO, 2016).

Como forma de interpretação do Critério de Informação de Akaike (AIC), tem-se que este representa a perda de informação ou discrepância relativa que existe do modelo proposto em relação ao modelo verdadeiro. Ademais, representa a perda de informação ou discrepância no ajuste do modelo proposto aos dados (BURNHAM; ANDERSON, 2001).

Quando comparados todos modelos propostos (todos oriundos de uma mesma base de dados, ou seja, de uma mesma amostra), o que obtiver a maior máxima log-verossimilhança (menor AIC) será dado como o modelo que mais se aproxima do modelo “verdadeiro”. Dessa forma, diz-se que esse modelo é o mais plausível dentre os demais modelos.

Nota-se que além da abordagem de Akaike permitir identificar o melhor modelo dentre uma gama de modelos propostos, permite o ranqueamento destes, pela diferença entre o AIC do melhor modelo e dos demais ($\Delta_i = AIC_i - \min AIC$). O valor do delta (Δ_i) é

facilmente interpretado e leva ao ranqueamento dos modelos candidatos, além de fornecer força de evidência à escolha do modelo (BURNHAM; ANDERSON, 2001).

A partir deste ranqueamento são consideradas na interpretação algumas “regras simples” para avaliar os méritos relativos dos modelos no conjunto, classificados como “Níveis para um suporte empírico do Modelo i ”: modelos com $\Delta_i \leq 2$ possuem suporte (evidência) substancial (e são igualmente plausíveis); modelos que apresentam $4 \leq \Delta_i \leq 7$ possuem um suporte consideravelmente menor; e modelos com $\Delta_i > 10$ são considerados sem suporte algum (BURNHAM; ANDERSON, 2001, 2002).

Nota-se que para a análise de dados foi utilizado o Critério corrigido (AICc), que possui termos de compensação para amostras menores.

2.6. Alocação de biomassa e carbono nos diferentes tratamentos

2.6.1. Equações de predição de biomassa

Para cálculo da biomassa arbórea em cada um dos oito tratamentos existentes no experimento, foram utilizadas as equações geradas especificamente na área, pelo corte de 100 árvores (5 árvores por espécie) nas parcelas destrutivas.

Como foram desenvolvidas equações para Biomassa total acima do solo (Btas) e equações separadas para tronco (Btr) e copa (Bcp), para escolher se para a Biomassa da parte superior da árvore seria utilizada a equação de Biomassa acima do solo (Btas) ou a somatória da Biomassa do tronco (Btr) e Biomassa de copa (Bcp), essas equações foram aplicadas aos próprios dados que as geraram. Dessa forma, foi comparada a biomassa predita pela biomassa obtida pelo método gravimétrico.

2.6.2. Análise dos dados

Para predição da biomassa arbórea alocada em cada um dos tratamentos foram aplicadas às equações específicas de biomassa os dados provenientes do inventário realizado na área experimental em 2016.

A análise estatística foi realizada no R (versão 3.3.1), considerando o experimento como fatorial completo em blocos ao acaso. Para comparação das médias, com nível de

significância de 5%, foi utilizado o teste de Tukey. Ademais, todas as análises foram feitas considerando as pressuposições estatísticas de normalidade dos erros e homogeneidade de variância.

2.6.3. Teor de carbono

Para determinação do carbono alocado na árvore e conseqüentemente na área experimental, multiplicou-se a biomassa seca pelo teor de carbono.

Foi utilizado o valor de 0,47 para o teor de carbono, estabelecido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) em 2006.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Determinação da biomassa

Densidade básica

Para determinação da biomassa pelo método volumétrico foi preciso determinar a densidade básica em laboratório.

A densidade básica é uma variável diretamente ligada à biomassa. Entretanto, apresenta variação em seus valores mesmo dentro de indivíduo (posição do tronco onde é retirado o disco). Dentro de espécie as variações podem ocorrer pela própria variação genética, idade, localização geográfica e condições ambientais.

Em estudo similar desenvolvido na mesma área de estudo em 2009 (plantio aos 5 anos de idade), Ferez (2010) também determinou a densidade básica dessas espécies. A Tabela 3 apresenta os dados de densidade obtidos por indivíduo desse estudo, a amplitude desses valores e os valores obtidos por Ferez (2010).

Nota-se que os valores de densidade apresentados na Tabela 3 são referentes à densidade básica obtida nos discos do tronco, excluindo-se, portanto, o disco do galho grosso, que foi utilizado apenas para determinação da biomassa na região dos galhos grossos.

As diferenças encontradas entre os valores determinados em 2010 e 2017 podem estar relacionadas tanto a possíveis erros associados ao método de medição dessa variável, como pela variação que pode ocorrer ao longo dos anos, tanto pela formação de madeira adulta como pelas variações climáticas.

À medida que a árvore envelhece, o tipo de madeira a ser formada muda. Durante a fase de crescimento, madeira juvenil é formada, sendo esta tipicamente caracterizada por rápida taxa de crescimento, baixa densidade, baixa rigidez e fibras curtas (DONALDSON et al, 2017).

A transição da madeira juvenil para madeira adulta é variável (e pouco conhecida) para cada espécie e mesmo dentro de espécie, sendo influenciada não apenas pela idade, mas pelas condições ambientais, tratamentos silviculturais e fatores genéticos. A idade de segregação entre os lenhos juvenil e adulto de *Luehea divaricata* ocorreu aos 26 anos na Depressão Central, enquanto na Encosta Superior do Nordeste a idade foi de 23 anos, ambas regiões localizadas no Rio Grande do Sul (PERES et al., 2012).

Vannopen *et al* (2018), estudando a relação entre área basal, densidade básica da madeira e a biomassa acima solo, encontrou que a variabilidade que ocorre ano a ano na densidade básica é mais determinada pelas condições climáticas do ano anterior do que do ano corrente. Anos anteriores secos, por exemplo, levaram a um efeito negativo na densidade da madeira, pela diminuição da reserva de carboidratos solúveis que ocorrem nos anos seguintes à seca.

Tabela 3. Densidade básica dos 100 indivíduos amostrados, média obtida para cada espécie e média de cada espécie aos 5 anos de idade, em estudo similar. Classe também refere-se ao Grupo de Crescimento esperado da espécie: Rápido (R), Moderado (M) e Lento (L) e ao Grupo Ecológico: Pioneira (P), Secundária Inicial (SI), Secundária Tardia (ST) e Climática (CL).

Nome científico	Classe	Densidade básica (g.cm ⁻³)					Densidade básica média (g.cm ⁻³)	Densidade básica média (g.cm ⁻³) - Ferez
		1	2	3	4	5		
<i>Heliocarpus americanus</i>	R/P	0,25	0,23	0,26	0,27	0,25	0,25 ± 0,02	0,29 ± 0,02
<i>Schinus terebinthifolius</i>	R/P	0,47	0,48	0,44	0,46	0,48	0,47 ± 0,02	0,48 ± 0,05
<i>Peltophorum dubium</i>	R/SI	0,55	0,55	0,54	0,53	0,47	0,53 ± 0,04	0,46 ± 0,05
<i>Senegalia poplyphylla</i>	R/SI	0,62	0,65	0,64	0,65	0,57	0,63 ± 0,04	0,70 ± 0,05
<i>Erythrina mulungu</i>	R/SI	0,28	0,22	0,2	0,21	0,2	0,22 ± 0,04	0,22 ± 0,06
<i>Guazuma ulmifolia</i>	R/SI	0,42	0,46	0,51	0,5	0,44	0,47 ± 0,05	0,44 ± 0,02
<i>Croton urucurana</i>	R/P	0,37	0,28	0,42	0,37	0,32	0,35 ± 0,07	0,31 ± 0,04
<i>Luehea divaricata</i>	M/SI	0,49	0,39	0,43	0,44	0,46	0,44 ± 0,05	0,41 ± 0,02
<i>Lafoensia pacari</i>	M/ST	0,53	0,54	0,57	0,59	0,58	0,56 ± 0,03	0,52 ± 0,03
<i>Ficus guaranítica</i>	M/ST	0,32	0,41	0,45	0,38	0,41	0,40 ± 0,06	0,36 ± 0,01
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	M/ST	0,47	0,5	0,57	0,56	0,54	0,53 ± 0,05	0,60 ± 0,03
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	M/ST	0,41	0,49	0,46	0,48	0,48	0,46 ± 0,04	0,50 ± 0,02
<i>Chorisia speciosa</i>	M/ST	0,31	0,25	0,31	0,26	0,24	0,27 ± 0,04	0,25 ± 0,05
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	M/SI	0,29	0,28	0,3	0,36	0,33	0,31 ± 0,04	0,30 ± 0,06
<i>Pterogyne nitens</i>	L/SI	0,58	0,57	0,62	0,5	0,54	0,56 ± 0,06	0,58 ± 0,06
<i>Myroxylon peruiferum</i>	L/CL	0,61	0,66	0,65	0,67	0,64	0,65 ± 0,03	0,70 ± 0,03
<i>Cedrela fissilis</i>	L/ST	0,36	0,31	0,34	0,34	0,33	0,34 ± 0,03	0,36 ± 0,05
<i>Hymenaea courbaril</i>	L/CL	0,54	0,6	0,62	0,65	0,6	0,60 ± 0,06	0,63 ± 0,02
<i>Cariniana estrellensis</i>	L/ST	0,47	0,41	0,44	0,48	0,47	0,46 ± 0,03	0,48 ± 0,10
<i>Poecilanthe parviflora</i>	L/CL	0,7	0,66	0,7	0,71	0,75	0,70 ± 0,05	0,70 ± 0,07

Não existe uma relação clara entre densidade básica e velocidade de crescimento entre as espécies estudadas. Monjoleiro (*Senegalia poplyphylla*) e Canafístula (*Peltophorum dubium*), que tiveram rápido crescimento na área, apresentaram densidade básica média de 0,63 e 0,53 g.cm⁻³. Da mesma forma, *Cedrela fissilis*, que cresceu muito pouco no experimento,

possui uma densidade de $0,34 \text{ g.cm}^{-3}$ e *Hymenaea courbaril*, com densidade média de $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ obteve bom desenvolvimento.

Das seis espécies de crescimento teórico lento, apenas *Cedrela fissilis* apresentou baixa densidade, seguida por *Coriniana estrellensis*, com densidade média moderada ($0,46 \text{ g.cm}^{-3}$). Dentre as espécies de grupos de velocidade de crescimento teórico rápido e moderado houve grande variação entre as densidades, variando de $0,22$ a $0,63 \text{ g.cm}^{-3}$ para rápidas e de $0,27$ a $0,56 \text{ g.cm}^{-3}$ para moderadas.

Considerando o grupo ecológico, as espécies climácicas foram as únicas que apresentaram uma tendência em seus valores de densidade básica, sendo as três as de maiores densidades, juntamente com o Monjoleiro (*Senegalia poplyphylla*), pertencente ao grupo de secundárias iniciais, e Ipê-roxo-de bola (*Handroanthus impetiginous*), das secundárias tardias.

Essa falta de padronização entre densidade básica e grupos de velocidade de crescimento ou mesmo grupos ecológicos vem justamente da arbitrariedade existente quando tenta-se separar espécies em grupos.

A grande variabilidade de densidade básica entre as espécies ($0,22$ a $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$) é um forte indicativo da importância em se incluir dados dessa variável dentro dos modelos de predição de biomassa de florestas com grande diversidade como as tropicais.

Biomassa pelo método volumétrico e gravimétrico

Percebe-se uma relação forte entre os dois métodos tanto quando se analisa os dois compartimentos (tronco e galhos grossos) separadamente (Figuras 8 e 9) como quando somados (Figura 10). O maior valor de coeficiente de determinação para biomassa dos compartimentos somados pode estar relacionado à compensação dos erros associados na medição da região de transição entre tronco e galhos grossos, chamado de ponto de inversão morfológica. Essa região de bifurcação gera incertezas na cubagem, pela diferenciação da forma do lenho.

A estreita relação entre os dois métodos é uma forma inclusive de validação dos dados obtidos, não apenas em campo na pesagem ou cubagem, como em laboratório na determinação da densidade básica e de teor de umidade dos componentes.

Figura 8. Biomassa acumulada no tronco (kg), para cada um dos indivíduos abatidos, determinada pelos dois métodos direto: volumétrico e gravimétrico.

Figura 9. Biomassa acumulada nos galhos grossos (kg), para cada um dos indivíduos abatidos, determinada pelos dois métodos diretos: volumétrico e gravimétrico.

Figura 10. Biomassa acumulada nos galhos grossos e tronco (kg), para cada um dos indivíduos abatidos, determinada pelos dois métodos direto: volumétrico e gravimétrico.

Tabela 4. Biomassa de tronco mais galhos grossos (kg/árvore) determinada pelos métodos gravimétrico e volumétrico para cada indivíduo abatido das cinco classes de diâmetro

Nome popular	Biomassa de tronco e galhos grossos (kg.árvore-1)									
	Método gravimétrico					Método volumétrico				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<i>Heliocarpus americanus</i>	15,7	13,0	34,2	45,3	84,0	20,5	16,9	43,2	48,7	111,2
<i>Schinus terebinthifolius</i>	10,8	31,3	33,3	71,2	68,2	11,0	31,0	34,0	77,4	69,3
<i>Peltophorum dubium</i>	5,7	24,0	155,4	155,5	244,3	5,5	25,2	154,3	132,5	223,0
<i>Senegalia poplyphylla</i>	21,4	75,2	112,3	262,0	369,4	23,6	66,8	112,3	295,5	400,5
<i>Erythrina mulungu</i>	7,9	21,0	44,1	96,4	323,1	13,1	32,5	61,7	104,8	319,5
<i>Guazuma ulmifolia</i>	3,3	13,7	42,3	54,8	86,0	3,3	18,9	44,3	65,5	96,9
<i>Croton urucurana</i>	10,8	14,7	91,0	88,9	193,2	15,3	20,7	112,6	114,9	228,5
<i>Luehea divaricata</i>	11,7	7,5	16,0	46,8	82,1	13,7	8,7	18,6	47,5	91,0
<i>Lafoensia pacari</i>	3,7	11,8	34,3	48,0	62,2	3,9	12,9	39,4	51,7	65,7
<i>Ficus guaranítica</i>	2,4	17,1	17,0	46,5	46,9	3,0	18,5	20,5	48,9	49,4
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	11,9	37,7	50,9	81,5	110,5	12,1	35,9	53,4	80,9	113,7
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	11,5	21,2	97,0	109,9	240,9	13,4	21,6	112,6	159,7	269,9
<i>Chorisia speciosa</i>	3,3	9,6	14,6	16,2	41,7	4,5	10,5	18,1	18,6	54,2
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	3,4	11,3	30,5	73,7	226,0	3,8	12,1	36,3	79,5	258,6
<i>Pterogyne nitens</i>	6,4	22,2	33,4	59,3	192,3	5,6	26,3	34,3	62,0	205,4
<i>Myroxylon peruiferum</i>	2,7	8,0	7,0	15,0	25,3	2,6	8,9	7,6	15,7	24,3
<i>Cedrela fissilis</i>	2,8	5,2	8,5	19,4	51,5	3,4	7,2	10,5	24,5	58,9
<i>Hymenaea courbaril</i>	12,9	45,9	67,1	137,6	134,8	14,0	51,8	72,0	138,5	125,7
<i>Cariniana estrellensis</i>	5,8	18,0	22,1	39,2	57,2	6,9	19,1	24,7	44,1	60,9
<i>Poecilanthe parviflora</i>	6,1	8,1	25,9	22,6	67,1	6,9	9,4	21,3	19,3	56,1

A Tabela 4 contém os dados de biomassa de tronco mais galhos grossos para cada indivíduo abatido. Observa-se que as maiores diferenças estão nos indivíduos de maiores portes e/ou com maiores ramificações em seus galhos grossos, como a classe 5 de *Heliocarpus americanus*, *Jacaranda cuspidifolia* na classe 4 e classe 5 de *Peltophorum dubium*.

