

Crescimento de Espécies Madeireiras Comerciais em Florestas no Acre



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Acre
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

DOCUMENTOS 152

Crescimento de Espécies Madeireiras Comerciais em Florestas no Acre

Henrique José Borges de Araujo

***Embrapa Acre
Rio Branco, AC
2018***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Acre

Rodovia BR 364, km 14,
sentido Rio Branco/Porto Velho
Caixa Postal 321, CEP 69900-970 Rio Branco, AC
Fone: (68) 3212-3200, Fax: (68) 3212-3285
<http://www.embrapa.br>
<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Acre

Presidente
Elias Melo de Miranda

Secretária-Executiva
Claudia Carvalho Sena

Membros
*Carlos Mauricio Soares de Andrade, Celso Luis
Bergo, Evandro Orfanó Figueiredo,
Rivaldave Coelho Gonçalves, Rodrigo Souza
Santos, Romeu de Carvalho Andrade Neto,
Tadário Kamel de Oliveira, Tatiana de Campos,
Virgínia de Souza Álvares*

Supervisão editorial e revisão de texto
Claudia Carvalho Sena, Suely Moreira de Melo

Normalização bibliográfica
Renata do Carmo França Seabra

Editoração eletrônica e tratamento das
ilustrações
Francisco Carlos da Rocha Gomes

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Fotos da capa
Henrique José Borges de Araujo

1ª edição

1ª impressão (2018): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Acre

Araujo, Henrique José Borges de.

Crescimento de espécies madeireiras comerciais em florestas no Acre / por
Henrique José Borges de Araujo. – Rio Branco, AC : Embrapa Acre, 2018.

61 p. : il. color. – (Documentos / Embrapa Acre, ISSN 0104-9046; 152).

1. Silvicultura. 2. Manejo florestal – Acre. 3. Floresta – regeneração. I.
Embrapa Acre. II. Título. III. Série.

CDD (21. ed) 634.92098112

Autor

Henrique José Borges de Araujo

Engenheiro florestal, M.Sc. em Ciências Florestais, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Agradecimentos

Aos pequenos produtores rurais do Projeto de Colonização Pedro Peixoto pela permissão de acesso às áreas florestais monitoradas e à própria Embrapa Acre pelos recursos financeiros, materiais e humanos concedidos, especialmente à equipe técnica florestal de campo, da qual fazem parte Manoel Freire Correia, Aldeci da Silva Oliveira, Airton do Nascimento Farias e Paulo Rodrigues de Carvalho.

Apresentação

Na região Amazônica o manejo florestal é uma atividade econômica que valoriza a floresta e reduz a pressão por novos desmatamentos. O manejo florestal engloba os três principais pilares da sustentabilidade: 1) o econômico, ofertando continuamente produtos e serviços; 2) o social, possibilitando melhor qualidade de vida pela geração de renda derivada das atividades econômicas; e 3) o ambiental, conservando a diversidade biológica e as florestas com suas funções essenciais e contribuindo com o equilíbrio climático.

O manejo florestal está presente na Amazônia brasileira há mais de 60 anos, iniciado por uma missão pioneira da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) na reserva florestal de Curuá-Una, Santarém, PA. Todavia, é uma técnica de produção ainda em desenvolvimento, passível de correções e ajustes, uma vez que depende de complexas interações ecológicas entre as centenas de espécies e o lento crescimento das árvores.

Para que uma floresta sob manejo florestal seja sustentável deve haver um equilíbrio entre a quantidade de madeira retirada e aquela que é oriunda do seu crescimento, ou seja, a sustentabilidade somente é alcançada quando a reposição volumétrica madeireira (crescimento da floresta) for, no tempo entre uma colheita e outra (25 anos, no mínimo, conforme a legislação), igual ou superior ao volume de madeira retirado.

Este trabalho traz os resultados de uma pesquisa que monitorou por 6 anos o crescimento de árvores de espécies madeireiras em áreas sob manejo florestal no sudeste acriano. Além de retratar o crescimento da floresta, a pesquisa analisou a sustentabilidade do manejo praticado nas áreas estudadas, sendo, nesse

aspecto, conflitante, uma vez que aponta incompatibilidade na capacidade da floresta repor o volume retirado no tempo proposto na legislação. Desse modo, a pesquisa sugere a revisão das bases normativas legais e constitui uma contribuição de destaque ao aprimoramento do manejo florestal na região Amazônica.

Eufran Ferreira do Amaral

Chefe-Geral da Embrapa Acre

Sumário

Introdução.....	11
Área do estudo	13
Etapas da implantação e monitoramento das cintas dendrométricas	14
Espécies selecionadas	20
Intensidade amostral	21
Cálculo do incremento diamétrico anual	23
Cálculos e análises das relações funcionais entre as variáveis.....	24
Cálculo do volume e incremento volumétrico anual	25
Cálculo do tempo de reposição do volume inicial	27
Avaliações realizadas	27
Cintas instaladas e monitoradas	28
Espécies monitoradas	30
Caracterização das árvores.....	30
Incremento diamétrico anual	37
Relações funcionais entre as variáveis	43
Incremento volumétrico e ciclo de corte ótimo estimado.....	48
Compatibilidade com a legislação florestal	52
Considerações finais	56
Referências	57

Introdução

O crescimento das árvores consiste no aumento das dimensões das suas diferentes partes (troncos, galhos e raízes) em um determinado período de tempo, provocando mudanças quanto ao tamanho e à forma (Husch et al., 1982). Entre essas dimensões citam-se o diâmetro do tronco e da copa, a altura, o volume, a biomassa e a área basal (Vanclay, 1994; Prodan et al., 1997; Figueiredo et al., 2003). O crescimento é influenciado pelas características inerentes a cada espécie e interação com o ambiente, em que se incluem fatores climáticos, edáficos, etc. (Husch et al., 1982; Lamprecht, 1990).

O estudo do crescimento periódico das árvores possibilita conhecer o potencial de produção florestal de uma determinada área. Isso é essencial para a tomada de decisões sob vários aspectos relacionados ao atendimento da demanda do mercado, além de constituir um fator primordial para o planejamento da produção de madeira, visto que possibilita a determinação do ciclo de corte (Hosokawa et al., 1998; Costa et al., 2007).

O diâmetro do tronco das árvores é uma medida básica de grande importância silvicultural que permite múltiplos cálculos e estimativas dendrométricas, tais como o volume, a área basal, a altura (por meio da relação hipsométrica), etc. (Araujo, 2016). Outras razões que conferem importância ao diâmetro se devem ao fato de ser uma medida de fácil obtenção, quando comparada com outras medidas das árvores, e ser mais confiável, pois apresenta menor erro de medição (Soares et al., 2006; Campos; Leite, 2009).

O diâmetro do tronco das árvores constitui o mais importante componente para determinação do volume e para descrever a dinâmica de florestas naturais (Loetsch; Haller, 1973; Enright; Ogden, 1979; Chambers et al., 1998; Figueiredo et al., 2003).

Para a avaliação e monitoramento do crescimento diamétrico de árvores em florestas tropicais muitos métodos são utilizados, entre os quais constam: parcelas amostrais permanentes de inventários contínuos; análises dos anéis de crescimento; datação por radiocarbono; densitometria por raios X; predições por meio de modelos estatísticos de regressão; dendrômetros de alta

precisão; e cintas ou bandas dendrométricas (Alder, 1980; Palermo et al., 2002; Higuchi et al., 2003; Silva et al., 2003).

A compatibilidade entre o volume de madeira colhido e o crescimento volumétrico das espécies manejadas é fundamental para planos de manejo de florestas, e a sustentabilidade do manejo florestal somente é plena quando a reposição volumétrica das espécies sob manejo for igual ou superior ao volume retirado (Araujo, 2016).

Este trabalho apresenta resultados de 6 anos (2009 a 2014) de monitoramento do crescimento diamétrico, por meio de cintas dendrométricas, de espécies madeireiras comerciais em áreas sob manejo florestal no estado do Acre. Seus objetivos são: a) caracterizar e mensurar o crescimento diamétrico e volumétrico das árvores; b) propor métodos não convencionais de avaliação do crescimento das árvores e de cálculos do ciclo de corte e intensidade exploratória para o manejo florestal; c) analisar o grau de associação (relações funcionais) entre o crescimento das árvores com suas características ambientais (ecológicas e fitossanitárias) e com a massa específica (densidade básica) das madeiras das espécies estudadas; e d) verificar, com base nos resultados obtidos, a compatibilidade entre os padrões técnicos associados ao crescimento estabelecidos na legislação reguladora do manejo florestal (intensidade exploratória e ciclos de corte) e a capacidade de reposição das florestas estudadas.

Cabe ressaltar que devido à perda significativa de unidades amostrais durante o monitoramento, conforme exposto ao longo do texto, os resultados apresentados não são conclusivos para algumas espécies (aquelas que tiveram baixa representatividade amostral). Contudo, para as árvores em conjunto (todas as espécies), tais resultados permitem, conforme será visto a seguir, apoiar a hipótese de que os ciclos de corte praticados atualmente são incompatíveis com o crescimento da floresta, ou seja, o volume de madeira retirado não é repostado por inteiro durante o ciclo de corte estabelecido na legislação, comprometendo a sustentabilidade do manejo.

Área do estudo

O estudo foi realizado em duas áreas: a primeira localiza-se às margens da Rodovia BR-364, trecho Rio Branco, AC-Porto Velho, RO, município de Senador Guimard, a cerca de 110 km de Rio Branco, capital do estado do Acre. Essa área, com ponto central nas coordenadas geográficas 09°46'20.0"S e 67°06'30.0"W, possui cerca de 750 hectares, se insere no Projeto de Colonização Pedro Peixoto e é constituída por pequenas propriedades particulares onde a Embrapa Acre atuou recentemente no desenvolvimento de um projeto de pesquisa em manejo florestal comunitário madeireiro, em que foram manejados, sem mecanização, no período de 1997 a 2006, 150 hectares a uma intensidade exploratória média de 5 m³ ha⁻¹, para um ciclo de corte de 10 anos (Araujo; Correia, 2014). A segunda área é a reserva legal do campo experimental da Embrapa Acre, que possui 732 hectares, está localizada às margens da mesma rodovia da primeira área, no município de Rio Branco, AC, a cerca de 10 km da capital, e possui as coordenadas geográficas centrais 10°02'14"S e 67°40'57"W (Rosas; Drumond, 2007; Pardo, 2012). Nessa área foram manejados (colheita experimental), de modo mecanizado, no início da década de 1990, 20 hectares a uma intensidade exploratória média de 20 m³ ha⁻¹ (Oliveira; Braz, 1998).

Nessas áreas o clima é do tipo Aw (Köppen), tipicamente tropical, bastante quente e úmido, composto de estações de seca (maio a outubro) e de chuva (novembro a abril) bem definidas. As temperaturas médias máximas, registradas de agosto a outubro, situam-se entre 31 °C e 33 °C e as médias mínimas, registradas em julho, entre 17 °C e 22 °C. As precipitações médias anuais situam-se na faixa de 1.950 mm; a umidade relativa do ar é elevada, em média 88%, nas estações de chuva, e 75%, nas estações de seca. A topografia é plana e a hidrografia é constituída por pequenos igarapés semiperenes. O solo possui boa drenagem, é distrófico com alto teor de argila. A cobertura florestal é constituída por típica floresta tropical primária densa de terra firme amazônica, semiperenifolia, com formações de floresta aberta e densa (Brasil, 1976; Acre, 2006; Duarte, 2006).

2) Caracterização das árvores: nesta etapa foi medida a circunferência à altura do peito (CAP, 1,30 m do solo), utilizando uma trena métrica comum, estimada a altura¹ total (copa mais o fuste), a altura do fuste comercial (comumente essa medida é da base da árvore, junto ao solo, até as primeiras galhadas) e o diâmetro da copa (obtido pela “projeção” das bordas, ou galhadas, da copa no solo – são tomadas duas medidas em “cruz”, sendo o diâmetro da copa a média dessas medidas). Foram observados e classificados os aspectos ambientais (ecológicos e fitossanitários): a) qualidade do fuste, referente à conformação e ao aproveitamento comercial (classificações: total, parcial e sem aproveitamento); b) posição sociológica em relação ao dossel florestal (classificações: dominante, intermediária e oprimida); c) condição de luminosidade (classificações: muita luz, moderada luz e pouca luz); d) presença de cipós entrelaçados ao fuste e galhos (classificações: alta, moderada, baixa e ausente); e) presença de plantas epífitas (a exemplo de bromélias e orquídeas) e parasitas (a exemplo de alguns tipos de samambaias) sobre o fuste e galhos (classificações: alta, moderada, baixa e ausente); f) infestação de cupins no fuste e galhos (classificações: alta, moderada, baixa e ausente); g) defeitos do fuste (classificações: sadio, partes ocas, partes podres, partes rachadas, galhos quebrados e tortuosidade acentuada); h) estado fitossanitário geral da árvore (classificações: bom, regular e ruim); e i) local sujeito à alagação² (classificações: sim e não) (Figura 2).

3) Instalação das cintas: consiste na montagem, colocação e posicionamento da cinta ao redor e na altura do diâmetro à altura do peito (DAP, 1,30 m do solo) das árvores. Com o uso de ferramentas cortantes e perfuradoras (tesouras e alicates), a cinta foi confeccionada especificamente para cada árvore com base na medida do CAP (obtido previamente na etapa de mapeamento). O material utilizado foi o alumínio flexível com largura de 1,20 cm e espessura de 0,04 cm. A cinta possui uma pequena mola helicoidal metálica de 5 cm de comprimento e diâmetro de 0,6 cm, com garras de fixação nas extremidades, que permite a sua distensão à medida que o diâmetro aumenta com o crescimento da árvore. A primeira avaliação (medição) do crescimento

¹ As estimativas de altura da árvore e do fuste são feitas sem auxílio de qualquer instrumento de medição, tendo como referenciais comparativos as árvores circunvizinhas.

² Local situado em depressões do terreno que inunda durante o período de chuvas pelo transbordamento dos igarapés e lagoas que o margeiam.

foi realizada 3 meses após a instalação para a cinta se ajustar perfeitamente ao fuste (Figura 3).

4) Medição das cintas: é realizada com a tomada da distância entre dois pequenos orifícios feitos na cinta, denominados pontos de medição. As medidas são tomadas em centímetros, com o auxílio de um paquímetro analógico em aço de 6 polegadas, com duas casas decimais, logo, com precisão de décimos de milímetro. O crescimento diamétrico da árvore consiste na variação da distância (diferença) entre os pontos de duas medições consecutivas, considerando o intervalo de tempo entre elas. As medições são realizadas com periodicidade anual. É importante ressaltar que a medida tomada com o paquímetro entre os orifícios é referente ao crescimento em CAP da árvore, de modo que para o cálculo do crescimento diamétrico faz-se a conversão³ de CAP para DAP (Figuras 4 e 5).

Foto: Henrique José Borges de Araujo



Figura 2. Anotação em campo de dados referentes à mensuração e caracterização das árvores selecionadas. Senador Guimard, AC, 2008–2014.

³ Em trabalhos florestais, devido à praticidade e facilidade de obtenção, em que é utilizada apenas uma trena métrica, o CAP é a medida mais comumente tomada em campo, no entanto, a medida padrão para se referir às dimensões do diâmetro do tronco de uma árvore é o DAP, o qual, por sua vez, é calculado dividindo-se o CAP pela constante π ($\pi = 3,141593$).



Fotos: Henrique José Borges de Araujo



Figura 3. Montagem (A) e ajustes (B) das cintas dendrométricas na altura do DAP da árvore. Senador Guiomard, AC, 2008–2014.



Fotos: Henrique José Borges de Araujo

Figura 4. Cinta dendrométrica instalada (A) e ajustada (B) na altura do DAP da árvore, pronta para a medição. Senador Guimard, AC, 2008–2014.

Foto: Robert Morais Thompson



A

Foto: Henrique José Borges de Araujo



B

Figura 5. Medição com paquímetro (A) da distância entre os orifícios (pontos de medição) e detalhe dos orifícios (B) das cintas dendrométricas. Senador Guiomard, AC, 2008–2014.

Espécies selecionadas

Preliminarmente, foram selecionadas 31 espécies madeireiras de importância comercial, em geral, consideradas nobres (Tabela 1). Como critérios de seleção foram utilizados, além da reconhecida qualidade da madeira e o alto interesse comercial, a ocorrência relativamente significativa nas áreas do estudo (Araujo, 2006) e, especialmente, os quantitativos de volumes definidos em planos operativos anuais (POAs) do projeto de manejo florestal comunitário do PC Pedro Peixoto, no período de 1997 a 2006, sendo que grande parte desse volume foi explorado e comercializado.

Tabela 1. Espécies madeireiras selecionadas para o monitoramento do crescimento por cintas dendrométricas.

Nome comum	Nome científico ⁽¹⁾	Família
Amarelão	<i>Aspidosperma vargasii</i> A.DC.	Apocynaceae
Angelim	<i>Hymenolobium</i> sp.	Fabaceae
Angelim-amargoso	<i>Vatairea</i> sp.	Fabaceae
Angico	<i>Parkia</i> sp.	Fabaceae
Aroeira	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Anacardiaceae
Bálsamo	<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms	Fabaceae
Breu-vermelho	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart.	Burseraceae
Cambará	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	Vochysiaceae
Catuaba	<i>Qualea tesmannii</i> Milldr.	Vochysiaceae
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae
Cerejeira	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm.	Fabaceae
Cernambi-de-índio	<i>Drypetes</i> sp.	Putranjivaceae
Copaíba	<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	Fabaceae
Cumaru-cetim	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Fabaceae
Cumaru-ferro	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Fabaceae
Fava-orelinha	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Fabaceae
Imbirindiba	<i>Terminalia</i> sp.	Combretaceae
Ipê-amarelo	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.O.Grose	Bignoniaceae
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Nome comum	Nome científico ⁽¹⁾	Família
Jequitibá	<i>Cariniana</i> sp.	Lecythidaceae
Jitó	<i>Guarea pterorhachis</i> Harms	Meliaceae
Jutaí	<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	Fabaceae
Maçaranduba	<i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A.Chev	Sapotaceae
Manitê	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Moraceae
Marupá	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don.	Bignoniaceae
Pereiro	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	Apocynaceae
Roxinho	<i>Peltogyne</i> sp.	Fabaceae
Samaúma	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Malvaceae
Sucupira-amarela	<i>Vatairea sericea</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae
Tauari	<i>Couratari macrosperma</i> A.C.Sm.	Lecythidaceae
Violeta	<i>Platymiscium trinitatis</i> Benth.	Fabaceae

⁽¹⁾Nome científico aferido em bases de dados disponíveis na web (Lista de Espécies da Flora do Brasil, 2015; Mobot, 2015; Nybg, 2015).

Fonte: Araujo e Silva (2000).

Intensidade amostral

De acordo com Araujo (2016), as árvores, cada uma delas considerada uma unidade amostral, foram tomadas aleatoriamente nas áreas do estudo conforme a distribuição natural de ocorrência na floresta. Foram evitadas árvores não sadias e com más-formações do fuste e copa. Foi estabelecida previamente, para cada espécie, uma intensidade amostral de 46 árvores distribuídas em cinco classes de CAP a partir de 30 cm, a saber: I) $30 \text{ cm} \leq \text{CAP} \leq 90 \text{ cm}$; II) $91 \text{ cm} \leq \text{CAP} \leq 150 \text{ cm}$; III) $151 \text{ cm} \leq \text{CAP} \leq 210 \text{ cm}$; IV) $211 \text{ cm} \leq \text{CAP} \leq 270 \text{ cm}$; e V) $\text{CAP} > 270 \text{ cm}$. Considerando a seleção de 31 espécies para o estudo, a amostragem total, que foi estabelecida de acordo com os limites orçamentários e os meios (materiais e humanos) disponíveis para o trabalho, alcançou 1.426 árvores. A distribuição das árvores por classe diamétrica na amostragem foi definida procurando uma aproximação à distribuição natural em uma floresta, em que as classes diamétricas menores apresentam maior

número de indivíduos. Por ser uma medida tecnicamente mais usual, as classes de CAP foram convertidas para classes de DAP (Figura 6).

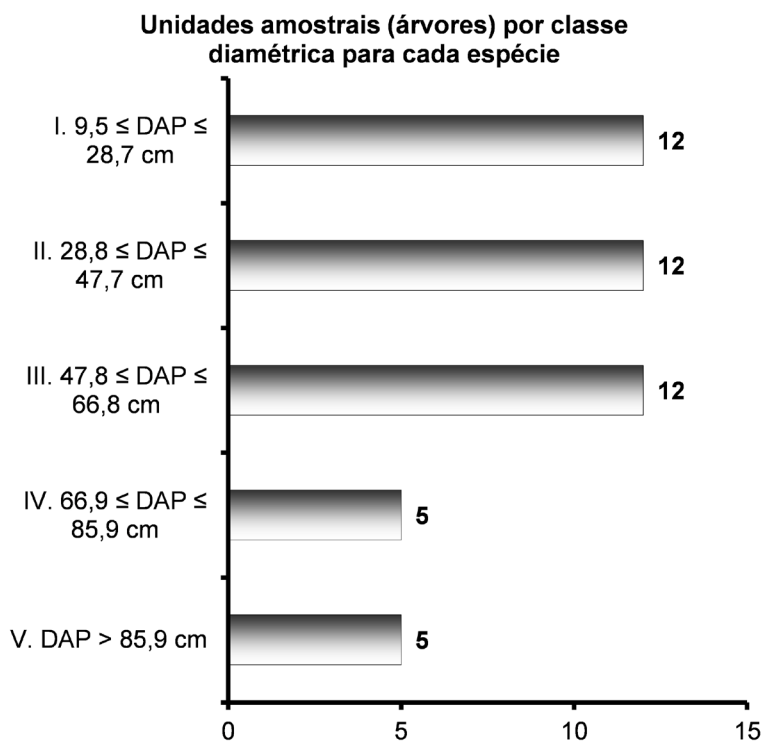


Figura 6. Distribuição do número das unidades amostrais estabelecido para cada espécie por classe diamétrica nas áreas do estudo.

Cálculo do incremento diamétrico anual

O incremento diamétrico anual (IDA) das árvores foi calculado a cada duas avaliações, ou seja, de maneira a conter duas informações sobre a diferença das distâncias entre os orifícios (pontos) de medição da cinta dendrométrica e o período de tempo em que ocorreu essa diferença. A distância entre os pontos de medição refere-se ao CAP da árvore, portanto, é necessária a conversão para DAP. O IDA é dado pela expressão (1) (Araujo, 2016):

$$IDA_n = \frac{\left(\frac{Dp_n - Dp_{n-1}}{Int} \right) 365}{\pi} \quad (1)$$

Onde: IDA_n = incremento diamétrico anual da enésima avaliação, em cm ano^{-1}

Dp_n = distância entre pontos de medição da cinta dendrométrica na enésima (n) avaliação, em cm

Dp_{n-1} = distância entre pontos de medição da cinta dendrométrica na avaliação anterior (n-1), em cm

Int = intervalo de tempo entre as medições “n” e “n-1”, em dias, dado por (2):

$$Int = Dt_n - Dt_{n-1} \quad (2)$$

Dt_n = data de medição da enésima (n) avaliação da cinta

Dt_{n-1} = data de medição da avaliação anterior (n-1) da cinta

365 = constante (número de dias do ano)

π = 3,141593 (constante de conversão de CAP em DAP)

Cálculos e análises das relações funcionais entre as variáveis

Com a finalidade de verificar possíveis correlações com o incremento diamétrico anual médio (IDA_m) das espécies foram incluídas informações sobre a massa específica, ou densidade básica (Db), das madeiras do estudo. Tal verificação parte da premissa de que as madeiras pesadas (duras) podem ter um crescimento mais lento e, portanto, menor do que as madeiras leves (porosas). A fonte de dados da Db das espécies foi o trabalho de Araujo (2007). A densidade básica (Db) da madeira é definida pela relação entre seu peso absolutamente seco e seu volume saturado (umidade acima do ponto de saturação das fibras – PSF), sendo expressa em $g\ cm^{-3}$ (Panshin; De Zeeuw, 1970).

Foram realizadas para as espécies, por meio de gráficos de dispersão e regressão dos dados, análises das dependências, ou relações funcionais entre o IDA_m e o DAP_m e entre o IDA_m e a densidade básica (Db) das madeiras. Para se conhecer o grau de associação entre essas variáveis foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2). O R^2 indica o quanto a variável dependente (IDA_m) está associada com a variável independente (DAP_m e Db), varia entre 0 e 1, e quanto mais alto for, melhor explica a relação funcional e o ajuste do modelo matemático (equação) das estimativas que possibilita (Péllico Netto; Brena, 1997).

A caracterização em campo das árvores (descrita na etapa 2 do item Etapas da implantação e monitoramento das cintas dendrométricas) objetivou diagnosticar as suas condições ambientais (ecológicas e relativas à sanidade), possibilitando identificar possíveis efeitos, ou correlações, que cada condição pode exercer sobre o crescimento das árvores. A informação buscada por essa caracterização é simplesmente afirmar ou negar a hipótese de que, isoladamente, as condições ambientais avaliadas exercem influência sobre o crescimento das árvores. Tal abordagem (caracterização) de campo poderá gerar subsídios e indícios necessários para estudos mais aprofundados que incluam análises dos efeitos em conjunto (multivariadas) que as condições ambientais possam ter sobre o crescimento.