Apesar da estreita relação existente entre os dois métodos na determinação de biomassa, para elaboração dos modelos de predição foi utilizada a biomassa determinada pelo método gravimétrico. Essa escolha dá-se não apenas pela menor fonte de incertezas associada a este método, mas pela não possibilidade em utilizar o método volumétrico para determinação da biomassa da copa (galhos finos e folhas) e de raízes, que foram pesadas em campo, mas não cubadas.

3.1.1. Alocação da biomassa total

O método gravimétrico permite a determinação da biomassa total da árvore a partir da somatória de todos seus compartimentos. No Anexo B é possível visualizar todos os valores por indivíduo abatido.

Considerando que não foi realizada a biomassa de raízes para todos os indivíduos, a Tabela 5 apresenta os valores de biomassa acima do solo obtidos pelo método gravimétrico. De forma geral, o acúmulo da biomassa seguiu as classes de diâmetro, entretanto, algumas variações ocorreram, provavelmente associadas à variação existente entre as arquiteturas de copa mesmo dentro de espécie ou pela proximidade entre os DAPs de alguns indivíduos dentro da mesma espécie.

Tabela 5. Biomassa total acumulada por classe de diâmetro nas 20 espécies estudadas. Classe também se refere ao ao Grupo de Crescimento esperado da espécie: Rápido (R), Moderado (M) e Lento (L) e ao Grupo Ecológico: Pioneira (P), Secundária Inicial (SI), Secundária Tardia (ST) e Climácica (CL).

Espécie	Classe	Biomassa total acima do solo (kg.árvore ⁻¹)				
		1	2	3	4	5
<i>Heliocarpus americanus</i>	R/P	20,4	19,1	42,6	62,6	111,9
<i>Schinus terebinthifolius</i>	R/P	24,5	54,3	72,0	130,4	116,6
<i>Peltophorum dubium</i>	R/SI	7,7	37,7	239,0	226,3	309,6
<i>Senegalia poplyphylla</i>	R/SI	37,0	111,6	161,0	310,5	464,4
<i>Erythrina mulungu</i>	R/SI	9,7	25,7	53,1	107,6	379,8
<i>Guazuma ulmifolia</i>	R/SI	7,6	19,9	50,7	72,1	113,4
<i>Croton urucurana</i>	R/P	17,8	18,2	141,5	149,0	259,7
<i>Luehea divaricata</i>	M/SI	17,7	11,7	27,3	61,2	125,0
<i>Lafoensia pacari</i>	M/ST	8,1	26,9	60,0	115,8	120,2
<i>Ficus guaranítica</i>	M/ST	5,5	22,8	25,3	60,8	75,3
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	M/ST	17,9	53,4	67,5	126,2	162,6
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	M/ST	17,0	34,2	149,2	190,3	349,0
<i>Chorisia speciosa</i>	M/ST	4,5	12,2	17,0	18,0	48,3
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	M/SI	5,0	13,3	36,9	83,3	265,7
<i>Pterogyne nitens</i>	L/SI	11,6	38,0	42,8	80,8	244,3
<i>Myroxylon peruiferum</i>	L/CL	7,1	17,0	11,7	33,8	52,1
<i>Cedrela fissilis</i>	L/ST	3,9	6,4	10,6	22,9	63,9
<i>Hymenaea coubaril</i>	L/CL	21,0	69,2	99,8	190,6	188,7
<i>Cariniana estrellensis</i>	L/ST	10,0	30,5	33,6	82,6	87,6
<i>Poecilanthe parviflora</i>	L/CL	12,3	14,4	45,3	56,9	135,1

A classificação teórica das espécies em grupos é comumente passível de discussões. O comportamento das espécies é variável, podendo ter diferentes desenvolvimentos dependendo do tipo de solo, clima, qualidade da muda, origem da semente, qualidade do plantio e do manejo da área.

Houve grande diferença na alocação de biomassa total acima do solo (Btas) entre as espécies, inclusive dentro dos grupos de velocidade de crescimento e dos grupos ecológicos. As Figuras 11 e 12 apresentam a classe 3 como exemplo da variação existente entre os grupos, mas nos Anexos C e D estão contidas as representações das demais classes.

É interessante analisar o comportamento das espécies quando ordenadas por acúmulo de biomassa, apresentando uma curva exponencial negativa, refletindo justamente a diferenciação existente entre os indivíduos estudados (Figura 13 e Anexo E).

Figura 11. Exemplo do ocorrido para Biomassa total acima do solo (Btas) alocada nos indivíduos da classe 3 de diâmetro em área restaurada com 12 anos de idade. Os indivíduos foram separados pelos três grupos de velocidade de crescimento: Rápido, Moderado e Lento. Não houve diferença significativa entre os grupos a 95% de confiança.

Figura 12. Exemplo do ocorrido para Biomassa total acima do solo (Btas) alocada nos indivíduos da classe 3 de diâmetro em área restaurada com 12 anos de idade, separados pelos grupos ecológicos: Pioneira, Secundária Inicial, Secundária Tardia e Climática. Não houve diferença significativa entre os grupos a 95% de confiança.

Figura 13. Distribuição da biomassa total acima do solo (Btas) para os 100 indivíduos estudados na área restaurada aos 12 anos de idade.

Foi realizado teste de comparação de médias de Tukey entre os grupos ecológicos (GE) e grupo de velocidade de crescimento esperado (GC). Não houve diferença significativa entre grupos quando os indivíduos foram separados em classes de diâmetro, nem para Grupo de Crescimento e nem para Grupo Ecológico. Quando avaliados todos os indivíduos, no Grupo de Crescimento houve diferença de média entre o grupo de rápido e lento crescimento (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6. Resultado do teste de média e variância obtido para cada grupo ecológico (Pioneira, Secundária Inicial, Secundária Tardia e Clímax), em cada uma das classes de diâmetro e para os dados gerais (todos os indivíduos, sem separação em classe de diâmetro), em área restaurada com 12 anos de idade.

Classe	Pioneira		Secundária Inicial		Secundária tardia		Clímax	
	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância
1	20,90 a	11,64	13,75 a	131,68	9,57 a	33,66	13,49 a	48,81
2	30,51 a	423,70	36,85 a	1198,27	26,64 a	237,34	33,52 a	955,00
3	85,39 a	2580,67	87,21 a	6492,40	51,88 a	2290,77	52,25 a	1975,53
4	114,05 a	2060,61	134,54 a	9152,57	88,08 a	3768,65	93,79 a	7164,45
5	162,73 a	7056,33	271,74 a	16272,49	129,57 a	10828,06	125,29 a	4730,64
Geral	82,72 a	4720,02	108,82 a	14489,88	61,15 a	4951,63	63,67 a	3894,94

Tabela 7. Resultado do teste de média e variância obtido para cada grupo de velocidade de crescimento (Rápido, Moderado e Lento), em cada uma das classes de diâmetro e para os dados gerais (todos os indivíduos, sem separação em classe de diâmetro), em área restaurada com 12 anos de idade.

Classe	Rápido		Moderado		Lento	
	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância
1	17,80 a	115,97	10,83 a	40,88	11,01 a	33,56
2	40,92 a	1142,65	24,95 a	229,80	29,24 a	512,97
3	108,51 a	5476,08	54,74 a	2079,29	40,62 a	1062,76
4	151,24 a	7907,87	93,66 a	3143,18	77,93 a	3628,34
5	250,77 a	20331,97	163,72 a	11547,01	128,63 a	5750,2
Geral	113,85 a	13319,73	69,58 ab	6117,25	57,49 b	3698,96

3.1.2. Alocação de biomassa nos compartimentos arbóreos

A determinação da proporção de cada compartimento da árvore em função da biomassa total permitiu justamente a visualização de como a árvore alocou sua biomassa ao longo de seus compartimentos. Para tal, a Figura 14 apresenta a compartimentalização média por espécie, enquanto no Anexo F há tabela contendo os dados da proporção de biomassa dos compartimentos das árvores por espécie e classe de diâmetro.

Figura 14. Proporção média de biomassa de cada compartimento arbóreo das 20 espécies estudadas, ordenadas da maior para menor proporção de raiz, em área restaurada com 12 anos de idade.

Houve grande diferença entre as espécies quanto à alocação de biomassa nos quatro compartimentos avaliados, inclusive dentro da espécie (Tabela 8 e Anexos G e H). Quando analisados todos os dados, a variação nas raízes foi a menor, indo de 13,3 a 44,2%, enquanto a maior foi observada no tronco (8,7 a 59,9%). Para galhos grossos a variação foi de 0 a 49,5% e para copa, de 6,4 a 48,9%.

Quando analisada a média dos dados por espécie, a variação passa a ser de 16,6 a 39,8% para biomassa de raízes, 17 a 50% para biomassa de tronco, 2,1 a 28,2% para de galhos grossos e de 9,4 a 40,5% para biomassa da copa.

Comparativamente, Ferez (2010) também encontrou grande variação nos valores de biomassa por espécie aos cinco anos, sendo que a variação na proporção média de biomassa radicular foi de 12 a 45%, na de tronco foi de 26 a 53%, na de galhos grossos de 8 a 42% e na biomassa de copa, de 2 a 30%.

Das vinte espécies estudadas, as únicas que mantiveram um padrão em seus compartimentos nas três classes de diâmetro foram *Jacaranda cuspidifolia*, *Myroxylon peruiferum* e *Coriniana estrellensis*.

Os maiores percentuais de biomassa radicular foram encontrados na classe 4 de diâmetro de *Ficus guaranitica* (44,2%), classe 1 de *Erythrina mulungu* (43,1%) e *Chorisia speciosa* (43,1%). Para biomassa de tronco os maiores percentuais foram na classe 5 de *Chorisia speciosa* (59,9%) e classe 3 de *Cedrela fissilis* (59,3%), ambas espécies de ramificação monopodial e menor proporção de galhos grossos. *Peltophorum dubium* e *Croton urucurana*, ambos da classe 5 de diâmetro, obtiveram as maiores alocações de biomassa de galhos grossos: 49,5 e 41,3%, respectivamente. Por fim, *Poecilanthe parviflora* de classe 4 de diâmetro, com 48,9%, e *Schinus terebinthifolius* de classe 1, com 48,3%, foram as de maiores percentuais de biomassa de copa.

Analisando a amplitude dos dados que ocorreram nos componentes, tem-se que as maiores variações na proporção de raízes ocorreu dentro de *Ficus guaranitica* e *Heliocarpus americanus*. Para o componente tronco as maiores variações foram na *Peltophorum dubium* e *Cedrela fissilis*. *Peltophorum dubium* também foi observada como a espécie que teve maior variação na alocação de biomassa em seus galhos grossos, seguida por *Enterolobium contortisiliquum*. Por fim, *Guazuma ulmifolia* e *Ficus guaranitica* tiveram as maiores variações de copa.

Percebe-se, como esperado, uma suavização na amplitude dos dados quando é feita a média das proporções dos componentes nas três classes de diâmetro. Algumas espécies, inclusive, passam a ter um comportamento parecido na distribuição da biomassa, como *Ficus guaranitica*, *Jacaranda cuspidifolia* e *Hymenaea coubaril*; *Lafoensia pacari* e *Poecilanthe parviflora*; *Heliocarpus americanus* e *Peltophorum dubium*; *Senegalia poplyphylla* e *Handroanthus impetiginosus*; e *Luehea divaricata* e *Jacaranda cuspidifolia*.

Em estudo também realizado em experimento de restauração florestal em área de Mata Atlântica por Nogueira Júnior *et al.* (2014) a compartimentalização dos componentes na árvore também foi altamente variável, não havendo padrão entre as 19 espécies estudadas.

Miranda (2008) compartimentalizou as árvores em raízes, fuste, galhos, folhas e cascas e encontrou, para o total dos dados, proporção média de biomassa radicular de 20,1% e para o fuste, de 28,8%, valores um pouco inferiores aos encontrados neste estudo: 26,6 e 34%, respectivamente.

Estudando áreas de 5 a 36 anos de restauração de áreas ripárias, Forster e Melo (2007), encontraram proporção média de raízes de 20,1% e de 34% para tronco. Quando analisado os dados em grupos de velocidade de crescimento, não houve diferença entre nenhum dos quatro compartimentos estudados: Folhas, Ramos, Tronco e Raízes. No presente estudo, houve diferença apenas para galhos grossos, em que houve maior alocação no grupo de velocidade rápida de crescimento (Tabela 8).

Quando separado em grupos ecológicos, a parte aérea sofreu diferenças entre os grupos dentro dos compartimentos. Entretanto, assim como ocorreu quando separado em grupos de velocidade de crescimento, não houve diferença para a parte subterrânea, representada pelas raízes.

Tabela 8. Proporção média de biomassa e respectivo desvio padrão por espécie em cada compartimento arbóreo, aos 12 anos de idade em área restaurada. Os dados estão ordenados da maior para menor proporção de raízes, acompanhando o gráfico da Figura 14. Teste de comparação de médias foi realizado para os grupos ecológicos e de velocidade de crescimento, separadamente, sendo a análise feita dentro dos compartimentos.

Espécie	Sigla	Proporção média de biomassa (%)			
		Raiz	Tronco	Galhos Grossos	Copa
<i>Erythrina mulungu</i>	ML	39,8 ± 2,9	33,0 ± 5,3	17,8 ± 9,8	9,4 ± 2,6
<i>Chorisia speciosa</i>	PA	36,2 ± 7,6	50,0 ± 9,3	2,5 ± 2,6	11,3 ± 3,7
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	TI	34,0 ± 8,0	36,9 ± 12,6	15,4 ± 19,9	13,7 ± 4,0
<i>Croton urucurana</i>	SD	32,4 ± 5,6	17,0 ± 10,3	28,2 ± 16,1	22,4 ± 3,0
<i>Luehea divaricata</i>	AÇ	31,5 ± 8,4	33,2 ± 5,7	10,5 ± 8,0	24,8 ± 0,9
<i>Heliocarpus americanus</i>	AL	29,1 ± 10,3	29,7 ± 8,8	23,5 ± 2,1	17,8 ± 1,0
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	JA	28,5 ± 3,2	31,2 ± 3,1	12,8 ± 1,4	27,4 ± 2,1
<i>Hymenaea coubaril</i>	JT	27,9 ± 9,1	39,2 ± 6,2	9,2 ± 4,5	23,7 ± 1,1
<i>Ficus guaranitica</i>	FB	27,9 ± 14,2	40,7 ± 6,7	5,5 ± 6,7	26,0 ± 16,3
<i>Cedrela fissilis</i>	CE	27,4 ± 8,7	43,8 ± 16,9	12,7 ± 17,3	16,1 ± 2,2
<i>Peltophorum dubium</i>	CF	26,9 ± 8,5	31,3 ± 17,3	21,7 ± 25,3	20,0 ± 5,9
<i>Coriniana estrellensis</i>	JE	26,7 ± 5,6	39,7 ± 2,6	6,5 ± 5,6	27,2 ± 2,6
<i>Pterogyne nitens</i>	AM	24,5 ± 2,5	30,3 ± 4,5	23,7 ± 10,2	21,5 ± 9,4
<i>Lafoensia pacari</i>	DE	21,9 ± 4,1	28,9 ± 12,3	11,4 ± 12,2	37,8 ± 3,3
<i>Poecilanthe parviflora</i>	LA	21,8 ± 3,2	33,1 ± 12,8	4,5 ± 7,9	40,5 ± 8,0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	MT	21,1 ± 4,5	40,4 ± 5,3	12,5 ± 10,8	26,1 ± 18,3
<i>Senegalia poplyphylla</i>	MO	20,8 ± 6,2	32,8 ± 7,7	22,7 ± 13,1	23,8 ± 12,0
<i>Myroxylon peruiferum</i>	CB	20,1 ± 3,7	32,5 ± 3,5	2,1 ± 3,6	45,3 ± 1,5
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	IR	17,7 ± 2,2	33,3 ± 13,0	24,4 ± 16,1	24,7 ± 3,4
<i>Schinus terebinthifolius</i>	AP	16,6 ± 4,1	23,4 ± 11,6	20,2 ± 9,9	39,8 ± 7,8
Média		26,6 ± 8,3	34,0 ± 10,7	14,4 ± 12,6	25,0 ± 11,3
Média (Rápido crescimento)		26,7 ± 9,3 a	29,7 ± 11,1 a	20,9 ± 12,7 a	22,8 ± 11,7 a
Média (Moderado crescimento)		28,2 ± 9,0 a	36,3 ± 10,5 a	11,8 ± 11,7 b	23,7 ± 10,2 a
Média (Lento crescimento)		24,7 ± 5,9 a	36,4 ± 9,3 a	9,8 ± 10,7 b	29,1 ± 11,6 a
Média (Pioneira)		26,0 ± 9,5 a	23,4 ± 10,5 b	24,0 ± 10,1 a	26,7 ± 10,9 ab
Média (Secundária Inicial)		28,4 ± 8,5 a	34,0 ± 8,6 a	17,8 ± 13,5 ab	19,9 ± 9,8 b
Média (Secundária tardia)		26,6 ± 8,4 a	38,2 ± 11,2 a	10,8 ± 11,2 bc	24,4 ± 9,9 b
Média (Climácica)		23,3 ± 8,3 a	35,0 ± 8,0 a	5,3 ± 5,8 c	36,5 ± 10,6 a

É importante destacar que a média pode mascarar a diferença existente dentro das espécies estudadas (visualizada nas diferentes classes de diâmetro). Olhando galhos grossos de *Enterolobium contortisiliquum*, por exemplo, vê-se uma média de 15,4%. Entretanto, o desvio padrão é de 19,9, valor superior à própria média. O mesmo aconteceu com outras espécies, como *Lafoensia pacari* e *Cedrela fissilis*, reforçando a importância em analisar a amplitude dos dados associada à média.

3.2. Construção dos modelos de predição de biomassa

3.2.1. Equações de predição de biomassa e variáveis preditoras

3.2.1.1. Ajuste de equações de biomassa total acima do solo

Foram testados nove modelos de efeito fixo para o conjunto total dos dados. Dentre eles, aqueles que incluíram as variáveis preditoras DAP, Ht e Dbt (Modelos 6 e 7) foram os que obtiveram melhores valores para os critérios analisados (Tabela 9), seguido pelo que incluiu DAP, Comprimento de Copa (CC) e Dbt (Modelo 9).

Tabela 9. Coeficientes e critérios de qualidade de ajuste obtidos pelo ajuste dos modelos testados para Biomassa total acima do solo (B_{tas}).

Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2_{aj}	$S_e\%$	AICc
1) $\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP$	-1,4309	2,0158			0,747	56,27	179,50
2) $\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht)$	-2,6925	0,8610			0,778	51,06	166,53
3) $\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht$	-3,2369	1,5467	1,2860		0,779	49,71	166,94
4) $\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC$	-2,6498	1,4016	0,6942	0,6563	0,809	44,05	153,52
5) $\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Dbt$	-0,86060	2,32744	1,66467		0,960	35,95	-3,89
6) $\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Dbt$	-1,69421	2,10406	0,57656	1,59492	0,966	32,75	-19,89
7) $\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht) + b_2 \ln Dbt$	-2,21617	0,96696	1,53981		0,964	31,59	-13,17
8) $\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln Ht + b_2 \ln Dbt$	-4,0731	3,6461	0,8418		0,633	67,95	217,89
9) $\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln CC + b_3 \ln Dbt$	-0,98153	2,18037	0,23357	1,56520	0,964	34,59	-12,82

Ht: altura total (m); CC: comprimento de copa (m); Dbt: densidade básica do tronco (kg/m^3)

A inclusão da densidade básica do tronco nos modelos levou à melhora significativa nos critérios, quando associado ao DAP. Quando testado apenas altura total e densidade básica do tronco, os critérios foram os piores encontrados dentre os demais modelos (Tabela 9).

Apesar do modelo 5 também ter um bom ajuste e apresentar o atrativo de não incluir a altura total (Ht) como variável, esta torna-se menos generalista, pela diferenciação que existe entre alturas das árvores em diferentes áreas ou fisionomias florestais (VIEIRA, 2018, em observação pessoal). Portanto, para utilização desse modelo, deve-se atentar às características da área restaurada do presente estudo e às da área em que será aplicada a equação.

Além da boa qualidade de ajuste, ambos os modelos atendem aos pressupostos de um modelo linear: normalidade e distribuição homogênea dos resíduos, além da ausência de viés (Figuras 15 e 16).

As equações 5,6,7 e 9 representam bem o que é a biomassa, uma associação entre volume (que é estabelecida pelo DAP e altura ou apenas pelo DAP) e peso, que tem como variável no modelo a densidade básica, característica que diferencia as espécies e mesmo indivíduos da mesma espécie.

Figura 15. Normalidade e distribuição dos resíduos para Biomassa total acima do solo (Btas) no Modelo 6.

Figura 16. Normalidade e distribuição dos resíduos para Biomassa total acima do solo (Btas) no Modelo 5.

Lacerda et al (2009) não encontrou melhorias nos modelos de equação de biomassa total, do fuste ou da galhada quando incluídas nos modelos a altura total ou da densidade básica, sendo seus melhores modelos aqueles em que foi utilizada como variável independente apenas o DAP.

Chave et al (2005) relata que tanto a inclusão da altura como da densidade básica levaram a melhoras na qualidade dos modelos de biomassa testados em florestas tropicais naturais. Estudando biomassa viva acima do solo (BVAS) ao longo da Floresta Amazônica, Baker et al (2004) encontrou que a inclusão da densidade básica das espécies nos modelos (por mais que os valores tenham sido obtidos em literatura) permitiu observar diferenças na BVAS entre as regiões estudadas, associada exatamente pelas diferentes composições de espécies em cada uma das regiões.

Dessa forma, na definição da equação é preciso levar em conta não apenas a facilidade em obter as variáveis independentes do modelo, mas a principal questão a ser respondida. Para monitorar variações na biomassa e estoque de carbono, equações mais simples podem ser suficientes. Entretanto, para determinar estoques de carbono de forma mais precisa, modelos que incluem outras variáveis além do comumente utilizado DAP e apresentam maiores acurácias nas estimativas são preferíveis (VIEIRA et al, 2008).

3.2.1.2. Ajuste de equações de biomassa do tronco

Conjunto total de dados

Dos 11 modelos testados para biomassa do tronco, o modelo 11 apresentou uma qualidade de ajuste superior aos demais. Esse modelo incluiu como variáveis o DAP, densidade do tronco e, em vez da altura total, a altura do tronco. A altura do tronco, como esperado, levou a uma melhora significativa ao modelo quando substituiu a altura total (modelo 6: $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Dbt$), pela maior relação com o volume do tronco (Tabela 10).

Comparado ao modelo gerado para biomassa total acima do solo, este apresenta um erro padrão residual bem inferior (6,92% para B_{tr} e 32,75% para B_{tas}). Erro superior para B_{tas} já era esperado por envolver, além da biomassa do tronco, a de galhos grossos e copa, que naturalmente se diferem entre indivíduos e entre espécies, pelas diferentes arquiteturas de copa.

A análise gráfica do modelo está contida na Figura 17.

Tabela 10. Coeficientes e resultados dos critérios obtidos pelo ajuste dos modelos testados para Biomassa do tronco (Btr).

Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2_{aj}	$Se\%$	AICc
1) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP$	-1,3103	1,6469			0,701	20,58	161,91
2) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht)$	-2,41838	0,71365			0,752	18,42	143,33
3) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht$	-3,5157	1,0740	1,5704		0,772	16,25	136,18
4) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Dbt$	-0,92314	1,85844	1,13013		0,838	16,32	101,79
5) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht) + b_2 \ln Dbt$	-2,09602	0,78538	1,04204		0,871	13,97	79,37
6) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Dbt$	-2,5547	1,4213	1,1284	0,9936	0,873	13,10	78,93
7) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln Ht + b_2 \ln Dbt$	-4,1615	3,2019	0,4849		0,659	16,71	176,12
8) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Htr)$	-2,02167	0,76740			0,735	18,45	149,86
9) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr$	-2,05784	1,69768	0,47127		0,771	18,14	136,29
10) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Htr) + b_2 \ln Dbt$	-1,78682	0,90022	1,32505		0,919	9,11	33,09
11) $\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Dbt$	-1,82320	1,95970	0,60854	1,32051	0,956	6,92	-26,82

Htr: altura do tronco (m); Ht: altura total (m); Dbt: densidade básica do tronco (kg/m^3)

Figura 17. Gráficos da distribuição e normalidade dos resíduos para Biomassa do tronco (Btr) no Modelo 11.

3.2.1.3. Ajuste de equações de biomassa da copa

A biomassa de copa representa a biomassa composta pelos galhos grossos, galhos finos e folhas. A modelagem envolveu o ajuste de 24 modelos para os dados totais. Essa maior quantidade de modelos foi em decorrência do maior número de variáveis testadas: DAP, altura total (Ht), altura do tronco (Htr), Comprimento de Copa (CC) e densidade básica do tronco (Dbt).

Conjunto total dos dados

A inclusão das variáveis Comprimento de Copa e Densidade básica do tronco às equações que contém apenas o DAP ou DAP e altura total permitiram um bom ajuste dos modelos (Modelos 16 e 18) (Tabela 11).

O maior número de variáveis no modelo para prever a biomassa está relacionado justamente à diferenciação existente entre as copas dos indivíduos que compõe não apenas o conjunto de dados como da floresta como um todo.

Nota-se que foi utilizado o comprimento de copa como variável que pudesse ajudar a diferenciar as copas pela menor dificuldade em mensurar a variável em campo, entretanto, seria interessante testar também o diâmetro da copa, tanto em substituição do comprimento de copa como adicionalmente ao modelo que já contém o comprimento de copa. Porém, é importante entender que um modelo com ainda mais variáveis pode dificultar ainda mais o trabalho em campo e deixar a equação com menor aplicabilidade.

Analisando os dois modelos (Modelos 16 e 18), não houve diferença muito grande entre os valores de R^2 , e o erro padrão residual ($S_e\%$) foi menor no Modelo 16, que também apresenta menor número de variáveis. Entretanto como a diferença entre os AICc dos modelos é superior a 2, esses não podem ser considerados igualmente plausíveis (BURNHAM; ANDERSON, 2001). Assim, o melhor modelo para explicar a biomassa na área de estudo é o Modelo 18: $\ln Bcp = \ln DAP + \ln Ht + \ln CC + \ln Dbt$. Os gráficos de resíduos e normalidade desses modelos estão contidos nas Figuras 18 e 19.

Tabela 11. Coeficientes e critérios estatísticos obtidos pelo ajuste dos modelos testados para Biomassa de copa (Bcp).