O grau de associação entre as variáveis obtidas na etapa de caracterização em campo e o IDA_m das unidades amostrais foi determinado pelo coeficiente de correlação linear de Pearson (α). O α é adimensional, pode assumir valores entre -1 e 1 e sua escala de intensidade é classificada em: perfeito positivo ($\alpha = 1$), forte positivo ($0,8 \leq \alpha < 1$), moderado positivo ($0,5 \leq \alpha < 0,8$), fraco positivo ($0,1 \leq \alpha < 0,5$), ínfimo positivo ($0 < \alpha < 0,1$), nulo ($= 0$), ínfimo negativo ($-0,1 < \alpha < 0$), fraco negativo ($-0,5 < \alpha \leq -0,1$), moderado negativo ($-0,8 < \alpha \leq -0,5$), forte negativo ($-1 < \alpha \leq -0,8$) e perfeito negativo ($\alpha = -1$) (Toledo; Ovalle, 1995).

Os cálculos e análises das relações funcionais foram efetuados na sua maior parte em Microsoft Excel® 2010, sendo o nível de significância estatística das correlações lineares verificado no Programa SAS® 9.2.

Nos procedimentos de cálculo de α foi atribuída uma grandeza matemática (atributo numérico) aos dados nominais de cada característica observada em campo, de modo a formar um par de dados com a variável IDA_m de cada unidade amostral. As grandezas foram atribuídas em ordem crescente, ou seja, das situações entendidas como menos favoráveis às mais favoráveis ao crescimento diamétrico das árvores, da seguinte maneira (Araujo, 2016): a) qualidade do fuste: 1 (sem aproveitamento), 2 (aproveitamento parcial), 3 (aproveitamento total); b) posição sociológica: 1 (oprimida), 2 (intermediária), 3 (dominante); c) condição de luminosidade: 1 (pouca luz), 2 (moderada luz), 3 (muita luz); d) presença de cipós: 1 (alta), 2 (moderada), 3 (baixa), 4 (ausente); e) presença de plantas epífitas e parasitas: 1 (alta), 2 (moderada), 3 (baixa), 4 (ausente); f) infestação de cupins: 1 (alta), 2 (moderada), 3 (baixa), 4 (ausente); g) defeitos do fuste: 1 (sim, fuste com algum tipo de defeito), 2 (não, fuste sadio); h) estado fitossanitário geral da árvore: 1 (ruim), 2 (regular), 3 (bom); e i) local sujeito à alagação: 1 (sim), 2 (não).

Cálculo do volume e incremento volumétrico anual

O volume das árvores (V) foi obtido tomando os seus dados dendrométricos (DAP e altura do fuste), podendo ser calculado individualmente ou de modo conjunto às espécies ou grupo de árvores do estudo (no segundo caso foram

utilizados nos cálculos os dados médios dos volumes individuais de cada conjunto). O V é dado pela expressão (3):

$$V_n = \frac{DAP_n^2 \pi}{40.000} H_n 0,874 \quad (3)$$

Onde: V_n = volume da enésima árvore (ou média do conjunto de árvores), em m^3

DAP_n = DAP da enésima árvore (ou média do conjunto de árvores), em cm

π = 3,141593 (constante)

H_n = altura do fuste da enésima árvore (ou média do conjunto de árvores), em m

40.000 = constante

0,874 = fator de forma⁴ (Figueiredo et al., 2009)

O incremento volumétrico anual (IVA) foi calculado com base no incremento diamétrico anual (IDA) das árvores. Corresponde à diferença dos volumes de duas avaliações sequenciais, ou seja, a diferença dos volumes calculados entre uma avaliação inicial (considerando o DAP e H iniciais) e a do ano seguinte (considerando o DAP inicial, acrescido do IDA, e H inicial, sem considerar o crescimento em altura do fuste⁵). O IVA é dado pela expressão (4) (Araujo, 2016):

$$IVA_n = V_n - V_{n-1} \quad (4)$$

Onde: IVA_n = incremento volumétrico anual da enésima avaliação, em m^3 ano⁻¹

⁴ É definido como um fator de redução, ou conversão, do volume do cilindro de secção no DAP (volume do fuste da árvore calculado com base na área seccional na altura do DAP e o comprimento, ou altura, comercial) para o volume real do fuste da árvore, sendo este, na maioria das vezes, de menor dimensão em razão do afilamento do fuste à medida que fica mais alto. A equação representativa do fator de forma é: Fator de forma = $\text{Volume}_{\text{real}} / \text{Volume}_{\text{cilindro (de seção no DAP)}}$

⁵ Devido à dificuldade prática de medição e obtenção do dado, no cálculo do IVA proposto não é considerado o crescimento em altura do fuste, muito embora ocorra e possa ter efeito, mesmo que reduzido, no seu volume.

V_n = volume da árvore (ou média do conjunto de árvores) na enésima avaliação (n), em m^3

V_{n-1} = volume da árvore (ou média do conjunto de árvores) na avaliação anterior (n-1), em m^3

Cálculo do tempo de reposição do volume inicial

Com base nos dados do volume da avaliação inicial (V_0), calculado com o DAP e H iniciais, e do incremento volumétrico anual (IVA), que por sua vez considera o incremento diamétrico anual (IDA), foi calculado o tempo de reposição do volume da avaliação inicial (T), o qual é uma estimativa do ciclo de corte ótimo, ou seja, o período de tempo ideal de espera (pousio da floresta sob manejo), entre uma colheita e outra, para que o volume retirado seja repostado pela floresta em igual quantidade por meio do crescimento das árvores. O T é dado pela expressão (5) (Araujo, 2016):

$$T = \frac{V_0}{IVA} \quad (5)$$

Onde: T = tempo de reposição do volume inicial ou ciclo de corte ótimo estimado, em anos

V_0 = volume na avaliação inicial (com base no DAP e H iniciais), em m^3

IVA = incremento volumétrico anual, em $m^3 \text{ ano}^{-1}$

Avaliações realizadas

Os trabalhos de mapeamento e caracterização das árvores foram iniciados em meados de 2007 e a instalação das cintas em abril de 2008. Essas etapas foram executadas gradativamente ao conjunto de unidades amostrais e se estenderam até dezembro de 2010, portanto, as cintas dendrométricas do estudo possuem diferentes épocas de instalação.

O monitoramento compreendeu seis avaliações, sendo a primeira ao final de 2008 e a última em maio/junho de 2014. Cabe destacar que a primeira avaliação foi desconsiderada por haver falhas de medição, assim, o estudo possui cinco avaliações válidas.

Uma dificuldade verificada no monitoramento é a frequente necessidade de troca das cintas ao longo das avaliações. A troca ocorre em razão da cinta ter atingido o limite de distensão devido ao crescimento da árvore ou por danos provocados, a exemplo de quebras, retirada por animais ou mesmo pessoas imprudentes, etc. A cada troca de cinta perde-se uma avaliação, dado que na primeira avaliação da nova cinta não haverá o referencial da medida anterior (distância entre os orifícios ou pontos de medição).

Devido a essas peculiaridades, o número de dados (avaliações) de crescimento válidos de cada unidade amostral foi variável, sendo cinco o máximo (16% das árvores possuem cinco dados válidos). As demais unidades amostrais são assim distribuídas quanto ao número de dados (avaliações) válidos: quatro dados, 22%; três, 37%; dois, 17%; e apenas um dado válido, 8%.

As cinco avaliações válidas, realizadas a partir de 2010, proporcionaram o cálculo de quatro séries de incremento diamétrico anual (IDA), a saber: 1) 2010 e 2011; 2) 2011 e 2012; 3) 2012 e 2013; e 4) 2013 e 2014. O intervalo de tempo médio entre as avaliações válidas foi de 12 meses, significando que cobrem um período de 4 anos (junho de 2010 a junho de 2014).

Cintas instaladas e monitoradas

Em 2010, o número total de árvores mapeadas, caracterizadas e que tiveram as cintas instaladas foi de 957, o que representa 67% da amostragem inicialmente estabelecida (1.426 árvores) para as 31 espécies selecionadas. Entretanto, no decorrer do monitoramento houve significativas perdas de unidades amostrais. Entre as principais causas das perdas citam-se: abertura, por parte dos produtores, de roçados (desmatamento) onde havia árvores com cintas dendrométricas; e fim da parceria com alguns dos produtores proprietários de áreas do PC Peixoto, resultando na perda de uma parte da área do estudo (havia 154 árvores monitoradas nessas áreas). Outras causas de

perdas de unidades instaladas foram mortes naturais das árvores, danificação por animais e quedas de árvores.

Na última avaliação (junho de 2014) foi computado um total de 509 unidades amostrais ativas, efetivamente monitoradas. Desse modo, no decorrer dos trabalhos houve perda de um total de 448 árvores, representando uma queda de 46,8% em relação ao total instalado (957 árvores).

Das unidades amostrais monitoradas na última avaliação, 61,7% (314 árvores) foram instaladas em 2008, 25,1% (128 árvores) em 2009 e 13,2% (67 árvores) em 2010. A distribuição total das árvores efetivamente monitoradas por classe diamétrica seguiu aproximadamente o padrão de proporcionalidade inicialmente estabelecido (Figura 7).

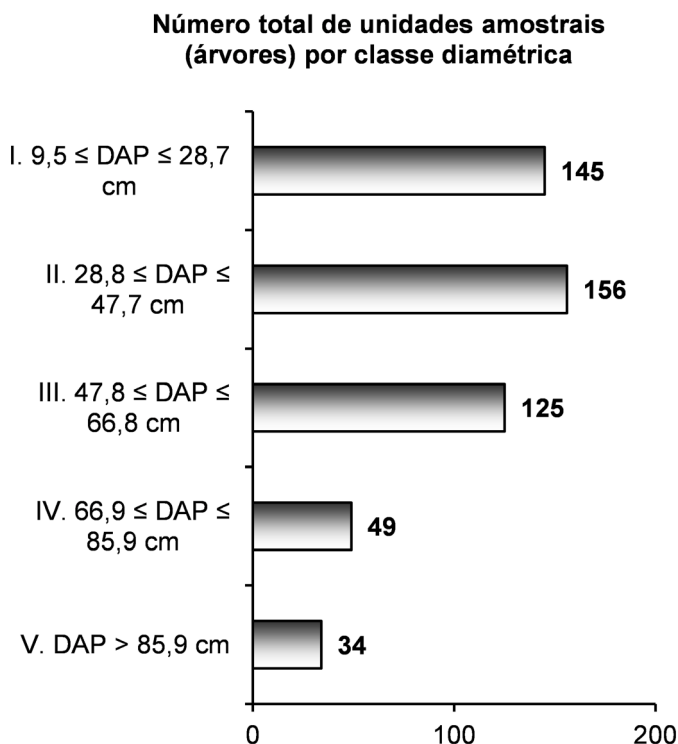


Figura 7. Distribuição por classe diamétrica das unidades amostrais (árvores pintadas) efetivamente monitoradas nas áreas do estudo.

Espécies monitoradas

As 509 unidades amostrais efetivamente monitoradas compreenderam 27 espécies, portanto, da seleção feita a priori (31 espécies, Tabela 1), 4 ficaram ausentes, a saber: angelim, bálsamo, sucupira-amarela e jatobá. A espécie jatobá não foi representada nas avaliações válidas e as espécies angelim, bálsamo e sucupira-amarela, embora contendo árvores com cintas dendrométricas, não foram consideradas em razão de não serem suficientemente representativas (número baixo de árvores e respectivos dados de crescimento, pois estes apresentaram muita variação), uma vez que restaram apenas duas árvores para as duas primeiras espécies e uma para a terceira.

Caracterização das árvores

Os dados dendrométricos médios, obtidos na etapa de caracterização, distribuídos por classe diamétrica e para o conjunto das 509 árvores, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Dados dendrométricos médios das árvores do estudo distribuídos por classe diamétrica e para o conjunto das classes.

Classe diamétrica	Dado dendrométrico	Média	n ⁽¹⁾	σ ⁽²⁾	cv% ⁽³⁾
I. $9,5 \leq \text{DAP} \leq 28,7$ cm	DAP ⁽⁴⁾	19,2 cm	145	6,0	31,3
	Altura do fuste	10,0 m	140	4,4	43,8
	Altura total da árvore (fuste + copa)	17,9 m	140	6,6	37,2
	Diâmetro da copa	5,0 m	140	2,3	46,5
II. $28,8 \leq \text{DAP} \leq 47,7$ cm	DAP	38,4 cm	156	5,7	14,8
	Altura do fuste	16,9 m	154	6,3	37,3
	Altura total da árvore (fuste + copa)	29,7 m	154	7,0	23,6
	Diâmetro da copa	8,8 m	155	4,0	45,8

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Classe diamétrica	Dado dendrométrico	Média	n ⁽¹⁾	σ ⁽²⁾	cv% ⁽³⁾
III. $47,8 \leq \text{DAP} \leq 66,8$ cm	DAP	55,7 cm	125	5,1	9,1
	Altura do fuste	19,1 m	124	7,9	41,5
	Altura total da árvore (fuste + copa)	35,1 m	124	8,3	23,6
	Diâmetro da copa	12,1 m	125	4,5	37,4
IV. $66,9 \leq \text{DAP} \leq 85,9$ cm	DAP	75,0 cm	49	5,7	7,6
	Altura do fuste	20,4 m	48	7,6	37,3
	Altura total da árvore (fuste + copa)	38,1 m	48	8,0	21,0
	Diâmetro da copa	14,9 m	48	5,7	38,5
V. $\text{DAP} > 85,9$ cm	DAP	99,6 cm	34	14,6	14,7
	Altura do fuste	18,7 m	34	6,5	34,5
	Altura total da árvore (fuste + copa)	41,0 m	34	6,5	15,8
	Diâmetro da copa	18,0 m	34	6,7	37,3
Total (classes em conjunto)	DAP	44,5 cm	509	23,2	52,3
	Altura do fuste	16,0 m	500	7,5	47,0
	Altura total da árvore (fuste + copa)	29,3 m	500	10,7	36,4
	Diâmetro da copa	9,8 m	502	5,8	59,2

⁽¹⁾n = número de unidades amostrais (árvores) gerador da média. ⁽²⁾ σ = desvio padrão da respectiva média.