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	R ² _{ajust}	S _e %	AICc
1) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP$	-2,75610	2,25230				0,625	46,35	258,51
2) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht)$	-4,13000	0,95725				0,644	45,01	253,22
3) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht$	-4,43570	1,81610	1,19590			0,642	45,07	255,16
4) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln CC$	-3,34960	1,37480	1,59570			0,778	32,41	207,42
5) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht) + b_2 \ln CC$	-4,04783	0,58518	1,51406			0,769	33,08	211,07
6) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC$	-2,95250	1,44960	-0,2993*	1,65820		0,776	32,40	209,17
7) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Htr)$	-1,68990	0,73580				0,317	66,81	318,50
8) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr$	-1,84960	2,19070	-0,57150			0,673	46,27	246,09
9) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Htr) + b_2 \ln CC$	-3,64211	0,43049	2,18716			0,730	40,44	226,87
10) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln CC$	-3,10660	1,41490	-0,1301*	1,49790		0,777	31,43	208,70
11) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln CC$	-1,50630	2,55520				0,634	46,94	256,09
12) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln Htr + b_2 \ln CC$	-1,80610	0,1315*	2,62630			0,633	47,66	257,66
Inclusão da Densidade básica da Madeira (Dbt)								
13) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Dbt$	-1,98221	2,67529	2,25913			0,888	38,81	138,58
14) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht) + b_2 \ln Dbt$	-3,47799	1,10233	2,10760			0,878	37,52	147,64
15) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Dbt$	-2,27420	2,59700	0,2019*	2,23470		0,888	38,42	140,31
16) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln CC + b_3 \ln Dbt$	-2,45750	2,09730	0,93340	0,93130		0,931	33,48	91,08
17) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht) + b_2 \ln CC + b_3 \ln Dbt$	-3,53670	0,87360	0,83650	1,77100		0,910	32,33	118,18
18) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	-1,68640	2,24900	-0,57340	1,02990	1,88990	0,935	34,67	87,62
19) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Htr) + b_2 \ln Dbt$	-1,30517	0,95338	2,17049			0,548	63,32	278,26
20) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Dbt$	-1,46748	2,61738	-0,34802	2,15025		0,906	40,91	122,75
21) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Htr) + b_2 \ln CC + b_3 \ln Dbt$	-3,10153	0,62447	1,88120	1,50910		0,835	40,60	178,59
22) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	-2,20045	2,14010	-0,1373*	0,81369	1,86966	0,933	34,52	89,89
23) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln CC + b_2 \ln Dbt$	-0,7721*	2,48670	0,73720			0,661	47,39	249,69
24) $\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln Htr + b_2 \ln CC + b_3 \ln Dbt$	-1,16170	0,1835*	2,58330	0,76610		0,662	48,54	250,63

Htr: altura do tronco (m); Ht: altura total (m); Dbt: densidade básica do tronco (kg/m³); CC: Comprimento de copa (m). * Não-significativo a 95%

Figura 18. Gráficos da normalidade e distribuição dos resíduos para Biomassa de copa (Bcp) no Modelo 18.

Figura 19. Gráficos da normalidade e distribuição dos resíduos para Biomassa de copa (Bcp) no Modelo 16.

Nota-se que foi testada a inclusão da densidade básica do galho em substituição à densidade básica do tronco para os 12 modelos que contém a variável, mas em todos houve menor qualidade de ajuste nos critérios de seleção de modelos.

3.2.1.4. Ajuste de equações de biomassa de raiz

Para o compartimento raiz foram ajustados 22 modelos, sendo que além das variáveis obtidas em campo ou laboratório (DAP, Ht, Htr, CC e Dbt), foram testados modelos com a inclusão da Biomassa total acima do solo (Btas) como variável independente no modelo (Tabela 12).

Dos 22 modelos testados, 12 tiveram algum coeficiente não significativo a 95%. Entretanto, foi o compartimento que gerou modelos com menores erros padrões residuais (22,59 a 8,64%), além de bons coeficientes de determinação e AICc próximos, exceto pelos modelos 11 e 12.

Dessa forma, apesar do melhor modelo ajustado ser o Modelo 16 ($\ln Brz = b_0 + b_1 \ln Btas + b_2 \ln DAP$), outros apresentam bons ajustes e podem ser utilizados, como o modelo 5 que não exige a inclusão da Biomassa acima do solo, apenas DAP e Dbt. Ambos apresentam normalidade e boa distribuição dos resíduos (Figuras 20 e 21).

Estudando a mesma área aos cinco anos de idade, Ferez (2010) utilizou para predição da biomassa de raiz uma equação que possui como variáveis a biomassa da copa e a biomassa aérea lenhosa. Miranda (2008) obteve melhor ajuste (com erro padrão residual de 48,06% e coeficiente de determinação ajustado de 0,8502) com equação envolvendo cinco variáveis: idade das árvores, diâmetro médio quadrático, área transversal, altura total e maior diâmetro.

Figura 20. Normalidade e distribuição da raiz quadrada do resíduo padronizado pelos valores ajustados do Modelo 16 de Biomassa de raiz (Brz).

Figura 21. Normalidade e distribuição da raiz quadrada do resíduo padronizado pelos valores ajustados do Modelo 5 de Biomassa de raiz (Brz).

Tabela 12. Coeficientes e resultados dos pelo ajuste dos modelos testados para Biomassa de raiz (Brz).

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	R ² _{aj}	S _e %	AICc
1) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP$	-2,68610	2,08390				0,859	15,25	80,19
2) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht$	-3,79570	1,76660	0,82990			0,874	12,31	74,99
3) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln CC$	-2,82800	1,86700	0,38930*			0,866	13,04	78,63
4) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr$	-2,81118	2,08913	0,08833*			0,859	15,04	81,76
5) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Dbt$	-2,31265	2,23854	0,94191			0,916	10,42	50,72
6) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC$	-3,69930	1,74380	0,72740*	0,11130*		0,872	11,95	77,15
7) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Dbt$	-2,91040	2,06390	0,42540*	0,86900		0,918	9,32	50,13
8) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	-3,01200	2,10370	0,55000*	-0,1489*	0,89600	0,918	9,48	52,01
9) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht)$	-3,84890	0,87380				0,876	12,24	72,72
10) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Ht) + b_2 \ln Dbt$	-3,55018	0,91861	0,77308			0,914	9,14	51,79
11) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Htr)$	-2,78606	0,85240				0,695	22,59	126,58
12) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 Htr) + b_2 \ln Dbt$	-2,49996	0,91468	0,83667			0,736	20,09	119,15
13) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Dbt$	-2,48447	2,24879	0,12605*	0,95866		0,918	10,01	50,53
14) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	-2,58413	2,16282	0,14718*	0,14365*	0,91482	0,917	9,62	52,28
15) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas}$	-0,80822	0,93433				0,879	10,82	71,16
16) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln DAP$	-1,90500	0,53890	0,99920			0,919	8,88	48,65
17) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln Ht$	-1,24226	0,88579	0,26501*			0,878	10,86	72,79
18) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln Dbt$	-1,43079	0,95928	-0,64608			0,906	9,81	57,12
19) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln CC$	-0,79511	0,93876	-0,01647*			0,877	10,84	73,45
20) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln Htr$	-0,86987	0,93510	0,04655*			0,877	10,97	73,22
21) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln DAP + b_3 \ln Dbt$	-2,03180	0,34970*	1,44100	0,37160*		0,919	8,96	49,87
22) $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln DAP + b_3 \ln Ht + b_4 \ln Dbt$	-2,49580	0,24050*	1,58010	0,26780*	0,50380*	0,918	8,64	51,45

Brz: Biomassa de raiz (kg); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); Ht: altura do tronco (m); Htr: altura do tronco (m); CC: Comprimento de copa (m); Dbt: densidade básica do tronco (kg/m³); *Não-significativo a 95%.

3.2.2. Ajuste de equações com variáveis categóricas

A partir dos melhores modelos obtidos pela regressão linear, foi testada se a estratificação dos dados em grupos ecológicos, de velocidade de crescimento ou em espécie melhoraria o desempenho dos modelos.

Novamente, ressalta-se que esse ajuste de equações com variáveis categóricas foi realizado para tentar melhorar as estimativas de biomassa e carbono na área estudada, não sendo aplicadas a áreas com diferentes composições de espécies. As equações generalistas são aquelas obtidas no item 3.2.1. “Equações de predição de biomassa e variáveis preditoras”.

Foram testados modelos com intercepto variável e com intercepto e coeficientes angulares variáveis para os grupos: ecológico (GE), velocidade de crescimento (GC) e espécie. Para avaliação desses modelos foi utilizado como critérios o Erro Padrão Residual (S_e), Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc) e Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}).

Biomassa total acima do solo

Para estratificação dos dados em grupos foi selecionado o modelo 6, por ser o melhor modelo de efeito fixo dentre os testados para o conjunto total de dados, gerando mais 9 modelos (Tabela 13).

Tabela 13. Modelos específicos testados para o melhor modelo de efeito fixo: $\log(B_{tas}) = \log(DAP) + \log(Ht) + \log(Db t)$. A sigla GE refere-se aos Grupos Ecológicos das espécies estudadas: Pioneira, Secundária Inicial, Secundária Tardia e Climática. A sigla GC se refere aos Grupos de Crescimento: Rápido, Moderado e Lento. Os modelos estão escritos de forma computacional, não matemática, pela quantidade de parâmetros envolvidos.

Modelo	R^2_{aj}	S_e	AIC	AICc
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Db t$	0,966	0,212	-20,53	-19,89
Grupo ecológico (GE)				
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Db t + GE$	0,9676	0,208	-21,68	-20,09
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP * GE + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Db t$	0,9683	0,206	-21,08	-18,08
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP * GE + b_2 \ln Ht * GE + b_3 \ln Db t$	0,9674	0,209	-15,75	-10,80
Grupo velocidade de crescimento (GC)				
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Db t + GC$	0,967	0,210	-20,42	-19,20
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP * GC + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Db t$	0,966	0,212	-16,65	-14,65
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP * GC + b_2 \ln Ht * GC + b_3 \ln Db t$	0,966	0,214	-12,77	-9,77
Grupo espécie				
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Db t + Espécie$	0,974	0,188	-28,98	-12,98
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP * Espécie + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Db t$	0,980	0,165	-45,58	21,99
$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP * Espécie + b_2 \ln Ht * Espécie + b_3 \ln Db t$	0,977	0,176	-34,21	176,92

Estratificar os dados em grupos ecológicos ou de velocidade de crescimento das espécies não levou à melhoria dos critérios analisados, que permaneceram próximos ao do Modelo 6, ou seja, a separação em grupos ecológicos ou de velocidade de crescimento não se justifica para a área estudo.

Quando estratificados os dados por espécie, o erro padrão residual diminuiu e o coeficiente de determinação aumentou. Olhando apenas o AIC, o modelo com variação do intercepto e coeficiente angular $\ln$ DAP seria o de maior desempenho, seguida pelo de variação no logaritmo de DAP e no de Ht. Entretanto, como a cada interação são necessários mais dados para compensar o número de coeficientes, o AICc (corrigido para pequenas amostras), revela que a inclusão das variáveis categóricas junto ao DAP e à altura total não é justificável.

Biomassa do tronco

Assim como obtido para Biomassa total acima do solo (Btas), não houve melhora no desempenho do modelo quando estratificado por espécie ou em grupos ecológicos e de velocidade de crescimento.

Tabela 14. Modelos específicos testados para o melhor modelo de efeito fixo: $\log(B_{tr}) = \log(DAP) + \log(Htr) + \log(Db t)$. A sigla GE refere-se aos Grupos Ecológicos das espécies estudadas: Pioneira, Secundária Inicial, Secundária Tardia e Climática. A sigla GC se refere aos Grupos de Crescimento: Rápido, Moderado e Lento. Os modelos estão escritos de forma computacional, não matemática, pela quantidade de parâmetros envolvidos.

Modelo	R^2_{aj}	S_e	AIC	AICc
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Db t$	0,956	0,205	-27,46	-26,82
Grupo ecológico (GE)				
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Db t + GE$	0,955	0,206	-23,47	-21,89
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP * GE + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Db t$	0,956	0,206	-21,23	-18,23
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP * GE + b_2 \ln Htr * GE + b_3 \ln Db t$	0,956	0,205	-18,96	-14,02
Grupo velocidade de crescimento (GC)				
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Db t + GC$	0,955	0,207	-23,60	-22,39
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP * GC + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Db t$	0,954	0,208	-20,17	-18,17
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP * GC + b_2 \ln Htr * GC + b_3 \ln Db t$	0,954	0,21	-17,25	-14,25
Grupo Espécie				
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Db t + Espécie$	0,957	0,201	-15,26	0,74
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP * Espécie + b_2 \ln Htr + b_3 \ln Db t$	0,967	0,177	-30,64	36,93
$\ln B_{tr} = b_0 + b_1 \ln DAP * Espécie + b_2 \ln Htr * Espécie + b_3 \ln Db t$	0,976	0,152	-63,23	147,9

A estratificação por espécie em que há efeito aleatório não apenas do intercepto como do logarítmo de DAP e do logarítmo de Htr levou à redução do erro padrão residual de 0,205 para 0,152 e ao aumento do coeficiente de determinação ajustado de 0,9558 para 0,9757 (Tabela 14). Novamente, entretanto, o AICc mostrou que, com a quantidade de dados disponíveis, a estratificação por espécie não vale a pena.

Dessa forma, para estimativa de biomassa do tronco na área de estudo, o modelo a ser utilizado ainda é $\ln(Btr) = \ln(DAP) + \ln(Htr) + \ln(Dbt)$.

Biomassa da copa

Sendo o modelo 18 o de melhor desempenho obtido para predição de biomassa da copa, este foi utilizado como modelo geral para analisar se a estratificação em grupos (espécie e velocidade de crescimento) leva a melhores estimativas de biomassa nesse compartimento. Ao todo, foram testados oito modelos, quatro para cada grupo.

Tabela 15. Modelos específicos de biomassa de copa testados para o melhor modelo de efeito fixo: $\log(B_{cp}) = \log(DAP) + \log(Ht) + \log(CC) + \log(Dbt)$. A sigla GC se refere aos Grupos de Crescimento das espécies estudadas: Rápido, Moderado e Lento. Os modelos estão escritos de forma computacional, não matemática, pela quantidade de parâmetros envolvidos.

Modelo	R^2_{aj}	S_e	AIC	AICc
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	0,935	0,361	86,72	87,62
Grupo ecológico (GE)				
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt + GE$	0,939	0,349	82,80	84,80
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP * GE + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	0,941	0,344	82,44	86,03
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP * GE + b_2 \ln Ht * GE + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	0,939	0,349	88,02	93,74
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP * GE + b_2 \ln Ht * GE + b_3 \ln CC * GE + b_4 \ln Dbt$	0,943	0,338	83,95	92,40
Grupo velocidade de crescimento (GC)				
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt + GC$	0,935	0,359	87,84	89,42
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP * GC + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	0,934	0,362	91,09	93,56
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP * GC + b_2 \ln Ht * GC + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	0,933	0,366	94,86	98,45
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP * GC + b_2 \ln Ht * GC + b_3 \ln CC * GC + b_4 \ln Dbt$	0,934	0,363	95,33	100,28
Grupo Espécie				
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt + Especie$	0,955	0,299	65,05	82,62
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP * Especie + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	0,966	0,260	45,77	117,77
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP * Especie + b_2 \ln Ht * Especie + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt$	0,962	0,273	53,61	277,61
$\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP * Especie + b_2 \ln Ht * Especie + b_3 \ln CC * Especie + b_4 \ln Dbt$	0,934	0,363	95,33	824,24

Estratificar em grupo ecológico ou de velocidade de crescimento também não levou à melhoria nos critérios de ajuste, não justificando, portanto, a separação da equação em três equações específicas por grupo de crescimento.

Entretanto, quando se estratificou os dados por espécie, houve diminuição do erro padrão residual, aumento do coeficiente de determinação e melhores estimativas de AICc, sendo o melhor modelo aquele em que houve a adição da variável categórica ($\ln B_{cp} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt + Espécie$) (Tabela 15).

A expressão matemática completa do modelo passa a ser:

$$\ln (B_{cp}) = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln CC + b_4 \ln Dbt + b_5 \ln Espécie_1 + b_6 Espécie_2 + b_7 Espécie_3 + b_8 Espécie_4 + b_9 \ln Espécie_5 + b_{10} Espécie_6 + b_{11} Espécie_7 + b_{12} Espécie_8 + b_{13} Espécie_9 + b_{14} Espécie_{10} + b_{15} \ln Espécie_{11} + b_{16} Espécie_{12} + b_{17} Espécie_{13} + b_{18} Espécie_{14} + b_{19} \ln Espécie_{15} + b_{20} Espécie_{16} + b_{21} Espécie_{17} + b_{22} Espécie_{18} + b_{23} Espécie_{19} + b_{24} Espécie_{20}.$$

Dessa forma, cada uma das 20 espécies possui uma equação, sendo que a diferença entre elas é apenas no intercepto. Ou seja, todas as 20 retas apresentam a mesma inclinação, mas partem de pontos diferentes.

Em termos práticos, implica que o fator de forma (associado ao intercepto) é muito diferente entre as espécies, mas não que não haja semelhanças entre as espécies. Ou seja, a magnitude de diferença dentro da espécie é menor do que entre as espécies, caso contrário, não haveria o efeito do grupo. Esse efeito é dado e notado principalmente por algumas espécies que apresentam grandes diferenças entre seus interceptos, como *Heliocarpus americanus* e *Myroxylum peruiferum* ou *Chorisia speciosa* e *Schinus terebinthifolius* (Tabela 16).

Os gráficos de normalidade e distribuição da raiz quadrada dos resíduos padronizados pelos valores ajustados estão contidos na Figura 22.

Novamente, entretanto, é importante pensar na aplicabilidade desse modelo, sendo o melhor para estimar a biomassa na área de estudo, mas não em áreas que apresentam diferentes composições de espécies. Para estas áreas, recomenda-se o uso de modelos menos específicos, como os gerados pelo conjunto total dos dados.

Figura 22. Normalidade e distribuição dos resíduos do modelo específico $\ln(\text{Bcp}) = \ln(\text{DAP}) + \ln(\text{Ht}) + \ln(\text{CC}) + \ln(\text{Dbt}) + \text{Especie}$.

Tabela 16. Coeficientes do Modelo $\log(\text{Bcp}) = \log(\text{DAP}) * \text{Espécie} + \log(\text{Ht}) + \log(\text{CC}) + \log(\text{Dbt})$ para cada uma das 20 espécies estudadas. As espécies estão na ordem alfabética dentro dos grupos de velocidade de crescimento (Rápido, Moderado e Lento).

Espécie	b0	b1	b2	b3	b4
<i>Heliocarpus americanus</i>	-3,38865	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Schinus terebinthifolius</i>	-2,66047	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Peltophorum dubium</i>	-2,89593	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Senegalia poplyphylla</i>	-3,01571	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Erythrina mulungu</i>	-3,74051	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Guazuma ulmifolia</i>	-3,10626	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Croton urucurana</i>	-3,19109	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Luehea divaricata</i>	-3,34349	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Lafoensia pacari</i>	-2,48193	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Ficus guaranítica</i>	-3,12396	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	-2,87555	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	-2,98245	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Chorisia speciosa</i>	-4,10578	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	-3,56788	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Pterogyne nitens</i>	-3,13572	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Myroxylon peruiferum</i>	-2,40135	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Cedrela fissilis</i>	-3,69635	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Hymenaea courbaril</i>	-3,06554	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Cariniana estrellensis</i>	-2,98874	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592
<i>Poecilanthe parviflora</i>	-2,68264	2,26950	-0,09318	0,74216	0,9592

Biomassa de raiz

Como ocorrido com Biomassa total acima do solo (B_{tas}) e Biomassa de tronco (B_{tr}), estratificar os dados por espécie, em grupo ecológico ou de velocidade de crescimento não levou a um melhor desempenho do modelo.

Tabela 17. Modelos específicos de biomassa de raiz testados para o melhor modelo de efeito fixo obtido para o compartimento: $\log(B_{rz}) = \log(B_{tas}) + \log(DAP)$. A sigla GC se refere aos Grupos de Crescimento das espécies estudadas: Rápido, Moderado e Lento. Os modelos estão escritos de forma computacional, não matemática, pela quantidade de parâmetros envolvidos.

Modelo	R^2_{aj}	S_e	AIC	AICc
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln DAP$	0,919	0,346	47,92	48,65
Grupo ecológico (GE)				
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln DAP + GE$	0,921	0,342	49,21	51,36
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} * GE + b_2 \ln DAP$	0,917	0,350	54,42	58,91
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} * GE + b_2 \ln DAP * GE$	0,917	0,349	56,50	64,42
Grupo velocidade de crescimento (GC)				
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln DAP + GC$	0,917	0,349	50,72	52,31
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} * GC + b_2 \ln DAP$	0,914	0,355	54,66	57,48
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} * GC + b_2 \ln DAP * GC$	0,912	0,360	57,80	62,29
Grupo Espécie				
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln DAP + \text{Espécie}$	0,928	0,325	54,13	84,80
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} * \text{Espécie} + b_2 \ln DAP$	0,940	0,296	39,30	251,77
$\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} * \text{Espécie} + b_2 \ln DAP * \text{Espécie}$	NA	NA	NA	NA

O modelo específico que inclui a interação da espécie com a Biomassa total acima do solo (B_{tas}) reduziu o erro padrão residual de 0,346 para 0,296. Entretanto, o AICc foi o maior dentre os modelos testados, mostrando que para a quantidade de dados disponíveis, não é viável a estratificação por espécie (Tabela 17).

O modelo $\ln B_{rz} = b_0 + b_1 \ln B_{tas} + b_2 \ln DAP$, apresentando os melhores valores para os critérios estatísticos de seleção de modelos, ainda é considerado o que melhor explica os dados de biomassa seca de raiz para a área de estudo.

Miranda (2008) obteve melhoria na qualidade de ajuste de seus modelos de estimativa de biomassa seca e carbono da árvore quando os dados foram estratificados em ritmos de crescimento. O mesmo ocorreu para biomassa seca e carbono da parte aérea e do fuste. Para raízes e galhos, a estratificação apresentou efeitos mais expressivos para espécies de crescimento lento.

Acredita-se que a estratificação em grupos de velocidade de crescimento não levou à melhoria do desempenho do modelo pela já estratificação realizada na seleção dos indivíduos a serem abatidos por classes de diâmetros específicas para cada espécie, que fez com que os próprios modelos gerais apresentassem bons desempenhos. Já para o grupo espécie, uma base de dados maior poderia levar a resultados diferentes, com provável diferença no intercepto (fator de forma) e no coeficiente angular do logaritmo de DAP.

3.3. Alocação de biomassa e carbono nos diferentes tratamentos

3.3.1. Equações de predição de biomassa

Para definição da equação a ser utilizada para predição de biomassa da parte superior da árvore foram gerados dois gráficos de dispersão, um plotando a Biomassa total acima do solo (B_{tas}) predita com a Biomassa total acima do solo observada (Figura 23) e outro com a Biomassa de tronco (B_{tr}) mais a Biomassa de copa (B_{cp}) preditas também com a Biomassa total acima do solo observada (Figura 24).

A Biomassa total acima do solo observada é a somatória da biomassa de tronco, galhos grossos e copa (galhos finos e folhas) obtidas pelo método gravimétrico.

Considerando também as variáveis mensuradas em campo no inventário realizado em janeiro de 2016 no experimento (D30, DAP e Altura total, além da Densidade básica média por espécie obtida em laboratório), não foi possível utilizar as melhores equações obtidas para Biomassa de tronco e Biomassa de copa. Entretanto, mesmo com a utilização de outras equações, o coeficiente de determinação da Biomassa predita pela somatória desses compartimentos pela Biomassa total acima do solo observada (Figura 24) ainda foi maior do que o coeficiente de determinação obtido com utilização da equação de Biomassa total acima do solo (Figura 23).

Para Biomassa do tronco a equação separada em grupo de velocidade de crescimento teve melhor ajuste do que a equação geral " $\ln(B_{tr}) = b_0 + b_1 \ln(DAP) + b_2 \ln(Ht) + b_3 \ln(Dbt)$ ". Assim, as três equações utilizadas, foram:

$$\begin{aligned}\ln(B_{tr})_{Rápido} &= -1,51349 + 2,09017 \ln(DAP) + 0,55008 \ln(Ht) + 1,64476 \ln(Dbt) \\ \ln(B_{tr})_{Moderado} &= -1,53631 + 2,09017 \ln(DAP) + 0,55008 \ln(Ht) + 1,64476 \ln(Dbt)\end{aligned}$$

$$\ln(Btr)_{Lento} = -1,62378 + 2,09017 \ln(DAP) + 0,55008 \ln(Ht) + 1,64476 \ln(Dbt)$$

Onde: Btr: Biomassa do tronco (kg); DAP: diâmetro a altura do peito (cm); Ht: altura total (m); e Dbt: densidade básica do tronco (kg.m³).

Para Biomassa da copa foi obtido melhor desempenho da equação geral “ $\ln(Bcp) = b_0 + b_1 \ln(DAP \cdot Ht) + b_2 \ln(Dbt)$ ” quando incluída a variável categórica “Espécie”. Dessa forma, foram 20 equações utilizadas, uma para cada espécie. Ou seja, a equação da biomassa da copa é específica por espécie, sendo que apenas o intercepto é diferente entre as equações das espécies, sendo demais coeficientes iguais para todas as espécies:

$$\ln(Bcp)_i = b_{0i} + 1,09735 \ln(DAP \cdot Ht) + 1,30191 \ln(Dbt)$$

Onde: Bcp é a Biomassa da copa (galhos grossos mais galhos finos e folhas) (kg); DAP é o diâmetro a altura do peito (cm); Ht é a altura total (m); CC é o comprimento da copa (m); Dbt é a densidade básica do tronco (kg.m³); e i é o índice que indica a espécie.

Para predição da biomassa de raízes foi utilizada a equação gerada com os melhores critérios de seleção de modelos obtidos e já apresentados anteriormente, sendo esta:

$$\ln(Brz) = -1,9050 + 0,5389 \ln Btas + 0,9992 \ln DAP$$

Onde: Brz é a biomassa de raiz (kg); Btas é a biomassa total acima do solo (kg); e DAP é o diâmetro a altura do peito (cm).

Nota-se que a Biomassa total acima do solo (Btas) a ser incluída na equação é gerada exatamente pela somatória da Biomassa de tronco (Btr) e Biomassa de copa (Bcp) obtidas pelas equações citadas acima.

Figura 23. Dispersão dos dados da biomassa predita (utilização da equação de Biomassa total acima do solo) pela biomassa obtida diretamente pelo método gravimétrico.

Figura 24. Dispersão dos dados da biomassa predita (equação de Biomassa do tronco e Biomassa da copa utilizadas) pela biomassa obtida diretamente pelo método gravimétrico.

3.3.2. Alocação de biomassa na área experimental

Como a quantidade de indivíduos nas parcelas de espaçamento 3 x 1m é o dobro das parcelas de espaçamento 3 x 2m, foi necessário separar a análise da biomassa média acumulada em cada parcela da biomassa total acumulada para melhor entendimento do comportamento dos fatores. Nota-se, portanto, que as conclusões obtidas, tratando da

média, revela o comportamento que plantios de restauração com esses fatores teriam quando fixado o número de indivíduos.

Outro ponto importante a ser ressaltado é no entendimento de que os resultados obtidos são oriundos do inventário realizado em janeiro de 2016, quando o plantio tinha quase 12 anos. Dessa forma, não representa o comportamento inicial e nem final da floresta, que passou e passará por transformações. Espera-se, por exemplo, que com o passar dos anos as pioneiras comecem a sair do sistema, podendo levar ao maior acúmulo de biomassa nas parcelas com proporção de 50% pioneiras e 50% não pioneiras. Da mesma forma, em espaçamentos 3 x 1m existe uma tendência em também reduzir o acúmulo de biomassa arbórea, pela competição dos indivíduos na linha de plantio, que pode levar tanto à mortalidade como à redução no incremento volumétrico e de biomassa de alguns indivíduos.

Análise da biomassa arbórea média acumulada por parcela

Para avaliar o efeito dos fatores no experimento, foi realizada análise de variância (Tabela 18) e testes de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variância, revelando efeito do “Espaçamento”, do “Manejo” e das interações 2 a 2 entre os três fatores, não sendo significativo a 5% ($p < 0,05$) o fator “Arranjo de espécies” e a interação entre os três fatores.

O efeito do bloco pode ser visualizado facilmente na Figura 25, apresentando biomassa arbórea média acumulada superior no Bloco 1, similares entre os Blocos 2 e 3 e inferior no Bloco 4.

Tabela 18. Quadro da análise de variância, considerando experimento fatorial em blocos casualizados.

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	1040,318	346,7728	10,7622	$2,00 \times 10^{-4}$
Arranjo	1	37,45717	37,45717	1,1625	0,2932
Espaçamento	1	1116,724	1116,724	34,658	0
Manejo	1	2840,475	2840,475	88,1553	0
Arranjo*Espaçamento	1	326,7297	326,7297	10,1402	0.0045
Arranjo*Manejo	1	342,6637	342,6637	10,6347	0,0037
Espaçamento*Manejo	1	1259,09	1259,09	39,0764	0
Arranjo*Espaçamento*Manejo	1	17,58588	17,58588	0,5458	0,4682
Residuo	21	676,6467	32,22127		
Total	28	7657,691			

Dentre os fatores estudados (Arranjo de espécies, Espaçamento e Manejo), o “Manejo” foi aquele em que dentro dos dois níveis dos dois fatores houve diferença entre as

médias, sendo sempre superior a média de Biomassa do manejo máximo. Ou seja, nas parcelas de Espaçamento 3x1m, a média foi superior para aquelas que apresentaram manejo intensivo. O mesmo ocorreu para as parcelas de Espaçamento 3x2m, Proporção 50% pioneiras e 50% não-pioneiras e para as de Proporção 66% pioneiras e 33% não pioneiras.

Para “Arranjo de espécies”, a média da biomassa arbórea nas parcelas com 50% pioneiras e 50% não pioneiras foi significativamente maior quando o espaçamento das parcelas era 3x1m ou quando o manejo era usual. Para parcelas com espaçamento 3m x 2m ou com manejo máximo, o arranjo de espécies não levou a diferenças significativas na biomassa média acumulada. A maior média presente nas parcelas com menor proporção de pioneiras pode estar associada à maior taxa de mortalidade verificada no inventário realizado em 2016, que detectou mortalidade aproximada de 23% para indivíduos de espécies pioneiras e de 15% para aqueles de espécies não-pioneiras.