⁽³⁾cv% = coeficiente de variação percentual da respectiva média. ⁽⁴⁾DAP = diâmetro à altura do peito.

Embora os dados de altura (fuste e total da árvore) sejam estimativas feitas sem o uso de instrumentos de medição, portanto, com precisão limitada, entende-se que o grande número de observações, especialmente para o total (classes em conjunto), lhes confere robustez satisfatória.

O número "n" de observações (unidades amostrais) variou a cada média em razão de uma ou outra árvore ficar sem o dado correspondente na caracterização em campo.

As informações tomadas em campo sobre as características ambientais das árvores (ecológicas e fitossanitárias) são apresentadas nas Figuras 8 a 16. Ressalta-se que o número total de observações (árvores) variou de uma característica para outra em razão de algumas árvores terem ficado sem os dados correspondentes na caracterização em campo.

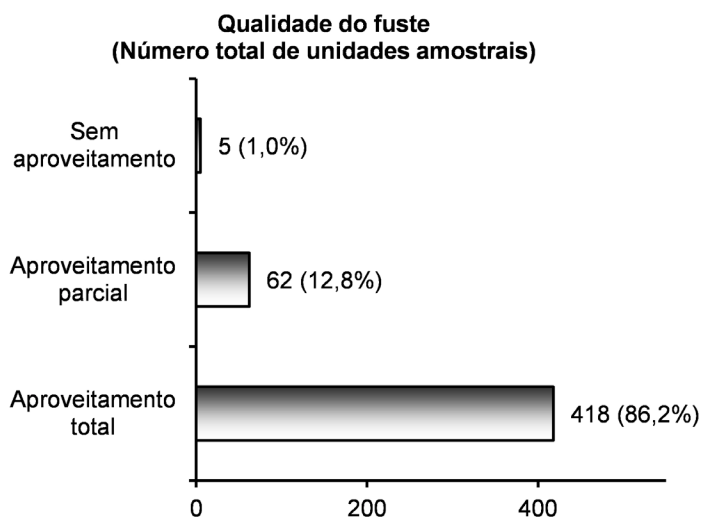


Figura 8. Distribuição do total das árvores por classes de qualidade do fuste nas áreas do estudo.

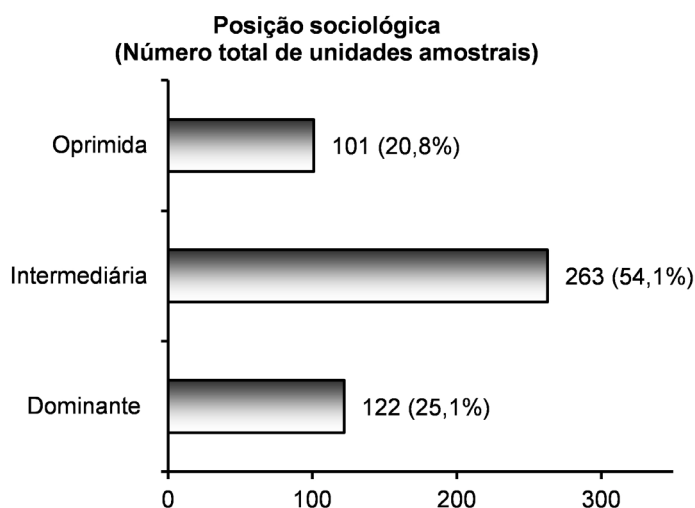


Figura 9. Distribuição do total das árvores por posição sociológica nas áreas do estudo.

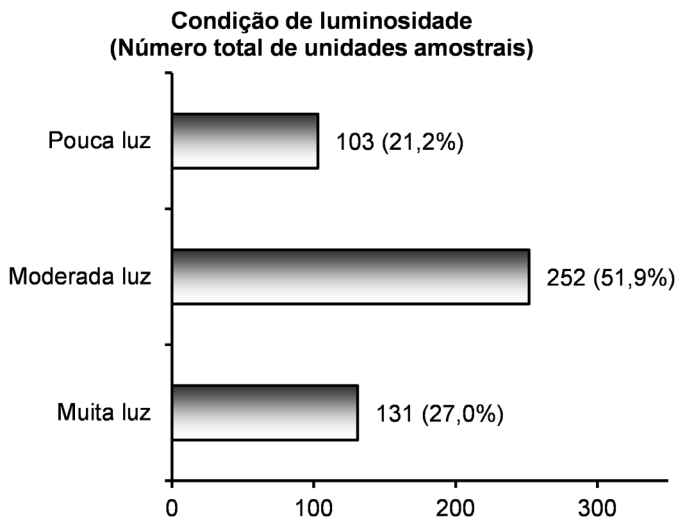


Figura 10. Distribuição do total das árvores por condição de luminosidade nas áreas do estudo.

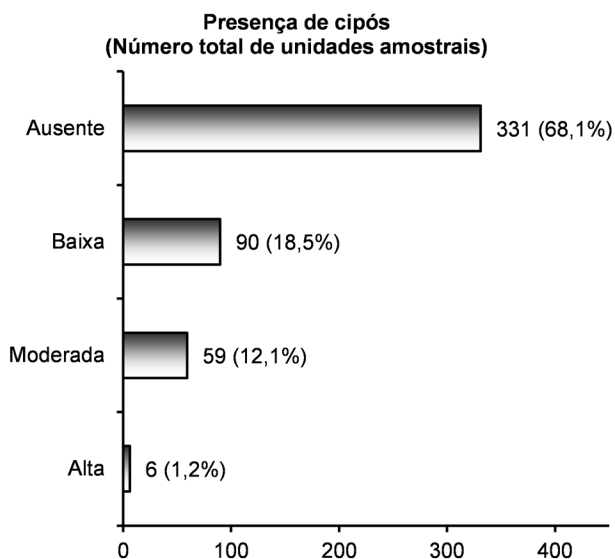


Figura 11. Distribuição do total das árvores por presença de cipós nas áreas do estudo.

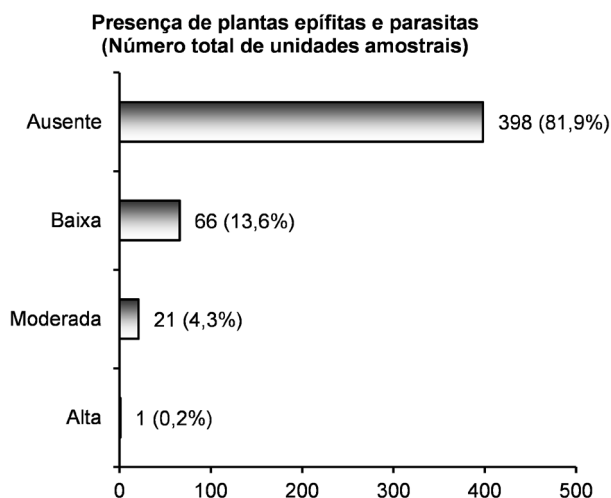


Figura 12. Distribuição do total das árvores por presença de plantas epífitas e parasitas nas áreas do estudo.

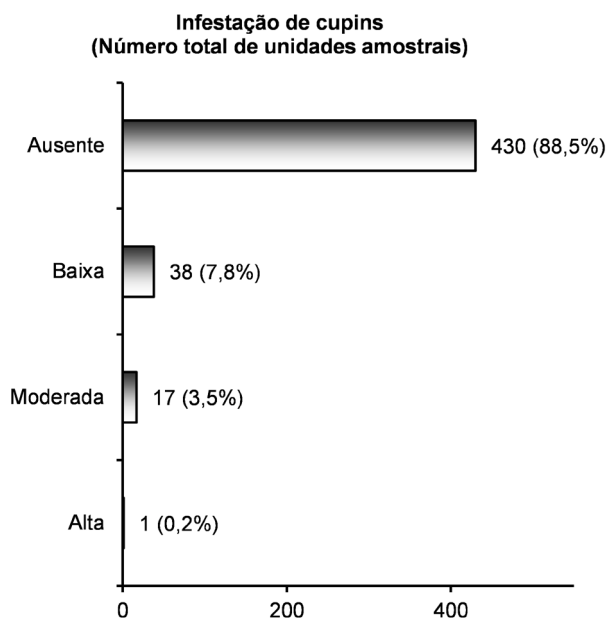


Figura 13. Distribuição do total das árvores por infestação de cupins nas áreas do estudo.

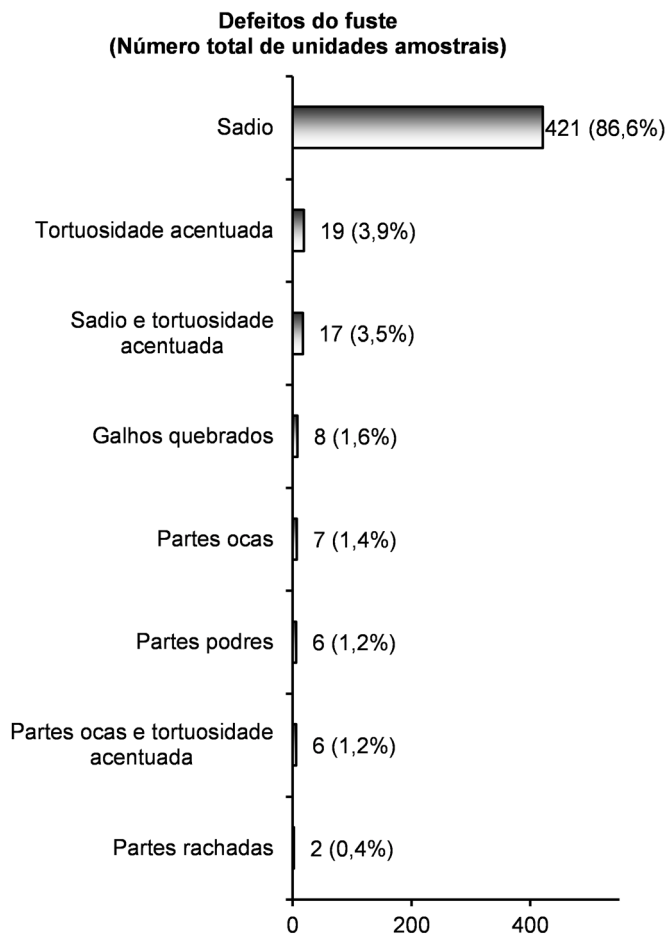


Figura 14. Distribuição do total das árvores por defeitos do fuste nas áreas do estudo.

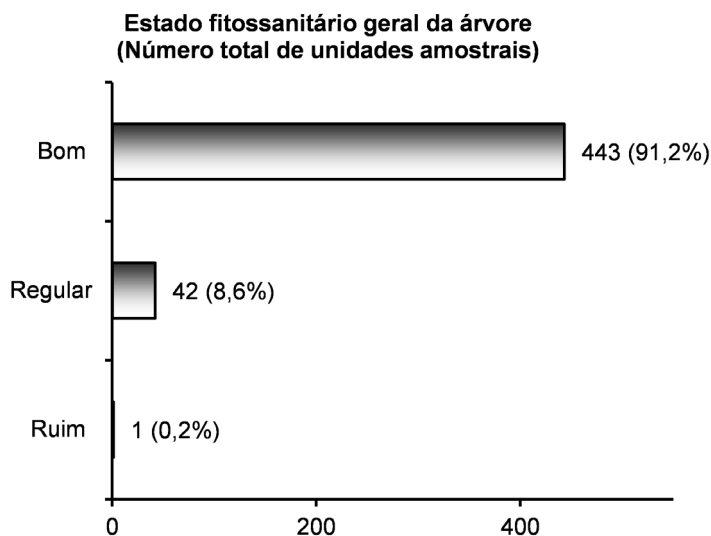


Figura 15. Distribuição do total das árvores por estado fitossanitário geral nas áreas do estudo.

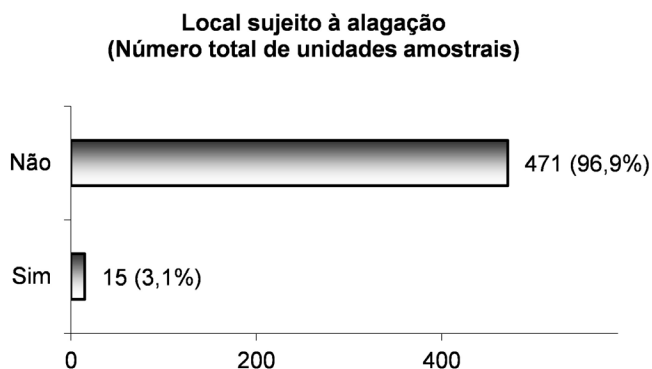


Figura 16. Distribuição do total das árvores por local sujeito à alagação nas áreas do estudo.

Incremento diamétrico anual

As quatro séries do IDA_m , geradas a partir das avaliações válidas (cinco), apresentaram a média geral (média das médias das séries) de 0,542 cm ano⁻¹ (Tabela 3). Portanto, tal média geral representa o IDA_m de todas as árvores em todas as avaliações válidas realizadas.

Tabela 3. Séries de incremento diamétrico anual médio (IDA_m) das árvores do estudo.

Série de IDA_m	Período correspondente (anos)	n ⁽¹⁾	IDA_m ⁽²⁾
IDA_m 1	2010 e 2011	300	0,424
IDA_m 2	2011 e 2012	434	0,627
IDA_m 3	2012 e 2013	302	0,480
IDA_m 4	2013 e 2014	392	0,637
Média	-	357	0,542

⁽¹⁾n = número de dados da respectiva série e gerador do IDA_m . ⁽²⁾ IDA_m = incremento diamétrico anual médio, em cm ano⁻¹.

O número de dados gerador de cada série de IDA_m , cuja média foi de 357, variou devido à eliminação de dados discrepantes e, principalmente, conforme já mencionado, frequentes trocas de cintas. Foram considerados dados discrepantes⁶ os valores (distância entre os orifícios de medição na cinta) muito altos, tanto positivos como negativos, observados nas planilhas de análise, claramente afastados dos padrões normais dos demais dados. Tais dados podem ser atribuídos a falhas de medição ou anotações em campo e, desse modo, adotou-se como critério excluí-los das análises efetuadas.

Considerando o intervalo de tempo de 4 anos entre as séries de IDA_m , no período do monitoramento, o diâmetro médio individual aumentou cumulativamente em 2,168 cm para o conjunto das árvores do estudo (Figura 17).

⁶ Como exemplo cita-se um dado de -11,29 cm, observado no conjunto de dados da espécie jutaí, na 4ª série de IDA_m . Convertido a DAP (uma vez que é referente ao CAP), esse dado representaria um crescimento diamétrico negativo (contração) de 3,51 cm ano⁻¹, o que, além de se mostrar falso, diverge bastante dos padrões normais, visto que os dados desse conjunto variaram entre 0,01 cm ano⁻¹ e 1,26 cm ano⁻¹, com a média de 0,57 cm ano⁻¹. O dado foi excluído do conjunto.

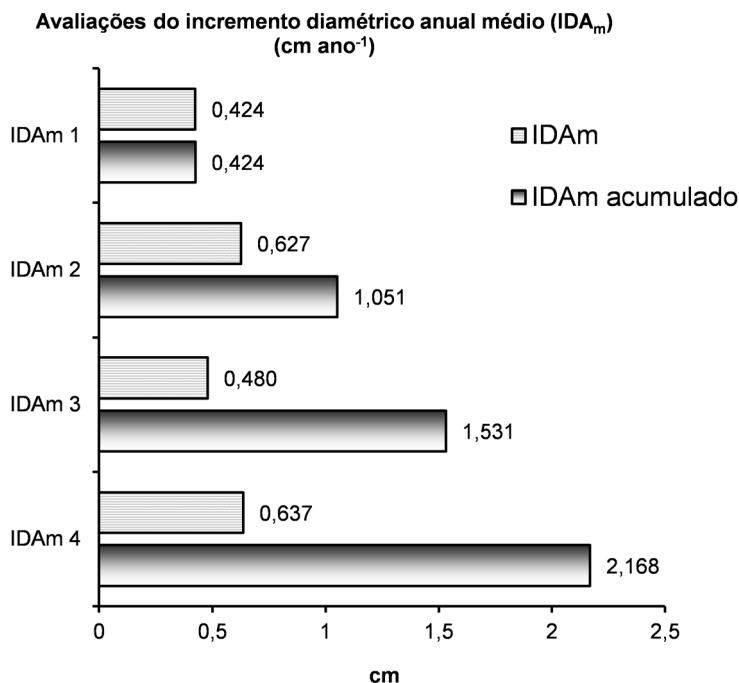


Figura 17. Séries de IDAm e IDAm acumulado para as avaliações válidas do estudo.

Na literatura constam dados bastante diversos quanto às taxas de crescimento diamétrico de florestas naturais no Brasil e em outros países. Os dados deste estudo estão dentro dos padrões observados. Ressalta-se que os dados da literatura são igualmente diversos quanto às especificidades de obtenção, a exemplo dos métodos, locais, espécies, etc. Costa et al. (2008), estudando o crescimento de árvores comerciais com DAP ≥ 5 cm após a colheita na Floresta Nacional do Tapajós, por meio de parcelas permanentes de inventário florestal contínuo, no período de 1983 a 1987, encontraram o crescimento diamétrico médio variando na faixa de $0,350 \text{ cm ano}^{-1}$ a $0,550 \text{ cm ano}^{-1}$. O referido estudo mostra que à medida que o tempo passa, a taxa de crescimento diminui, alcançando, no período de 1981 a 1997 (18 anos), a média de $0,300 \text{ cm ano}^{-1}$ para todas as espécies e $0,350 \text{ cm ano}^{-1}$ para as espécies comerciais, níveis que se aproximam de uma floresta não

explorada. Silva et al. (2002), estudando o crescimento diamétrico de 272 indivíduos com DAP ≥ 10 cm selecionados aleatoriamente em uma área não explorada próxima a Manaus, AM, utilizando cintas dendrométricas, com medições mensais durante 19 meses, encontraram a média de 0,164 cm ano⁻¹. Segundo De Graaf (1986), a taxa média de crescimento diamétrico das árvores em uma floresta no Suriname variou de 0,100 cm ano⁻¹ a 0,400 cm ano⁻¹ e 0,600 cm ano⁻¹ a 1,000 cm ano⁻¹, respectivamente em áreas exploradas sem e com tratamentos silviculturais. Estudos de casos de crescimento diamétrico após a colheita em florestas da Costa Rica e na Guiana Francesa relatam taxas variando de 0,250 cm ano⁻¹ a 0,600 cm ano⁻¹ (Finegan; Camacho, 1999; Gourlet-Fleury et al., 2004).

Outros estudos confirmam que as taxas de crescimento diamétrico em florestas naturais são bastante variáveis. Figueiredo Filho et al. (2003), analisando seis espécies de folhosas em uma Floresta Ombrófila Mista no sul do estado do Paraná com exploração seletiva de araucárias há mais de 30 anos, por meio de cintas dendrométricas, encontraram o crescimento diamétrico médio de 0,261 cm ano⁻¹. Mattos et al. (2010), estudando cinco espécies de folhosas no estado de Santa Catarina, também em uma Floresta Ombrófila Mista, em estado de regeneração avançado, por método não destrutivo (trado de incremento), chegaram ao crescimento diamétrico médio em 20 anos de 0,670 cm ano⁻¹ com variação entre as espécies de 0,350 cm ano⁻¹ a 0,980 cm ano⁻¹.

Os resultados do IDA_m quando distribuídos por classes diamétricas revelam não haver tendências expressivas de aumento ou diminuição entre as classes, exceto para a maior classe, que se apresentou acima das demais (Tabela 4). Isso indica baixa intensidade para as correlações entre o porte do indivíduo e o crescimento diamétrico. Os altos desvios padrões (σ) e coeficientes de variação percentual (cv%) demonstram ser alta a variabilidade dos dados geradores das médias de crescimento.

Contudo, quando se observa a relação proporcional entre o IDA_m e as dimensões das classes diamétricas, ou seja, o quanto representa percentualmente o incremento diamétrico ao “tamanho” do diâmetro da classe diamétrica, verifica-se um crescimento mais acentuado e ascendente no sentido das maiores para as menores classes. Na Tabela 5 constam as proporções, em percentual, entre o IDA_m e as classes diamétricas, utilizando o DAP médio do centro das classes.

Tabela 4. Incremento diamétrico anual médio (IDA_m) por classe diamétrica das árvores monitoradas no estudo.

Classe diamétrica	$n^{(1)}$	$IDA_m^{(2)}$	$\sigma^{(3)}$	$cv\%^{(4)}$
I. $9,5 \leq DAP \leq 28,7$ cm	145	0,604	0,585	96,9
II. $28,8 \leq DAP \leq 47,7$ cm	156	0,543	0,490	90,3
III. $47,8 \leq DAP \leq 66,8$ cm	125	0,609	0,534	87,7
IV. $66,9 \leq DAP \leq 85,9$ cm	49	0,595	0,482	81,0
V. $DAP > 85,9$ cm	34	0,740	0,683	92,3
Total	509	-	-	-

⁽¹⁾ n = número de unidades amostrais (árvores) gerador dos dados. ⁽²⁾ IDA_m = incremento diamétrico anual médio, em cm ano⁻¹. ⁽³⁾ σ = desvio padrão do IDA_m , em cm ano⁻¹. ⁽⁴⁾ $cv\%$ = coeficiente de variação percentual do IDA_m , em %.

O IDA_m é a média das médias dos incrementos diamétricos das séries de avaliações das respectivas classes diamétricas.

Tabela 5. Relação proporcional entre o incremento diamétrico anual médio (IDA_m) e as classes diamétricas das árvores do estudo.

Classe diamétrica	$DAPc^{(1)}$	$IDA_m^{(2)}$	$P^{(3)}$
I. $9,5 \leq DAP \leq 28,7$ cm	19,1	0,604	3,16
II. $28,8 \leq DAP \leq 47,7$ cm	38,3	0,543	1,42
III. $47,8 \leq DAP \leq 66,8$ cm	57,3	0,609	1,06
IV. $66,9 \leq DAP \leq 85,9$ cm	76,4	0,595	0,78
V. $DAP > 85,9$ cm	95,5	0,740	0,77

⁽¹⁾ $DAPc$ = DAP médio do centro de classe, em cm. ⁽²⁾ IDA_m = incremento diamétrico anual médio, em cm ano⁻¹.

⁽³⁾ P = relação proporcional entre o IDA_m e $DAPc$, em %.

As representações gráficas das relações entre o IDA_m de cada classe diamétrica (DAP do centro de classe) e a proporção percentual do IDA_m às classes (DAP do centro de classe) constam nas Figuras 18 e 19.

Os gráficos da dispersão dos dados médios e as análises de regressão (função linear) comprovam que o grau de associação no primeiro caso (IDA_m com o DAP do centro de classe) é inferior e menos acentuado do que no segundo caso (relação proporcional do IDA_m com o DAP do centro de classe), uma vez

que os coeficientes de determinação (R^2) foram, respectivamente, de 0,4918 e 0,7356. Em regressão linear o R^2 é o quadrado do coeficiente de correlação (α) (Shimakura, 2006), logo, os valores de α serão, respectivamente para o primeiro e segundo caso, de 0,7013 e -0,8577 (negativo por ser descendente) e classificados quanto à intensidade em moderado positivo ($0,5 \leq \alpha < 0,8$) e forte negativo ($-1 < \alpha \leq -0,8$) (Toledo; Ovalle, 1995).

Os cálculos em separado por espécie possibilitaram estabelecer um ranking das 27 espécies quanto às estimativas dos seus respectivos IDA_m (Tabela 6). Assim, o ranking permite visualizar as espécies que apresentaram os maiores e os menores crescimentos anuais em diâmetro.

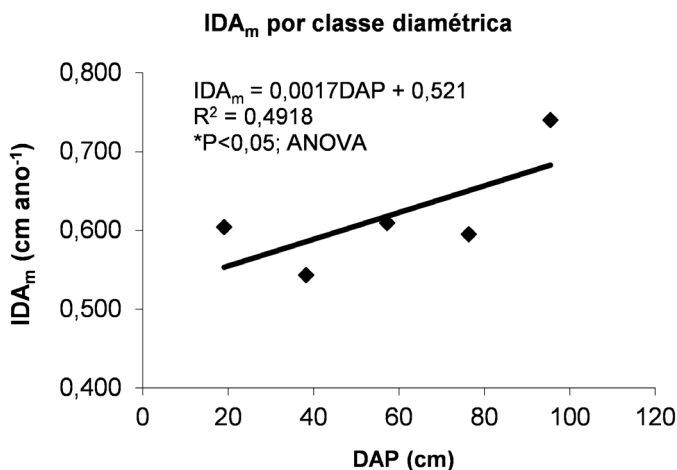


Figura 18. Dispersão dos dados e regressão ajustada (função linear) para o IDA_m e as classes diamétricas utilizando o DAP do centro das classes.