Parcelas que receberam manejo intensivo tiveram maior acúmulo médio de biomassa em parcelas com espaçamento 3m x 2m e naquelas em que foi utilizado o manejo usual média superior de biomassa arbórea foi obtida nas parcelas com proporções 50:50.

Na prática, pode-se entender que sendo realizado o manejo intensivo na área, o maior acúmulo de biomassa é dado quando o espaçamento é de 3m x 2m, independentemente do arranjo de espécies.

No mesmo sentido, quando utilizado o manejo usual, é indiferente o espaçamento ser 3x1 ou 3x2, mas o maior acúmulo médio de biomassa arbórea é obtido quando o arranjo de espécies é de 50% pioneiras e 50% não-pioneiras.

Caso o arranjo seja 50:50, pode-se utilizar qualquer espaçamento, mas o manejo deve ser o intensivo. Para arranjo 66:33, entretanto, além do manejo intensivo é necessário espaçamento 3 x 2m para haver maior acúmulo de biomassa.

Definido o espaçamento de 3 x 1m, há maior alocação de biomassa arbórea quando a proporção é de 50% pioneiras e 50% não pioneiras e há manejo intensivo. Já para espaçamento de 3 x 2, apenas o manejo interfere, sendo a média superior no máximo.

Uma análise ao longo dos anos do experimento pode levar a resultados diferentes aos obtidos. Como já mencionado, arranjo de espécies de 50:50 ser superior à de 66:33 pode estar relacionado à idade das árvores, uma vez que as espécies pioneiras já começaram a sair do sistema (análise visual realizada durante o inventário).

As maiores médias dentro dos blocos foram obtidas para as parcelas “B2X” e “A2X”, relevando a superioridade dos tratamentos que apresentaram maiores espaçamentos e manejo intensivo.

Outro ponto a ser considerado para áreas em que busca-se a longevidade dos indivíduos (de forma que a biomassa permaneça no sistema por mais tempo) é o espaçamento, uma vez que esse fator não foi significativo no estudo ($p > 0,05$). Assim, a escolha por modelos com proporção 50% pioneiras e 50% não pioneiras mostra-se como mais interessante.

Análise da biomassa arbórea total acumulada nas parcelas

Ao analisar a biomassa arbórea total da parcela, não mais a média, o resultado passa a ser outro (Figura 25 e Tabela 19). Exceto para o Bloco 1, as duas parcelas que mais acumularam biomassa apresentam espaçamento 3 x 1m, sendo que as de maiores incrementos foram as A1U e A1X, além da B2X (tida como a de maior acúmulo médio de biomassa arbórea).

Figura 25. Distribuição da biomassa total do estrato arbóreo (Mg/ha) acumulada em cada parcela, dentro de cada bloco.

A mudança entre a média e a soma da biomassa é resultado justamente da quantidade de indivíduos nas parcelas de diferentes espaçamentos, sendo que as de 3 x 1m apresentam o dobro de indivíduos das parcelas de espaçamento 3 x 2m. Nota-se nesse ponto

o desempenho das parcelas B2X, que mesmo com metade dos indivíduos, aproximou-se das parcelas com melhores resultados.

Tabela 19. Relação por parcela da Biomassa total estimada do estrato arbóreo (Btas), Biomassa total acima do solo (Btas), Biomassa de raiz estimada (Brz), Biomassa de tronco estimada (Btr) e Biomassa de copa estimada (Bcp), sendo valores apresentados em Megagrama por hectare e ordenados pela maior Biomassa total dentro de cada bloco.

Bloco	Parcela	Arranjo	Espaçamento	Manejo	Btotal (Mg/ha)	Btas (Mg/ha)	Brz (Mg/ha)	Btr (Mg/ha)	Bcp (Mg/ha)
B1	A1U	A	3x1	Usual	157,7	120,0	37,7	48,4	71,6
B1	B2X	B	3x2	Máximo	139,6	107,2	32,4	37,9	69,3
B1	A1X	A	3x1	Máximo	128,8	98,0	30,8	40,0	58,0
B1	B1X	B	3x1	Máximo	116,9	89,6	27,3	35,5	54,1
B1	A2X	A	3x2	Máximo	107,3	81,0	26,4	30,4	50,6
B1	B1U	B	3x1	Usual	83,9	62,3	21,6	25,7	36,6
B1	A2U	A	3x2	Usual	62,1	45,5	16,6	18,5	27,1
B1	B2U	B	3x2	Usual	59,1	43,3	15,9	17,2	26,1
B2	A1X	A	3x1	Máximo	136,1	103,7	32,4	39,2	64,5
B2	B1X	B	3x1	Máximo	103,7	77,3	26,4	31,2	46,1
B2	B2X	B	3x2	Máximo	100,7	75,8	24,9	25,1	50,7
B2	A1U	A	3x1	Usual	97,2	72,2	25,0	26,6	45,7
B2	A2X	A	3x2	Máximo	80,3	60,4	19,9	21,8	38,6
B2	B1U	B	3x1	Usual	61,5	44,9	16,6	18,9	26,0
B2	B2U	B	3x2	Usual	45,4	33,2	12,2	12,9	20,3
B2	A2U	A	3x2	Usual	39,6	28,5	11,1	11,3	17,2
B3	B1X	B	3x1	Máximo	132,2	99,6	32,6	39,9	59,7
B3	A1X	A	3x1	Máximo	114,6	86,6	28,0	32,3	54,3
B3	B2X	B	3x2	Máximo	98,3	75,4	22,9	25,9	49,5
B3	A1U	A	3x1	Usual	88,2	66,2	22,0	25,6	40,6
B3	A2X	A	3x2	Máximo	77,8	58,3	19,5	22,3	36,1
B3	B1U	B	3x1	Usual	51,8	37,6	14,2	15,4	22,2
B3	A2U	A	3x2	Usual	50,6	36,7	13,9	13,5	23,2
B3	B2U	B	3x2	Usual	27,7	19,7	8,0	7,8	11,9
B4	A1U	A	3x1	Usual	111,3	84,2	27,1	34,7	49,5
B4	A1X	A	3x1	Máximo	91,4	68,0	23,3	27,5	40,5
B4	B2X	B	3x2	Máximo	88,5	66,3	22,1	26,7	39,7
B4	A2X	A	3x2	Máximo	79,9	59,0	20,9	22,5	36,5
B4	B1U	B	3x1	Usual	75,6	56,4	19,3	24,1	32,3
B4	B1X	B	3x1	Máximo	71,5	53,0	18,5	22,6	30,5
B4	A2U	A	3x2	Usual	37,3	27,5	9,8	11,6	15,8
B4	B2U	B	3x2	Usual	32,0	23,1	8,9	9,4	13,7

Outro padrão que pode ser observado é o de menores acúmulos nas parcelas A2U, B2U e B1U, revelando que o manejo usual foi o fator que mais limitou o desenvolvimento,

ainda mais quando associado a maiores espaçamentos. Esse resultado é fundamentado na maior incidência de luz dentro das parcelas 3x2m, que adicionalmente não receberam nem adubações de cobertura para acelerar o desenvolvimento das árvores e fechamento do dossel e nem controle mais frequente da matocompetição.

De outro ângulo, pode-se entender que o manejo intensivo, com a disponibilidade de adubo e controle da matocompetição a cada três meses, permitiu maior desenvolvimento inicial e corrente das plantas.

Aos seis anos, Ferez (2010) analisou o fator manejo e detectou uma alocação de biomassa arbórea bem superior para as parcelas manejadas intensivamente, sendo a comparação realizada pelo acúmulo no bloco, e não por parcela. Assim, em cada bloco há um valor médio para Manejo Intensivo e um para Usual. Dessa forma, apesar de não ser possível entender se a parcela A1U já apresentava bom desenvolvimento na época, o resultado superior das parcelas com manejo intensivo aos seis anos nos comprova a importância em manejar cuidadosamente os plantios na fase inicial de desenvolvimento das mudas, até que essas possam se estabelecer no sistema e não mais competir pelos recursos do ambiente com as plantas daninhas.

Miranda (2008) aponta que o potencial em fixar biomassa e carbono arbóreo em uma área está relacionado à quantidade de indivíduos e às características do sítio. Aponta, nesse sentido, que em algumas áreas, mesmo com maiores proporções de indivíduos de crescimento rápido (tidos como de maiores potenciais para fixação de biomassa e carbono), não foram obtidos os maiores valores de biomassa e carbono alocado.

É importante atentar-se à época em que foi instalado o experimento, quando estavam sendo iniciados os testes silviculturais com as espécies nativas em áreas de restauração. Antes não se costumava conduzir intensivamente esses plantios, sendo o tipo de manejo considerado intensivo naquele momento (adubação de cobertura e coroamento regular ao redor da mudas para eliminação da matocompetição), muito mais usual hoje em dia.

Acredita-se, portanto, que o desenvolvimento de equações de biomassa em áreas mais recentes são de grande importância, tendo em vista a evolução técnica e científica que foi adquirida ao longo desses anos.

Biomassa e carbono do estrato arbóreo

Os valores encontrados para biomassa total arbórea e carbono entre as parcelas do experimento tiveram grande variação, indo de 27,7 Mg.ha⁻¹ para a parcela B2U do Bloco 3 a 157,7 Mg/ha para a parcela A1U do Bloco 1 para o acúmulo de biomassa e de 13,0 a 74,1 Mg/ha para o acúmulo de carbono (Tabela 20).

Tabela 20. Biomassa e carbono total acumulado no estrato arbóreo e Incremento Médio Anual (IMA) dessas variáveis para cada parcela analisada.

Bloco	Parcela	Arranjo	Espaça- mento	Manejo	Biomassa (Mg/ha)	Carbono (Mg/ha)	IMA Biomassa (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	IMA Carbono (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
B1	A1U	A	3x1	Usual	157,7	74,1	13,1	6,2
B1	B2X	B	3x2	Máximo	139,6	65,6	11,6	5,5
B1	A1X	A	3x1	Máximo	128,8	60,5	10,7	5,0
B1	B1X	B	3x1	Máximo	116,9	54,9	9,7	4,6
B1	A2X	A	3x2	Máximo	107,3	50,5	8,9	4,2
B1	B1U	B	3x1	Usual	83,9	39,4	7,0	3,3
B1	A2U	A	3x2	Usual	62,1	29,2	5,2	2,4
B1	B2U	B	3x2	Usual	59,1	27,8	4,9	2,3
B2	A1X	A	3x1	Máximo	136,1	64,0	11,3	5,3
B2	B1X	B	3x1	Máximo	103,7	48,8	8,6	4,1
B2	B2X	B	3x2	Máximo	100,7	47,3	8,4	3,9
B2	A1U	A	3x1	Usual	97,2	45,7	8,1	3,8
B2	A2X	A	3x2	Máximo	80,3	37,7	6,7	3,1
B2	B1U	B	3x1	Usual	61,5	28,9	5,1	2,4
B2	B2U	B	3x2	Usual	45,4	21,3	3,8	1,8
B2	A2U	A	3x2	Usual	39,6	18,6	3,3	1,6
B3	B1X	B	3x1	Máximo	132,2	62,1	11,0	5,2
B3	A1X	A	3x1	Máximo	114,6	53,9	9,5	4,5
B3	B2X	B	3x2	Máximo	98,3	46,2	8,2	3,9
B3	A1U	A	3x1	Usual	88,2	41,4	7,3	3,5
B3	A2X	A	3x2	Máximo	77,8	36,6	6,5	3,0
B3	B1U	B	3x1	Usual	51,8	24,3	4,3	2,0
B3	A2U	A	3x2	Usual	50,6	23,8	4,2	2,0
B3	B2U	B	3x2	Usual	27,7	13,0	2,3	1,1
B4	A1U	A	3x1	Usual	111,3	52,3	9,3	4,4
B4	A1X	A	3x1	Máximo	91,4	42,9	7,6	3,6
B4	B2X	B	3x2	Máximo	88,5	41,6	7,4	3,5
B4	A2X	A	3x2	Máximo	79,9	37,5	6,7	3,1
B4	B1U	B	3x1	Usual	75,6	35,6	6,3	3,0
B4	B1X	B	3x1	Máximo	71,5	33,6	6,0	2,8
B4	A2U	A	3x2	Usual	37,3	17,5	3,1	1,5
B4	B2U	B	3x2	Usual	32,0	15,0	2,7	1,3

É importante apresentar também como foi dada a variação entre as mesmas parcelas, localizadas em blocos diferentes (Tabela 21), para melhor visualização da fixação de biomassa e carbono em suas diferentes composições dos fatores.

Tabela 21. Média e amplitude dos dados de biomassa e carbono arbóreos totais em cada um dos 8 tratamentos estudados.

Tratamento	Biomassa total (Mg/ha)	Carbono total (Mg/ha)	IMA Biomassa (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	IMA Carbono (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
A1U	113,6 (88,2 a 157,7)	53,4 (41,4 a 74,1)	9,5 (7,3 a 13,1)	4,5 (3,5 a 6,2)
B2X	106,8 (88,5 a 139,6)	50,2 (41,6 a 65,6)	8,9 (7,4 a 11,6)	4,2 (3,5 a 5,5)
A1X	117,7 (91,4 a 136,1)	55,3 (42,9 a 64,0)	9,8 (7,6 a 11,3)	4,6 (3,6 a 5,3)
B1X	106,1 (71,5 a 132,2)	49,9 (33,6 a 62,1)	8,8 (6,0 a 11,0)	4,2 (2,8 a 5,2)
A2X	86,3 (77,8 a 107,3)	40,6 (36,6 a 50,5)	7,2 (6,5 a 8,9)	3,4 (3 a 4,2)
B1U	68,2 (51,8 a 83,9)	32,1 (24,3 a 39,4)	5,7 (4,3 a 7,0)	2,7 (2 a 3,3)
A2U	47,4 (37,3 a 62,1)	22,3 (17,5 a 29,2)	4,0 (3,1 a 5,2)	1,9 (1,5 a 2,4)
B2U	41,1 (27,7 a 59,1)	19,3 (13 a 27,8)	3,4 (2,3 a 4,9)	1,6 (1,1 a 2,3)

Quando analisada a média da biomassa de copa, parcelas com maiores espaçamentos permitiram que a biomassa média desse compartimento fosse superior quando a proporção de pioneiras era maior, provavelmente pela limitação no crescimento das copas em espaçamentos menores, principalmente para as espécies pioneiras que tendem a apresentar copas mais ramificadas. Da mesma forma, o manejo intensivo não se mostrou superior ao manejo usual quando o espaçamento para o desenvolvimento da copa foi menor, justamente pela maior competição entre copas. Ou seja, a maior disponibilidade de recursos externos existentes no início do desenvolvimento do plantio não mais faz efeito aos 12 anos, quando o limitante é o espaço para incremento das copas.