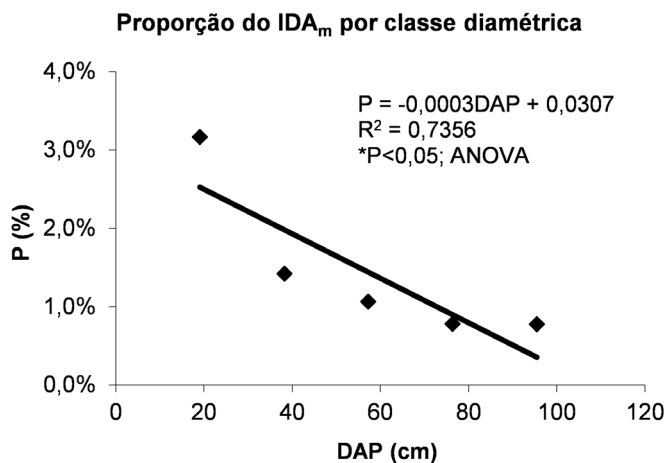


Figura 19. Dispersão dos dados e regressão ajustada (função linear) para a proporção percentual do IDA_m e as classes diamétricas utilizando o DAP do centro das classes.

Tabela 6. Número de unidades amostrais (árvores), DAP e altura do fuste médios individuais e estimativas dos incrementos diamétricos anuais médios (IDA_m) apresentados em ordem decrescente, ranqueando as espécies quanto ao crescimento diamétrico.

N ⁽¹⁾	Espécie	n ⁽²⁾	DAP _m ⁽³⁾	H _m ⁽⁴⁾	IDA _m ⁽⁵⁾	σ ⁽⁶⁾	cv% ⁽⁷⁾	Db ⁽⁸⁾
1	Marupá	9	29,8	17,7	1,562	0,341	21,8	0,31
2	Roxinho	4	30,5	14,5	1,421	0,445	31,4	0,81
3	Jequitibá	7	60,7	17,3	1,283	0,370	28,9	0,49
4	Fava-orelhinha	10	68,7	18,9	1,022	0,309	30,2	0,84
5	Angico	28	41,1	12,1	1,013	0,260	25,7	0,47
6	Samaúma	32	50,5	15,1	0,735	0,156	21,2	0,29
7	Cumaru-cetim	33	47,0	18,3	0,696	0,347	49,9	0,75
8	Copaíba	31	49,5	12,0	0,672	0,062	9,2	0,50
9	Cedro	15	28,3	10,6	0,657	0,236	35,9	0,49
10	Angelim-amargoso	15	42,1	17,4	0,616	0,311	50,5	0,75
11	Cambará	5	70,2	26,8	0,612	0,380	62,2	0,46
12	Jutaí	25	51,5	20,5	0,554	0,039	7,0	0,83
13	Cerejeira	20	31,3	14,7	0,533	0,016	3,0	0,50
14	Pereiro	5	54,9	17,6	0,459	0,190	41,3	0,65

Continua...

Tabela 6. Continuação.

N ⁽¹⁾	Espécie	n ⁽²⁾	DAP _m ⁽³⁾	H _m ⁽⁴⁾	IDA _m ⁽⁵⁾	σ ⁽⁶⁾	cv% ⁽⁷⁾	Db ⁽⁸⁾
15	Amarelão	16	43,8	22,8	0,434	0,055	12,8	0,69
16	Ipê-amarelo	29	44,3	19,0	0,421	0,134	31,7	0,87
17	Tauari	25	48,0	22,7	0,408	0,134	32,9	0,50
18	Violeta	14	41,4	17,1	0,406	0,140	34,5	0,74
19	Catuaba	23	45,2	17,6	0,405	0,114	28,0	0,66
20	Cumaru-ferro	12	42,0	13,5	0,400	0,070	17,6	0,91
21	Aroeira	19	50,6	26,4	0,390	0,096	24,6	0,79
22	Maçaranduba	18	35,8	12,2	0,372	0,053	14,3	0,83
23	Manitê	19	27,9	13,1	0,344	0,163	47,4	0,69
24	Breu-vermelho	30	43,1	8,0	0,311	0,093	29,9	0,74
25	Cernambi-de-índio	17	40,0	16,9	0,265	0,061	23,2	0,71
26	Imbirindiba	17	47,9	15,8	0,249	0,081	32,6	0,80
27	Jitó	31	48,0	11,7	0,245	0,063	25,8	0,66
Total		509	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾N = posição hierárquica no ranking de IDA_m. ⁽²⁾n = número de unidades amostrais (árvores) gerador dos dados. ⁽³⁾DAP_m = DAP médio individual, em cm. ⁽⁴⁾H_m = altura do fuste média individual, em m. ⁽⁵⁾IDA_m = incremento diamétrico anual médio, em cm ano⁻¹. ⁽⁶⁾σ = desvio padrão do IDA_m, em cm ano⁻¹. ⁽⁷⁾cv% = coeficiente de variação percentual do IDA_m, em %. ⁽⁸⁾Db = densidade básica, em g cm⁻³.

O DAP_m e o H_m são os iniciais, ou seja, com base no DAP e altura do fuste tomados no momento da caracterização das árvores.

O IDA_m é a média das médias das séries dos incrementos diamétricos das avaliações das respectivas espécies.

Dados de Db conforme Araujo (2007).

Deve-se ressaltar que algumas espécies apresentaram um baixo “n” (p.ex.: cambará, pereiro e roxinho), o que afeta a representatividade dos seus dados.

Relações funcionais entre as variáveis

As análises das relações funcionais entre o IDA_m com o DAP_m e Db, para as árvores agrupadas em espécies (Tabela 6), mostraram que tais relações foram pouco consistentes, significando haver baixo grau de associação entre essas variáveis. As relações de Db com o IDA_m foram ligeiramente superiores às do DAP_m com o IDA_m. Em ambos os casos, o modelo matemático de função quadrática apresentou o mais alto coeficiente de determinação (R²), portanto, explicando melhor a associação das variáveis (Figuras 20 e 21).

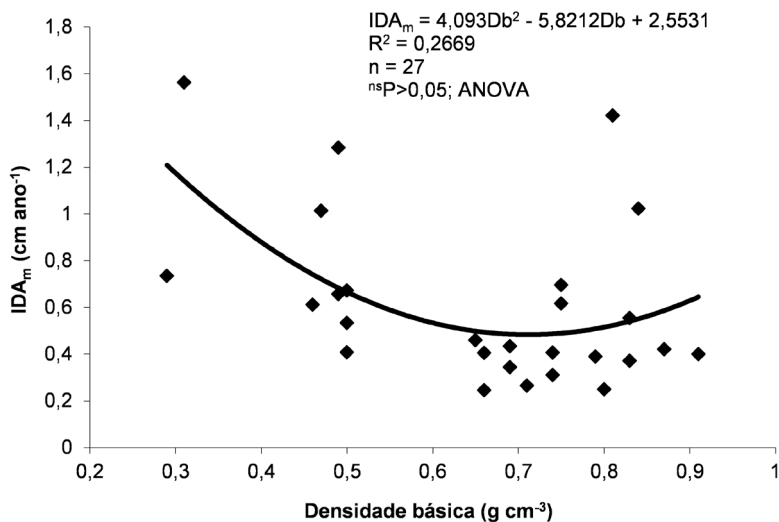


Figura 20. Dispersão dos dados e curva ajustada para as variáveis IDA_m e Db das espécies do estudo.

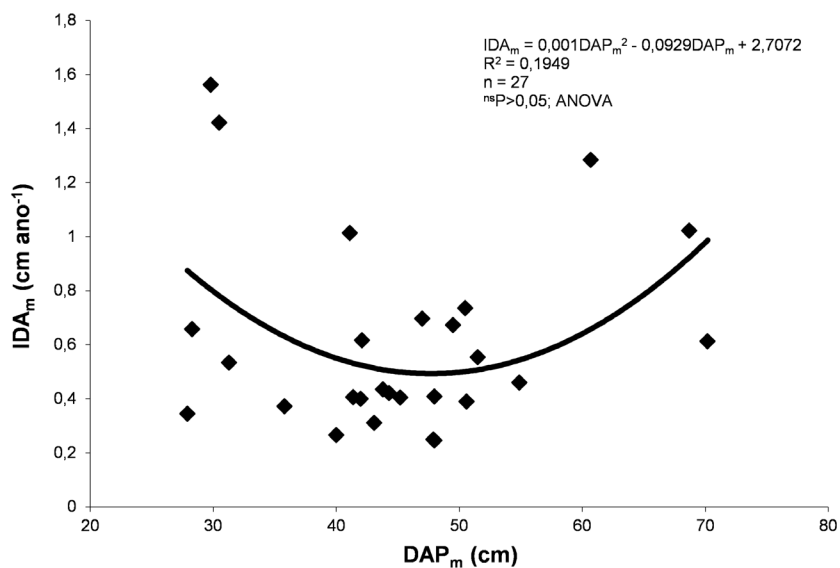


Figura 21. Dispersão dos dados e curva ajustada para as variáveis IDA_m e DAP_m das espécies do estudo.

No caso de Db, em que a média foi $0,66 \text{ g cm}^{-3}$ com significativa variabilidade entre as espécies ($n = 27$; $\sigma = 0,171$; $\text{cv}\% = 26,0$), o baixo R^2 demonstrou não haver diferenças expressivas entre o crescimento diamétrico das madeiras pesadas e o das leves⁷. O mesmo pode ser afirmado para a variável DAP_m , que apresentou média de 45 cm ($n = 27$; $\sigma = 10,843$; $\text{cv}\% = 24,1$), ou seja, o crescimento diamétrico das árvores de maiores diâmetros não apresentou diferenças expressivas em relação às de menores diâmetros⁸.

Quando analisadas individualmente por unidade amostral, as relações do IDA_m (média das séries de incremento) com o DAP das árvores (484 pares de dados), verificou-se um grau de associação ainda menor do que quando são utilizados os dados médios por espécie (DAP_m) (Figura 22).

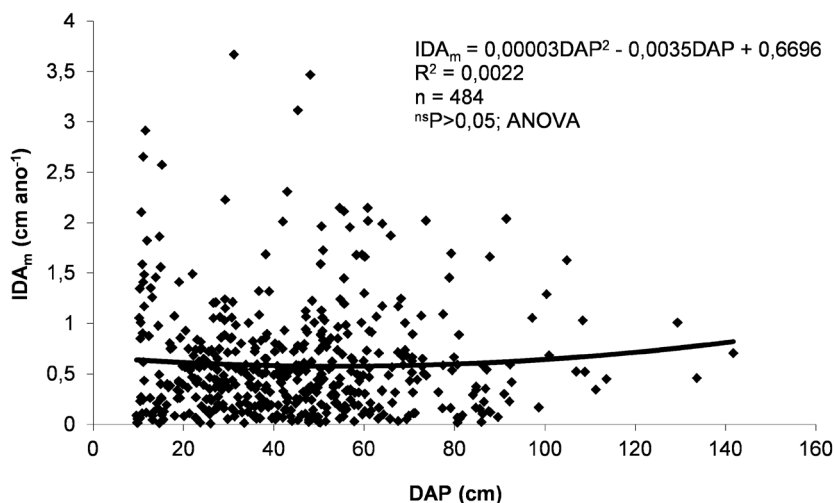


Figura 22. Dispersão dos dados e curva ajustada para as variáveis IDA_m e DAP individuais das árvores do estudo.

⁷ As diferenças pouco expressivas apontadas podem estar relacionadas ao fato de que a maior parte das árvores do estudo são maduras e, portanto, com crescimento diamétrico tendendo à estabilidade. Ressalta-se que a análise identificou positivamente as diferenças de crescimento entre madeiras pesadas e leves, dado que o R^2 (0,2669) indica isso, mesmo sendo baixo.

⁸ O crescimento diamétrico é o absoluto (expresso em cm ano^{-1}), entretanto, diferente disso, conforme Tabela 5 e Figuras 18 e 19, o crescimento diamétrico proporcional ao diâmetro das árvores (expresso em %) é menor nas de maiores diâmetros.

De modo semelhante, as análises das relações funcionais dentro de cada espécie (árvores da mesma espécie) entre os dados individuais do IDA_m (média das séries de incremento) e do DAP mostraram, em geral, que são baixos os níveis de associação dessas variáveis. Por meio de regressão linear simples, os modelos apresentaram um baixo R^2 para a maioria das espécies, o que comprova serem fracas as dependências funcionais entre esses dados (Tabela 7).

A respeito da caracterização em campo sobre as condições ambientais (ecológicas e relativas à sanidade) em que as árvores do estudo se encontram, as correlações lineares (α) entre as características observadas (incluindo o DAP) e o IDA_m revelaram, de modo geral, relações funcionais muito baixas, praticamente inexistentes, o que indica que isoladamente tais condições não exercem influência significativa sobre o crescimento das árvores estudadas.