De forma a comparar com outros trabalhos, o acúmulo total de biomassa arbórea foi dividido pela idade, obtendo-se o Incremento Médio Anual (IMA) para as duas variáveis. Dessa forma, a variação no IMA da Biomassa arbórea foi de 2,3 a 13,1 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e do carbono, de 1,1 a 6,2 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹.

Ferez (2010), obteve no mesmo experimento aos seis anos de idade, IMA da Biomassa arbórea que variou de 1,85 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ a 6,45 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, revelando que o incremento médio anual teve um aumento entre 6 e 12 anos.

Miranda (2008), estudando 9 áreas de reflorestamento, em diferentes idades e números variados de espécies e de indivíduos, encontrou valores muito próximos de IMA para

Biomassa arbórea: $2,6 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o plantio com menor fixação de biomassa e $13,8 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a área de maior fixação.

Analisando plantios de recuperação de mata ciliar com solos tidos como de alta fertilidade, em áreas em que a vegetação natural da região de estudo é a Floresta Estacional Semidecidual, e utilizando as equações de Scolforo et al (2008) para estimativa de biomassa e carbono da parte aérea da árvore, Ferreira (2009) encontrou um Incremento Médio Anual (IMA) de $12,7 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para biomassa e $8,6 \text{ Mg.C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de carbono para a área de 12 anos de idade e uma amplitude para biomassa de 3,3 a $20,2 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e para carbono de 0,9 a $8,6 \text{ Mg.C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. A variação na alocação de biomassa e carbono é oriunda das diferentes realidades em que os plantios estão inseridos, sendo alguns dos fatores limitantes de crescimento dos indivíduos arbóreos a infestação de lianas, alta mortalidade associada à falta de manutenção na fase de estabelecimento das mudas e abertura de trilhas para pescadores.

No mesmo estudo, foi obtido para o remanescente florestal, uma média de 115 Mg/ha de biomassa aérea e $38,7 \text{ Mg/ha}$ de carbono (FERREIRA, 2009), valor próximo aos obtidos nas melhores parcelas (Tabela 19): $120,0 \text{ Mg/ha}$ e $107,2 \text{ Mg/ha}$ para A1U e B2X, ambas no Bloco 1.

Também em áreas de reflorestamento de mata ciliar em Floresta Estacional Semidecidual, Melo e Durigan (2006), utilizando-se de equações desenvolvidas por Brown et al (1989), obteve estimativa de biomassa acima do solo entre 66 e 121 Mg.ha^{-1} , sendo o IMA de 6,6 a $12 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Para carbono, os valores ficaram entre 33 a $60,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ou IMA de 3,3 a $6,1 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Em Floresta Estacional Semidecidual madura, Ferez (2010) encontrou valores para carbono da parte aérea, variando de 98,5 a $187,9 \text{ Mg.C.ha}^{-1}$, bem superiores ao encontrado aos 12 anos na área de estudo, mas condizente com Britez (2006), que encontrou uma média de $108,6 \text{ Mg.C.ha}^{-1}$.

Dessa forma, percebe-se que as parcelas que obtiveram as maiores biomassas aéreas acumuladas apresentaram valores próximos aos encontrados em plantios de restauração de mesma idade, mas ainda estão aquém dos valores obtidos em Florestas maduras em bom estado de conservação.

4. CONSIDERAÇÕES

A classificação das espécies em grupos ecológicos e em grupos de velocidade de crescimento não resultou em melhorias no modelo e no entendimento da alocação de biomassa dentro dos compartimentos da árvore. A diferenciação existente dentro da própria espécie e mesmo dentro do indivíduo não possibilitou que o arranjo em grupos explicasse melhor a variável biomassa.

A proporção de biomassa média alocada nos compartimentos foi de 26,6% nas raízes, 34% no tronco, 14,4% nos galhos grossos e 25% na copa, demonstrando a importância em se considerar todos os compartimentos arbóreos na estimativa de biomassa e carbono de uma área florestal ou mesmo de uma única árvore.

Entre os modelos com melhores qualidade de ajuste, todos envolvem o DAP e densidade básica do tronco, sendo o primeiro associado ao volume e o segundo à massa, sendo a característica que diferencia uma espécie da outra. Variáveis relacionadas à altura (altura total, altura do tronco e comprimento de copa) melhoraram o desempenho dos modelos quando associados a estas duas variáveis, exceto para biomassa de raiz.

A utilização de modelos com variáveis categóricas não se mostrou eficiente, exceto para biomassa seca de copa, provavelmente pela qualidade dos dados gerados e utilizados: indivíduos abatidos selecionados por classes de diâmetro por espécie (representando a velocidade de crescimento) e inclusão da densidade básica nos modelos, que acabou separando as espécies por si só. Para o grupo espécie, estudo com maior quantidade de indivíduos abatidos por espécie pode mudar esse cenário, já que o AICc foi bem superior ao AIC nos modelos com variação do intercepto e dos coeficientes angulares. A melhoria no modelo de biomassa seca de copa está relacionada justamente à diferença na arquitetura de copa entre as espécies, sendo natural que o intercepto, relacionado ao fator de forma, seja diferente entre elas.

A diferença nas arquiteturas de copa, tanto entre espécies como entre indivíduos, é o fator que leva a um maior erro não apenas na estimativa da biomassa da copa como na da biomassa total acima do solo. Estudos sobre o comportamento e arquitetura de copa de espécies de florestas tropicais voltados a volume e biomassa são necessários para diminuir as

incertezas na quantificação dessas variáveis. O uso da variável diâmetro de copa em vez do comprimento de copa também pode melhorar o desempenho dos modelos.

Foram testados apenas modelos de efeito fixo, entretanto, modelos de efeito misto podem ser uma forma de explicar melhor os dados, separando-os por espécie. Essa separação em espécie pode ser uma alternativa ao uso da densidade básica do tronco, precisando apenas de equações que envolvam variáveis que sejam associadas ao volume.

O tipo manejo com aplicação de adubação de cobertura e controle da matocompetição na linha de plantio demonstrou-se como o fator mais limitante ao desenvolvimento dos indivíduos arbóreos e consequente acúmulo de biomassa e carbono, sendo que parcelas com manejo usual e espaçamentos maiores levaram aos menores acúmulos de biomassa e carbono do estrato arbóreo.

Quando analisada a média da biomassa de copa, parcelas com maiores espaçamentos permitiram que a biomassa média desse compartimento fosse superior quando a proporção de pioneiras era maior, provavelmente pela limitação no crescimento das copas em espaçamentos menores, tendo as pioneiras arquitetura de copa tipicamente mais ramificada. Da mesma forma, o manejo intensivo não se mostrou superior ao manejo usual quando o espaçamento foi menor.

Não houve um padrão de maior alocação de biomassa arbórea total para as parcelas com maior proporção de pioneiras, podendo estar relacionado à mortalidade observada em campo para essas espécies no inventário realizado.

É importante considerar o *trade-off* entre carbono e biodiversidade. Ou seja, é fundamental que plantios de restauração florestal, que visem estabelecer um ambiente que torne a floresta autossustentável e que se perpetue ao longo do tempo, além de acumularem o máximo de biomassa e carbono, considerem a diversidade de espécies a ser utilizada.

5. CONCLUSÕES

Melhores ajustes para Biomassa total acima do solo (Btas) envolveu variáveis DAP, altura total e densidade básica. Para tronco, em vez de utilizar altura total (Ht), melhor ajuste foi obtido com altura do tronco (Htr), além de DAP e densidade básica.

Para a copa, além de DAP, densidade básica e altura total, comprimento de copa levou ao melhor desempenho do modelo. Para predição de biomassa de raízes o modelo inclui as variáveis Biomassa total acima do solo e DAP.

A somatória de Biomassa de tronco e Biomassa de copa levou a uma melhor estimativa de biomassa do que a equação específica para Biomassa total acima do solo.

Modelos de restauração com maior controle de matocompetição e adubação de cobertura são superiores no acúmulo de biomassa e carbono do que modelos com menor intensidade de manejo. Em espaçamentos maiores, essa diferença é ainda maior.

Arranjo de espécies mostrou-se como um fator não significativo no acúmulo de biomassa. Entretanto, visando longevidade dos indivíduos arbóreos, arranjo de espécies com proporção de 50% pioneiras e 50% não pioneiras é mais interessante do que proporção 66:33.

O estudo da biomassa do estrato arbóreo acumulada ao longo dos anos pode levar a uma interpretação da influência dos fatores “Arranjo de espécies”, “Espaçamento” e “Manejo” nos diferentes estágios de crescimento da floresta.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. do; SILVA FILHO, D. F. da. Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas. 1.ed., 384 p. São Paulo. Oficina de Textos, 2014.
- BRITEZ, R.M.; BORGIO, M.; TIEPOLO, G.; FERRETTI, A.; CALMON, M.; HIGA, R. **Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 165 p.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A.E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, New York, v. 35, n. 4, p. 881-902, Dec. 1989.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Kullback-Leibler information as a basis for strong inference in ecological studies. **Wildlife Research**, v. 28, n. 2, p. 111–119, 2001.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model Selection and Multimodel Inference: a practical information-theoretic approach**. 2nd. ed. Fort Collins, CO: Springer-Verlag New York, Inc, 2002.
- CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, n. 1, p. 87–99, 2005.
- CÉSAR, O. **Composição florística, fitossociológica e ciclagem de nutrientes em mata mesófila semidecídua (Fazenda Barreiro Rico, Município de Anhembi-SP)**. 1988. 223p. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”, Rio Claro, 1988.
- DONALDSON, L.; NANAYAKKARA, B.; HARRINGTON, J. Wood Growth and Development. Encyclopedia of Applied Plant Sciences, vol.1, 2ed., p-203-210, 2017.
- FEREZ, A. P. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre as taxas iniciais de sequestro de carbono em plantios de restauração de Mata Atlântica**. Universidade de São Paulo, 2010.
- FEREZ, A. P. C. et al. Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 350, p. 40–45, 2015.
- FERREIRA, W. C. **Estoque de Biomassa e Carbono e Recuperação de Mata Ciliar**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2009.
- FORSTER, H. W.; MELO, A. C. G. de. Biomassa aérea e de raízes em árvores de reflorestamentos heterogêneos no Vale do Paranapanema - SP. **IF Sér. Reg.** São Paulo, n. 31, p. 153-157, jul. 2007.
- GUSSON, E. **Avaliação de métodos para a quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas da Mata Atlântica**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2014.
- MELO, A.C.G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 71, p. 149-154, 2006.

- MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em 2 de junho de 2017.
- MIRANDA, D. L. C. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2008.
- PERES, M. L. DE et al. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto pela variação da massa específica de açoita-cavalo. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, p. 1596–1602, 2012.
- SOBRAL, T. E. L.; BARRETO, G. Utilização dos critérios de informação na seleção de modelos de regressão linear. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, v. 4, p. 1–7, 2016.
- VANNOPPEN, A. et al. Climate driven trends in tree biomass increment show asynchronous dependence on tree-ring width and wood density variation. **Dendrochronologia**, v. 48, n. September 2017, p. 40–51, 2018.
- VISMARA, E. D. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2009.
- VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico-SIF**, Viçosa, n.1, p. 1-21, 1984. In: VISMARA, E. D. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2009.

ANEXOS

ANEXO A. Croqui com distribuição das parcelas experimentais do ensaio “Modelos de Recuperaçãp de Áreas Degradadas da Mata Atlântica” na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi.

Codificação:

- Modelo: A - 50% P + 50% NP
B - 66% P + 34% NP
- Densidade: 1 - espaçamento 3 x 1 m
2 - espaçamento 3 x 2 m
- Tecnologia U - usual
X - Máxima
- Adicionais: T - testemunha
D - Destrutiva

- Bloco 1
Bloco 2
Bloco 3
Bloco 4
Regeneração Natural

OBSERVAÇÃO: Parcelas A1U e B2X do Bloco 1 plantadas em ordem inversa ao apresentado no croqui.

ANEXO B. Dados de biomassa por compartimento, tanto pela técnica volumétrica como gravimétrica para todos indivíduos abatidos.

Espécie	Classe	DAP (cm)	B. galho (kg) - grav.	B. tronco (kg) - grav.	B. tronco + galho (kg) - grav.	B. raiz (kg) - grav.	B. copa (kg) - grav.	B.total (kg) - grav.	B. tronco (kg) - vol.	B. galho (kg) - vol.	B. tronco + galho (kg) - vol.
Açoita	1	8,3	2,6	9,1	11,7	5,6	6,0	23,3	11,8	1,8	13,7
Açoita	2	9,0	0,8	6,7	7,5	0,0	4,3	11,7	8,1	0,7	8,7
Açoita	3	11,7	1,0	15,0	16,0	18,6	11,3	45,9	17,5	1,0	18,6
Açoita	4	14,9	7,3	39,5	46,8	0,0	14,4	61,2	40,7	6,9	47,5
Açoita	5	21,5	32,4	49,7	82,1	53,5	42,9	178,5	56,7	34,3	91,0
Algodoeiro	1	11,8	5,8	9,9	15,7	4,6	4,7	25,0	14,1	6,4	20,5
Algodoeiro	3	19,8	15,0	19,3	34,2	0,0	8,4	42,6	26,2	17,1	43,2
Algodoeiro	2	13,2	1,6	11,3	13,0	0,0	6,1	19,1	14,9	2,0	16,9
Algodoeiro	4	27,1	21,9	23,3	45,3	39,4	17,5	102,1	16,8	31,9	48,7
Algodoeiro	5	31,1	41,3	42,7	84,0	48,9	27,9	160,9	54,0	57,1	111,2
Amendoim	1	6,4	0,0	6,4	6,4	0,0	5,3	11,6	5,6	0,0	5,6
Amendoim	2	10,0	6,8	15,4	22,2	10,8	15,8	48,8	19,3	7,0	26,3
Amendoim	3	11,4	13,4	20,0	33,4	15,9	9,4	58,7	20,4	13,9	34,3
Amendoim	4	14,2	3,3	56,0	59,3	0,0	21,5	80,8	57,7	4,3	62,0
Amendoim	5	26,0	110,6	81,7	192,3	78,0	52,1	322,4	94,8	110,6	205,4
Aroeira	1	9,2	6,2	4,6	10,8	3,8	13,7	28,3	4,9	6,1	11,0
Aroeira	2	11,5	19,3	12,0	31,3	0,0	23,0	54,3	12,7	18,3	31,0
Aroeira	3	13,5	15,0	18,4	33,3	0,0	38,7	72,0	16,3	17,7	34,0
Aroeira	4	18,2	14,5	56,7	71,2	23,5	59,1	153,9	66,3	11,1	77,4
Aroeira	5	20,7	42,8	25,4	68,2	31,1	48,4	147,7	29,5	39,7	69,3
Cabreúva	1	5,0	0,0	2,7	2,7	2,3	4,4	9,4	2,6	0,0	2,6
Cabreúva	2	6,4	1,3	6,7	8,0	3,4	9,0	20,4	7,5	1,4	8,9
Cabreúva	3	6,4	0,0	7,0	7,0	0,0	4,7	11,7	7,6	0,0	7,6
Cabreúva	4	8,4	0,0	15,0	15,0	8,2	18,8	42,0	15,7	0,0	15,7
Cabreúva	5	9,5	1,6	23,8	25,3	0,0	26,8	52,1	22,8	1,5	24,3
Cedro	1	6,1	0,0	2,8	2,8	2,2	1,1	6,1	3,4	0,0	3,4