Tabela 7. Coeficientes de determinação (R^2) das espécies para as relações funcionais entre o IDA_m e o DAP individual das árvores, utilizando regressão linear simples.

Espécie	$n_p^{(1)}$	R^2
Amarelão	15	0,0004
Angelim-amargoso	15	0,3200
Angico	27	0,0965
Aroeira	12	0,0722
Breu-vermelho	29	0,0495
Cambará	5	0,4284
Catuaba	23	0,0002
Cedro	15	0,1383
Cerejeira	19	0,3321
Cernambi-de-índio	17	0,3511
Copaíba	30	0,0355
Cumaru-cetim	31	0,0287
Cumaru-ferro	12	0,0290
Fava-orelinha	10	0,3773
Imbirindiba	17	0,2925
Ipê-amarelo	29	0,0021
Jequitibá	7	0,7421
Jitô	29	0,0182

Continua...

Tabela 7. Continuação.

Espécie	$n_p^{(1)}$	R^2
Jutaí	25	0,0045
Maçaranduba	18	0,3575
Manitê	12	0,1247
Marupá	7	0,4855
Pereiro	5	0,7803
Roxinho	4	0,5485
Samaúma	32	0,3477
Tauari	25	0,0378
Violeta	14	0,1021

⁽¹⁾ n_p = número de pares de dados gerador do R^2 .

IDA_m é a média individual das séries de incrementos diamétricos das avaliações das respectivas unidades amostrais.

Deve-se ressaltar que algumas espécies apresentaram um R^2 de mediano a bom, no entanto, na maior parte desses casos o " n_p " foi baixo (p.ex.: jequitibá, pereiro e roxinho), o que afeta a consistência do R^2 .

De acordo com a escala de intensidade (Toledo; Ovalle, 1995), os α mais expressivos, em ordem decrescente, foram referentes à condição de luminosidade, posição sociológica, presença de plantas epífitas e parasitas e infestação de cupins, todos classificados como fraco positivo ($0,1 \leq \alpha < 0,5$). As demais variáveis (características) apresentaram a intensidade de α como ínfimo positivo ($0 < \alpha < 0,1$), fraco negativo ($-0,5 < \alpha \leq -0,1$) e ínfimo negativo ($-0,1 < \alpha < 0$). Em geral, embora baixos e classificados como fracos, os α de maior intensidade apresentaram significância estatística. Quanto ao DAP, novamente se mostrou pouco relacionado ao incremento diamétrico das árvores, uma vez que seu α foi quase nulo ($-0,00019$) e sem significância estatística ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 8).

Tabela 8. Correlação linear entre as características das unidades amostrais do estudo e o incremento diamétrico anual médio (IDA_m).

Característica da árvore	$n_p^{(1)}$	$\alpha^{(2)}$	$F_0^{(3)}$
DAP ⁽⁴⁾	484	-0,00019	ns
Qualidade do fuste	481	0,07870	ns
Posição sociológica	482	0,20246	**
Condição de luminosidade	482	0,22055	**
Presença de cipós	482	0,02060	ns
Presença de plantas epífitas e parasitas	482	0,14703	**
Infestação de cupins	482	0,11149	*
Defeitos do fuste	482	-0,06358	ns
Estado fitossanitário geral da árvore	482	0,05472	ns
Local sujeito à alagação	482	-0,16380	**

⁽¹⁾ n_p = número de pares de dados gerador do α . ⁽²⁾ α = coeficiente de correlação linear de Pearson. ⁽³⁾ F_0 = nível de significância estatística pelo teste F. ⁽⁴⁾DAP = diâmetro à altura do peito.

ns = α não significativo ($P > 0,05$ de H_0). * = α significativo ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$ de H_0). ** = α significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$ de H_0).

O IDA_m utilizado nos cálculos é a média das médias dos incrementos diamétricos das séries de avaliações de cada unidade amostral (árvore).

Incremento volumétrico e ciclo de corte ótimo estimado

Os dados dendrométricos de cada árvore (DAP e H) e o respectivo crescimento diamétrico médio (IDA_m) da espécie (Tabela 6) possibilitaram o cálculo (pela expressão (3)) dos volumes individuais e os volumes totais inicial e final (acrescido do IDA_m) por espécie. Os volumes totais por espécie, por sua vez, permitiram o cálculo do volume individual inicial médio (Vi_m) e do volume individual final médio (Vf_m). A diferença entre o Vf_m e o Vi_m gerou o incremento volumétrico anual individual médio (IVA_m) de cada espécie, permitindo o ranqueamento quanto ao crescimento volumétrico. O IVA_m permitiu estimar, para cada espécie, o número de árvores necessárias para atingir o incremento volumétrico de $1,0 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, o que pode ser visto como um parâmetro auxiliar em planos de manejo (Tabela 9).

Tabela 9. Relação das espécies e estimativas dos respectivos volume individual inicial médio, volume individual final médio, incremento volumétrico individual anual médio e número de árvores necessárias para o crescimento de $1,0 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, apresentadas em ordem decrescente, ranqueando as espécies quanto ao crescimento volumétrico.

N ⁽¹⁾	Espécie	V _i _m ⁽²⁾	V _f _m ⁽³⁾	IVA _m ⁽⁴⁾	N _m ⁽⁵⁾
1	Jequitibá	4,7203	4,9102	0,1899	5,3
2	Fava-orelinha	6,0090	6,1879	0,1789	5,6
3	Cambará	8,6065	8,7593	0,1528	6,5
4	Marupá	2,0726	2,2187	0,1461	6,8
5	Samaúma	4,2450	4,3359	0,0909	11,0
6	Cumaru-cetim	3,9532	4,0422	0,0890	11,2
7	Roxinho	0,9441	1,0320	0,0879	11,4
8	Angico	2,8707	2,9561	0,0854	11,7
9	Jutaí	4,2704	4,3517	0,0813	12,3
10	Aroeira	5,0089	5,0822	0,0733	13,6
11	Tauari	5,7458	5,8164	0,0706	14,2
12	Pereiro	4,6425	4,7086	0,0661	15,1
13	Amarelão	4,0462	4,1123	0,0660	15,1
14	Angelim-amargoso	2,4283	2,4914	0,0631	15,8
15	Copaíba	3,1261	3,1849	0,0588	17,0
16	Ipê-amarelo	3,7415	3,7960	0,0546	18,3
17	Catuaba	3,3786	3,4272	0,0486	20,6
18	Violeta	2,2912	2,3309	0,0396	25,2
19	Cerejeira	1,2744	1,3100	0,0355	28,1
20	Cumaru-ferro	2,3809	2,4146	0,0337	29,7
21	Cernambi-de-índio	2,8946	2,9241	0,0295	33,9
22	Cedro	0,7072	0,7355	0,0283	35,4
23	Imbirindiba	3,0920	3,1188	0,0268	37,3
24	Maçaranduba	1,6418	1,6677	0,0259	38,7
25	Manitê	1,2812	1,3016	0,0205	48,9
26	Jitó	2,5706	2,5906	0,0201	49,8
27	Breu-vermelho	1,3926	1,4088	0,0162	61,6

⁽¹⁾N = posição hierárquica no ranking de IVA_m. ⁽²⁾V_i_m = volume individual inicial médio (com base no DAP e H), em m³. ⁽³⁾V_f_m = volume individual final médio (com base no DAP + H + IDA_m da espécie), em m³. ⁽⁴⁾IVA_m = incremento volumétrico individual anual médio, em m³ ano⁻¹. ⁽⁵⁾N_m = número médio de árvores necessárias para o crescimento de $1,0 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$.

O cálculo do V_f_m não considerou o crescimento em altura do fuste.

Quanto à posição hierárquica das espécies é interessante notar que o ranking do crescimento volumétrico não guarda similaridade com o ranking do crescimento diamétrico apresentado na Tabela 6, o que se deve ao componente altura (H) das árvores, ou seja, para o cálculo do incremento volumétrico (IVA_m) há um elemento (H) não existente no cálculo do incremento diamétrico (IDA_m), o que faz com que espécies com o mesmo IDA_m tenham IVA_m distintos, devido às diferentes medidas de altura.

Totalizando e tomando a média, para o conjunto das árvores do estudo (509 árvores), dos volumes individuais inicial e final, que consideram nos cálculos o incremento diamétrico médio (IDA_m) de cada espécie, observa-se que o volume individual inicial total médio (Vi_m) será de $3,2067 \text{ m}^3$, enquanto o volume individual final total médio (Vf_m) alcançará $3,2673 \text{ m}^3$, resultando (pela expressão (4)) em um incremento volumétrico anual individual médio (IVA_m) para o total das árvores de $0,0606 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, o que significa que são necessárias 16,5 árvores com dimensões e espécies similares às deste estudo para atingir um crescimento volumétrico de $1,0 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$.

Dessa maneira, para o conjunto das árvores (509) e espécies do estudo, é possível determinar (conforme a expressão (5)) que o tempo médio de reposição de um volume igual ao volume inicial de corte retirado, ou seja, o ciclo de corte ótimo estimado (T), é de 52,9 anos.

Quando calculados por espécie⁹, considerando os dados médios e de incremento volumétrico (Vi_m , Vf_m e IVA_m), apresentados na Tabela 9, tem-se que o ciclo de corte ótimo estimado (T) pode ultrapassar 120 anos, com a média das espécies alcançando 58,2 anos (Figura 23).

⁹ Conforme ressaltado no decorrer do trabalho, em razão da baixa representatividade amostral, os resultados quanto ao ciclo de corte ótimo estimado (T) não são conclusivos para algumas espécies.

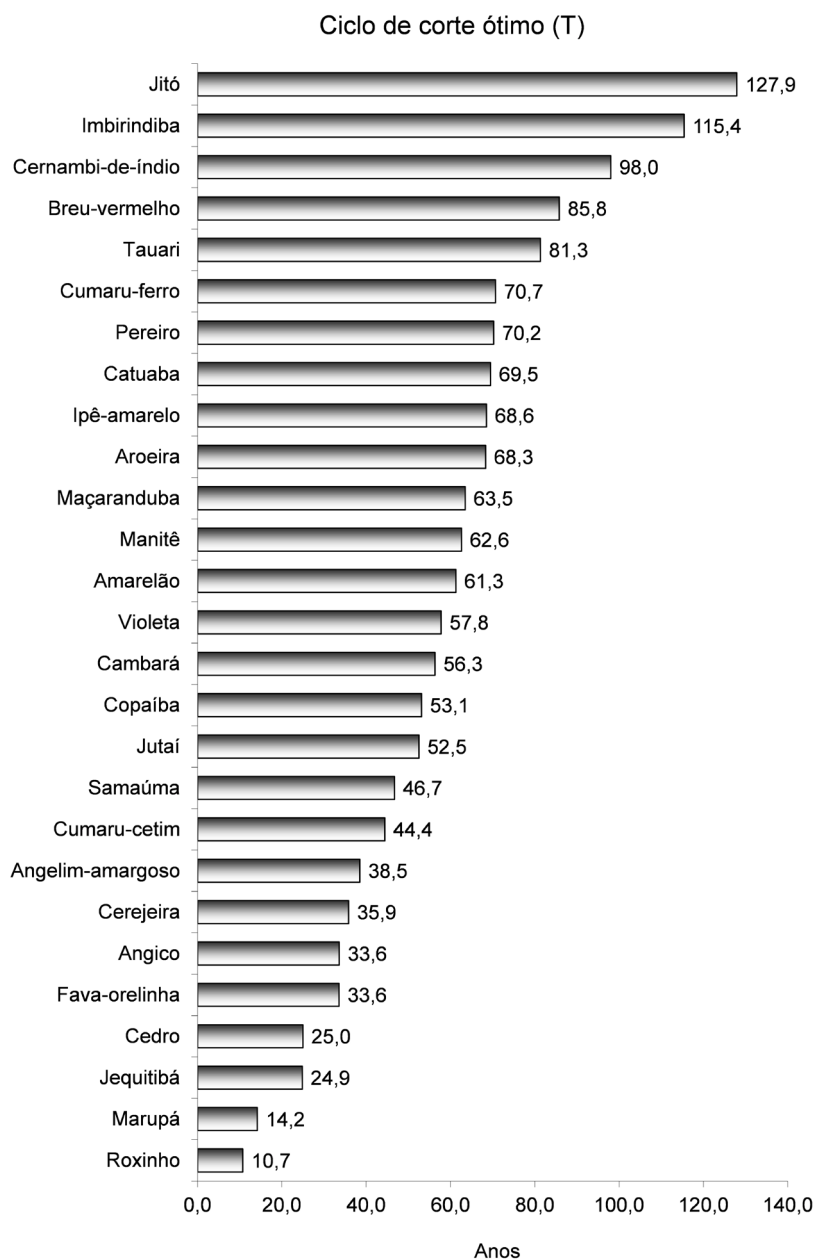


Figura 23. Estimativa do ciclo de corte ótimo (T) para as espécies do estudo.