Cedro	2	8,5	0,0	5,2	5,2	0,0	1,2	6,4	7,2	0,0	7,2
Cedro	3	9,4	0,7	7,8	8,5	2,4	2,0	13,0	9,9	0,6	10,5
Cedro	4	12,3	2,1	17,3	19,4	0,0	3,5	22,9	23,0	1,5	24,5
Cedro	5	20,5	28,6	23,0	51,5	24,2	12,4	88,2	31,4	27,5	58,9
Canafístula	1	5,3	0,0	5,7	5,7	4,4	2,0	12,1	5,5	0,0	5,5
Canafístula	2	10,2	3,1	20,8	24,0	0,0	13,7	37,7	21,9	3,3	25,2
Canafístula	3	20,7	48,6	106,8	155,4	70,4	83,2	309,0	110,6	43,7	154,3
Canafístula	4	21,8	100,7	54,8	155,5	0,0	70,8	226,3	56,9	75,6	132,5
Canafístula	5	26,5	194,7	49,6	244,3	83,9	65,3	393,5	55,9	167,2	223,0
Dedaleiro	1	5,3	0,0	3,7	3,7	2,6	4,4	10,7	3,9	0,0	3,9
Dedaleiro	2	8,5	3,6	8,2	11,8	0,0	15,1	26,9	8,6	4,3	12,9
Dedaleiro	3	11,3	7,1	27,2	34,3	12,4	25,6	72,4	31,8	7,6	39,4
Dedaleiro	4	12,6	36,0	12,0	48,0	0,0	67,8	118,5	16,2	35,5	51,7
Dedaleiro	5	16,5	38,6	23,6	62,2	38,7	58,0	158,9	32,9	32,8	65,7
Figueira	1	5,9	0,0	2,4	2,4	1,5	3,1	6,9	3,0	0,0	3,0
Figueira	2	10,6	3,6	13,5	17,1	5,2	5,7	28,1	14,7	3,8	18,5
Figueira	3	10,8	1,3	15,8	17,0	0,0	8,2	25,3	18,8	1,8	20,5
Figueira	4	16,3	3,7	42,8	46,5	48,3	14,3	109,1	42,6	6,3	48,9
Figueira	5	17,0	21,9	25,0	46,9	0,0	28,4	75,3	29,2	20,2	49,4
Ipê	1	8,5	1,3	10,6	11,9	4,0	6,0	21,9	10,8	1,2	12,1
Ipê	2	11,3	15,9	21,7	37,7	0,0	15,8	53,4	21,6	14,3	35,9
Ipê	3	14,5	29,0	21,9	50,9	12,1	16,7	79,6	24,9	28,5	53,4
Ipê	4	16,3	27,4	54,1	81,5	0,0	44,7	126,2	55,1	25,7	80,9
Ipê	5	19,5	61,8	48,7	110,5	39,5	52,1	202,1	64,0	49,7	113,7
Jacarandá	1	9,2	2,3	9,2	11,5	0,0	5,6	17,0	11,1	2,3	13,4
Jacarandá	2	12,2	6,5	14,7	21,2	15,5	13,0	49,7	15,0	6,6	21,6
Jacarandá	3	19,0	27,8	69,1	97,0	49,6	52,2	198,8	82,2	30,4	112,6
Jacarandá	4	22,8	30,5	79,4	109,9	79,8	80,4	270,1	93,1	66,6	159,7
Jacarandá	5	29,5	196,2	44,7	240,9	0,0	108,2	349,0	56,8	213,1	269,9

Jequitibá	1	7,0	0,0	5,8	5,8	4,5	4,3	14,5	6,9	0,0	6,9
Jequitibá	2	10,8	1,9	16,1	18,0	0,0	12,5	30,5	17,0	2,1	19,1
Jequitibá	3	12,5	4,5	17,6	22,1	13,7	11,5	47,4	20,1	4,6	24,7
Jequitibá	4	16,3	13,5	25,7	39,2	0,0	43,3	82,6	31,4	12,6	44,1
Jequitibá	5	16,0	10,8	46,5	57,2	22,3	30,4	109,9	51,4	9,5	60,9
Jatobá	1	8,5	2,4	10,5	12,9	11,5	8,1	32,4	11,4	2,6	14,0
Jatobá	2	13,4	10,4	35,5	45,9	0,0	23,3	69,2	39,8	12,0	51,8
Jatobá	3	16,3	8,3	58,9	67,1	44,2	32,6	144,0	65,3	6,7	72,0
Jatobá	4	18,5	29,0	108,6	137,6	0,0	53,0	190,6	113,8	24,6	138,5
Jatobá	5	20,4	32,9	101,9	134,8	40,9	53,9	229,6	94,7	31,0	125,7
Lapacho	1	5,9	0,0	6,1	6,1	3,4	6,2	15,7	6,9	0,0	6,9
Lapacho	2	7,0	0,0	8,1	8,1	4,8	6,3	19,2	9,4	0,0	9,4
Lapacho	3	9,9	0,0	25,9	25,9	0,0	19,4	45,3	21,3	0,0	21,3
Lapacho	4	11,7	9,5	13,0	22,6	13,3	34,3	70,2	12,5	6,8	19,3
Lapacho	5	13,7	33,3	33,8	67,1	0,0	68,0	135,1	27,8	28,3	56,1
Mulungu	1	11,5	1,7	6,2	7,9	7,3	1,8	17,0	11,4	1,7	13,1
Mulungu	2	19,3	6,2	14,8	21,0	16,0	4,7	41,8	24,1	8,3	32,5
Mulungu	3	23,5	12,9	31,2	44,1	0,0	9,0	53,1	50,4	11,3	61,7
Mulungu	4	31,2	49,9	46,6	96,4	65,8	11,1	173,3	57,0	47,8	104,8
Mulungu	5	47,5	210,8	112,3	323,1	0,0	56,8	379,8	117,4	202,1	319,5
Monjoleiro	1	9,0	4,9	16,5	21,4	7,3	15,6	44,4	18,4	5,3	23,6
Monjoleiro	2	15,3	26,4	48,8	75,2	0,0	36,4	111,6	49,5	17,3	66,8
Monjoleiro	3	19,0	39,2	73,1	112,3	34,9	48,8	195,9	61,9	50,4	112,3
Monjoleiro	4	30,0	159,0	103,0	262,0	120,4	48,6	430,9	121,3	174,2	295,5
Monjoleiro	5	32,8	270,1	99,2	369,4	0,0	95,0	464,4	124,7	275,8	400,5
Mutambo	1	5,9	0,0	3,3	3,3	1,5	4,3	9,1	3,3	0,0	3,3
Mutambo	2	9,5	4,1	9,6	13,7	0,0	6,2	19,9	13,2	5,7	18,9
Mutambo	3	13,0	12,4	29,8	42,3	13,5	8,5	68,2	33,1	11,2	44,3
Mutambo	4	16,4	21,0	33,8	54,8	0,0	17,3	72,1	42,5	22,9	65,5
Mutambo	5	18,5	27,4	58,6	86,0	39,2	27,4	152,6	70,1	26,8	96,9

Paineira	1	6,0	0,0	3,3	3,3	3,4	1,2	7,9	4,5	0,0	4,5
Paineira	2	10,8	0,0	9,6	9,6	0,0	2,6	12,2	10,5	0,0	10,5
Paineira	3	13,8	1,4	13,2	14,6	10,2	2,3	27,2	16,2	1,9	18,1
Paineira	4	15,0	0,0	16,2	16,2	0,0	1,8	18,0	18,6	0,0	18,6
Paineira	5	25,0	1,5	40,2	41,7	18,9	6,6	67,2	53,1	1,1	54,2
Sangra	1	9,8	2,9	8,0	10,8	10,1	6,9	27,8	11,9	3,4	15,3
Sangra	2	14,0	7,4	7,3	14,7	0,0	3,4	18,2	13,3	7,4	20,7
Sangra	3	21,5	72,1	18,9	91,0	76,2	50,6	217,7	27,3	85,2	112,6
Sangra	4	26,0	77,2	11,7	88,9	0,0	60,1	149,0	31,0	83,9	114,9
Sangra	5	36,0	144,7	48,4	193,2	91,1	66,5	350,8	59,0	169,5	228,5
Timboril	1	7,5	0,0	3,4	3,4	3,8	1,6	8,8	3,8	0,0	3,8
Timboril	2	11,0	2,1	9,2	11,3	0,0	2,0	13,3	9,9	2,2	12,1
Timboril	3	14,8	4,5	26,0	30,5	16,7	6,4	53,6	31,7	4,6	36,3
Timboril	4	20,3	10,3	63,4	73,7	0,0	9,5	83,3	71,1	8,4	79,5
Timboril	5	30,7	139,4	86,6	226,0	102,3	39,7	368,0	110,6	147,9	258,6

ANEXO C. Biomassa total acima do solo (Btas) para indivíduos das classes 1 a 5 de diâmetro, separados pelos três grupos de velocidade de crescimento: Rápido, Moderado e Lento. Não houve diferença significativa entre os grupos a 95% de confiança.

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 1

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 2

ANEXO D. Biomassa total acima do solo (Btas) para indivíduos das classes 1 a 5 de diâmetro, separados pelos grupos ecológicos: Pioneira, Secundária Inicial, Secundária Tardia e Clímax. Não houve diferença significativa entre os grupos a 95% de confiança.

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 1

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 2

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 3

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 4

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 5

ANEXO E. Biomassa total acima do solo (Btas) para indivíduos da classe 1 a 5 de diâmetro, ordenadas da maior para menor Biomassa.

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 3

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 4

Biomassa total acima do solo (Btas) - Classe 5

ANEXO F. Proporção de biomassa das três classes de diâmetro de cada espécie que tiveram raízes mensuradas (área restaurada com 12 anos de idade).

Espécie	Classe	Proporção de biomassa (%)				Espécie	Classe	Proporção de biomassa (%)			
		Raiz	Tronco	Galhos Grossos	Copa			Raiz	Tronco	Galhos Grossos	Copa
<i>Heliocarpus americanus</i>	1	18,2	39,7	23,2	18,9	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	1	18,2	48,2	6,1	27,5
	4	38,6	22,9	21,5	17,1		3	15,2	27,5	36,4	20,9
	5	30,4	26,6	25,7	17,3		5	19,6	24,1	30,6	25,8
<i>Schinus terebinthifolius</i>	1	13,3	16,3	22,0	48,3	<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	2	31,1	29,5	13,2	26,2
	4	15,3	36,8	9,5	38,4		3	24,9	34,8	14,0	26,3
	5	21,1	17,2	29,0	32,8		4	29,5	29,4	11,3	29,8
<i>Peltophorum dubium</i>	1	36,7	46,7	0,0	16,6	<i>Chorisia speciosa</i>	1	43,1	41,5	0,0	15,5
	3	22,8	34,6	15,7	26,9		3	37,5	48,7	5,2	8,6
	5	21,3	12,6	49,5	16,6		5	28,1	59,9	2,2	9,8
<i>Senegalia poplyphylla</i>	1	16,6	37,2	11,1	35,2	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	1	43,0	38,8	0,0	18,3
	3	17,8	37,3	20,0	24,9		3	31,2	48,4	8,4	12,0
	4	27,9	23,9	36,9	11,3		5	27,8	23,5	37,9	10,8
<i>Erythrina mulungu</i>	1	43,1	36,5	9,9	10,5	<i>Pterogyne nitens</i>	2	22,1	31,5	14,0	32,4
	2	38,4	35,5	14,8	11,3		3	27,1	34,0	22,7	16,1
	4	37,9	26,9	28,8	6,4		5	24,2	25,3	34,3	16,1
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1	16,7	36,3	0,0	47,0	<i>Myroxylon peruiferum</i>	1	24,1	28,9	0,0	47,0
	3	21,0	46,4	19,4	13,2		2	16,8	32,9	6,2	44,1
	5	25,7	38,4	18,0	18,0		4	19,4	35,8	0,0	44,8
<i>Croton urucurana</i>	1	36,2	28,6	10,3	24,9	<i>Cedrela fissilis</i>	1	36,0	45,6	0,0	18,4
	3	35,0	8,7	33,1	23,2		3	18,7	59,8	5,7	15,8
	5	26,0	13,8	41,3	19,0		5	27,5	26,1	32,4	14,1
<i>Luehea divaricata</i>	1	24,0	39,2	11,1	25,7	<i>Hymenaea courbaril</i>	1	35,3	32,3	7,4	24,9
	3	40,6	32,6	2,2	24,7		3	30,7	40,9	5,8	22,7
	5	30,0	27,8	18,2	24,0		5	17,8	44,4	14,3	23,5
<i>Lafoensia pacari</i>	1	24,1	34,3	0,0	41,5	<i>Cariniana estrellensis</i>	1	30,7	39,7	0,0	29,5
	3	17,1	37,6	9,9	35,4		3	29,0	37,1	9,6	24,3
	5	24,4	14,9	24,3	36,5		5	20,3	42,3	9,8	27,7
<i>Ficus guaranitica</i>	1	20,9	34,8	0,0	44,3	<i>Poecilanthe parviflora</i>	1	21,4	39,0	0,0	39,6
	2	18,6	48,0	13,0	20,5		2	25,2	41,9	0,0	33,0
	4	44,2	39,2	3,4	13,1		4	18,9	18,5	13,6	48,9

ANEXO G. Proporção de biomassa das três classes de cada espécie de 10 espécies estudadas (primeira coluna de espécies da Tabela do Anexo F).

ANEXO H.

Proporção de biomassa das três classes de cada espécie de 10 espécies estudadas (segunda coluna de espécies da Tabela do Anexo F).

Proporção de biomassa nos componentes arbóreos