Compatibilidade com a legislação florestal

A legislação federal vigente para a Amazônia (Resolução Conama nº 406, de 2/2/2009) estabelece, para sistemas de manejo mecanizados, o ciclo de corte mínimo de 25 e o máximo de 35 anos, este último 34% menor do que os 52,9 anos determinados para o conjunto das árvores deste estudo (a mais branda das estimativas, visto que a média das espécies foi maior – 58,2 anos). Na legislação vigente no estado do Acre (Resolução Conjunta Cemact/CFE nº 003, de 12/8/2008), consta o ciclo de corte de 25 anos, 53% menor do que os 52,9 anos deste estudo. Em relação à intensidade (ou taxa) de corte, tanto a legislação federal como a acriana estabelecem o máximo de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$.

Considerando os ciclos de corte de 25 e 35 anos e a intensidade de corte de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$, foi simulado com os dados do estudo o crescimento individual das árvores para cada classe diamétrica e conjunto das classes. A finalidade foi verificar a compatibilidade entre os volumes obtidos ao final dos ciclos de corte fixados na lei com os volumes obtidos com o T calculado proposto neste trabalho. Os cálculos permitiram visualizar as defasagens quanto à reposição dos volumes iniciais e os ciclos de corte para as classes diamétricas (Tabela 10).

Tabela 10. Simulações, por classe diamétrica, do crescimento individual médio das árvores e estimativas das defasagens volumétricas e do ciclo de corte comparativas com as bases de produtividade da legislação reguladora do manejo florestal no Acre e na Amazônia.

Variável ⁽¹⁾	Classes diamétricas					Classes em conjunto
	I. $9,5 \leq \text{DAP} \leq 28,7 \text{ cm}$	II. $28,8 \leq \text{DAP} \leq 47,7 \text{ cm}$	III. $47,8 \leq \text{DAP} \leq 66,8 \text{ cm}$	IV. $66,9 \leq \text{DAP} \leq 85,9 \text{ cm}$	V. $\text{DAP} > 85,9 \text{ cm}$	
n	145	156	125	49	34	509
C _{ct}	25/35	25/35	25/35	25/35	25/35	25/35
I _{ct}	30	30	30	30	30	30
DAP _i	19,1	38,3	57,3	76,4	95,5	44,5
H	10,0	16,9	19,1	20,4	18,7	16,0

Continua...

Tabela 10. Continuação.

Variável ⁽¹⁾	Classes diamétricas					
	I. 9,5 ≤ DAP ≤ 28,7 cm	II. 28,8 ≤ DAP ≤ 47,7 cm	III. 47,8 ≤ DAP ≤ 66,8 cm	IV. 66,9 ≤ DAP ≤ 85,9 cm	V. DAP > 85,9 cm	Classes em conjunto
V_i	0,250	1,702	4,305	8,174	11,707	2,175
IDA_m	0,604	0,543	0,609	0,595	0,740	0,542
DAP_f	19,704	38,843	57,909	76,995	96,24	45,042
V_f	0,267	1,750	4,397	8,302	11,889	2,228
IVA	0,016	0,049	0,092	0,128	0,182	0,053
N_{30}	119,8	17,6	7,0	3,7	2,6	13,8
V_{25}	48,185	21,417	16,027	11,727	11,668	18,381
V_{35}	67,458	29,984	22,438	16,418	16,335	25,733
DV_{25}	18,185	-8,583	-13,973	-18,273	-18,332	-11,619
$DV\%_{25}$	60,6%	-28,6%	-46,6%	-60,9%	-61,1%	-38,7%
DV_{35}	37,458	-0,016	-7,562	-13,582	-13,665	-4,267
$DV\%_{35}$	124,9%	-0,1%	-25,2%	-45,3%	-45,5%	-14,2%
T	15,6	35,0	46,8	64,0	64,3	40,8
DC_{ct25}	9,4	-10,0	-21,8	-39,0	-39,3	-15,8
DC_{ct35}	19,4	0,0	-11,8	-29,0	-29,3	-5,8

⁽¹⁾n = número de árvores avaliadas. C_{ct} = ciclos de corte de 25 anos (R.C. Cemact/CFE nº 003) e de 35 anos (R. Conama nº 406). I_i = intensidade de corte para ambas as legislações, em $m^3 ha^{-1} ciclo^{-1}$. DAP_i = diâmetro médio inicial, em cm. H = altura média do fuste da classe diamétrica, em m. V_i = volume individual inicial (calculado com o DAP_i e H), em m^3 . IDA_m = incremento diamétrico anual médio, em $cm ano^{-1}$. DAP_f = diâmetro médio final (contendo o IDA_m), em cm. V_f = volume individual final (calculado com o DAP_f e H), em m^3 . IVA = incremento volumétrico individual anual (calculado por $V_f - V_i$), em $m^3 ano^{-1}$. N_{30} = número de árvores necessárias para totalizar a I_{ct} de 30 m^3 , em árvores. V_{25} e V_{35} = volume de N_{30} ao final dos C_{ct} de 25 e 35 anos (cálculo: IVA x N_{30} x 25 ou 35), em m^3 . DV_{25} e DV_{35} = defasagens finais volumétricas em relação ao I_{ct} de 30 m^3 ao final dos C_{ct} de 25 e 35 anos, em m^3 . $DV\%_{25}$ e $DV\%_{35}$ = defasagens finais volumétricas percentuais em relação ao I_{ct} de 30 m^3 ao final dos C_{ct} de 25 e 35 anos, em %. T = tempo de reposição do volume inicial colhido de 30 m^3 ou ciclo de corte ótimo estimado, em anos. DC_{ct25} e DC_{ct35} = defasagens dos C_{ct} de 25 e 35 anos em relação ao T.

O DAP_i é referente ao centro da classe diamétrica; os dados de H são os apresentados na Tabela 2; os dados de IDA_m são os apresentados na Tabela 5; o cálculo do V_i não considerou o crescimento em altura do fuste; as duas menores classes diamétricas possuem DAP_i abaixo do diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm estabelecido na legislação e, portanto, não podem ser manejadas.

Exceto para a primeira classe diamétrica, a única com saldo positivo, tanto ao ciclo de corte como à reposição volumétrica da floresta (9,4 anos e 18,185 m³ e 19,4 anos e 37,458 m³, respectivamente, para os ciclos de 25 e 35 anos), a simulação demonstrou que todas as outras classes diamétricas apresentaram defasagens, significando que pode não haver ao final de ambos os ciclos (25 e 35 anos) os 30 m³ colhidos inicialmente, mas menos do que isso. Os dados da Tabela 10 mostram que quanto maior a classe diamétrica, maiores são as defasagens.

No caso da segunda classe diamétrica (DAP do centro de classe de 38,3 cm), para o ciclo de corte de 35 anos, as defasagens foram praticamente nulas, revelando ser essa classe, junto com a primeira (DAP do centro de classe de 19,1 cm), as únicas em que, do ponto de vista sustentável, as bases de produtividade da legislação poderiam ser aplicadas. Contudo, ressalta-se que ambas as classes estão abaixo do diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm, tanto na legislação federal como na acriana. Portanto, os dados apresentados neste estudo sinalizam que a legislação superestima e pode estar incompatível com a capacidade de restabelecimento da floresta frente ao manejo.

Outro aspecto a destacar se refere justamente ao DMC. A relação inversa entre o porte das árvores e a reposição volumétrica da floresta, ou seja, quanto menor o porte das árvores maior é o crescimento da floresta em relação ao ciclo de corte (mostrado na Tabela 10), sugere que o DMC da legislação deve ser reduzido e, mais ainda, limitado às menores classes diamétricas, cabendo às maiores a função principal de matrizes. No entanto, salienta-se que são necessários mais estudos com maior tempo de avaliação e amostragem mais adequada para testar essa hipótese.

De maneira comparativa, os resultados apresentados neste trabalho também possibilitam inferir que o dado de 0,86 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (Brasil, 2008), relativo ao crescimento volumétrico, ou produtividade da floresta manejada, proposto como referência técnica norteadora para a citada legislação, está moderadamente subestimado, ou seja, é comedido e está abaixo da capacidade de reposição da floresta, o que é positivo para a sustentabilidade das florestas manejadas. Usando como referencial os dados do inventário a 100% de árvores com DAP ≥ 50 cm de 206,8 ha realizado na área do estudo (Araujo, 2006), que revelam uma abundância de 17,0 árvores ha⁻¹ para o total das

espécies (204 espécies identificadas e aproximadamente outras 6 desconhecidas) e de 7,6 árvores ha^{-1} para as 31 espécies definidas para este estudo, e tomando a média dos IVA das três maiores classes diamétricas da Tabela 10 (classes com DAP médio acima do DMC legal), que é de 0,134 $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$, tem-se, para as 31 espécies, uma produtividade de 1,018 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, portanto, 18,4% maior¹⁰ do que a produtividade proposta para a legislação. Por outro lado, a produtividade proposta para a legislação é genérica (não determina espécies ou grupos de espécies) e, logo, tem sua aplicabilidade restringida para parte significativa das espécies manejadas, conforme foi demonstrado.

As divergências entre as prescrições da legislação e a produtividade da floresta diante do manejo florestal apontadas neste estudo são corroboradas por outros autores.

Segundo Braz et al. (2012), uma das grandes lacunas do manejo florestal é a definição de uma taxa de corte compatível com o ciclo de corte e o crescimento das espécies, no entanto, a legislação florestal brasileira trata a questão de modo simplificado ao estabelecer taxas fixas, desconsiderando a estrutura das classes diamétricas, o crescimento e disponibilidade das espécies. Esses autores, estudando o crescimento de 26 espécies comerciais em uma floresta manejada no sul do Amazonas, demonstraram que a taxa de corte sustentável, com ciclo de corte de 25 anos, é de apenas 37% (11,5 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) do volume comercial disponível e concluíram que os planos de manejo, como preconizados, não são sustentáveis.

Sist e Ferreira (2007), estudando uma área sob manejo em Paragominas, PA, colhendo em média 6 árvores por hectare (21 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), com ciclo de corte de 30 anos, considerando os danos da colheita e o crescimento das árvores, avaliados por 18 parcelas de 1 hectare, concluíram que o nível de recuperação do volume comercial, com uma taxa de crescimento diamétrico de 0,500 cm ano^{-1} e mortalidade de 1%, seria de apenas 50%, ou seja, o sistema de manejo é insustentável à medida que a floresta mostrou capacidade de restabelecer apenas metade do volume colhido após 30 anos. As projeções desse estudo indicaram que somente empregando tratamentos silviculturais

¹⁰ Deve-se ressaltar, entretanto, que a produtividade de 1,018 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ é a máxima, ou seja, considera o total de árvores ha^{-1} , com DAP ≥ 50 cm, das 31 espécies do estudo presentes na área inventariada, significando que, para maior segurança da sustentabilidade de planos de manejo em áreas com potencial comercial e volumétrico similar, não é recomendado usá-la na íntegra.

eficazes que induzam o crescimento diamétrico das árvores em $0,400 \text{ cm ano}^{-1}$ – $0,500 \text{ cm ano}^{-1}$, seria possível garantir a colheita sustentável de 3–4 árvores por hectare ($10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ – $14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) sob um ciclo de corte não de 30, mas de 40 anos.

Considerações finais

As análises de regressão revelaram que foram baixas as relações funcionais (α e R^2) entre as variáveis DAP (individualmente e em grupos) e Db com o incremento diamétrico (IDA_m). De modo similar, as correlações entre as informações de campo das árvores (caracterização das condições ambientais) com o incremento diamétrico (IDA_m) também se mostraram baixas ou quase inexistentes. Portanto, esses resultados indicam não haver um padrão que correlacione adequadamente essas variáveis e características com o crescimento das árvores. Entretanto, quando as árvores foram observadas agrupadas por espécie as diferenças comparativas se evidenciaram, indicando haver padrões de crescimento distintos entre uma e outra, conforme mostrou o ranqueamento quanto aos crescimentos diamétrico (IDA_m) e volumétrico (IVA_m) e o ciclo de corte ótimo estimado (T).

Valendo-se do princípio fundamental no qual a reposição volumétrica da floresta deve ser igual ou superior ao volume retirado, as estimativas do ciclo de corte ótimo estimado (T) de 52,9 anos (ao conjunto das árvores) e 58,2 anos (média das espécies) permitem inferir que o manejo florestal em prática nas áreas estudadas não é sustentável, visto que a legislação reguladora estabelece bases conflitantes. Desse modo, a partir deste estudo de caso, juntamente com outros (alguns citados neste trabalho), conclui-se que o manejo florestal, tal como é praticado (em acordo com a legislação), pode estar contribuindo para o processo em curso de empobrecimento e degradação da Floresta Amazônica, o que indica a necessidade premente de rever a legislação quanto aos referenciais técnicos relativos às taxas de corte (estão superestimadas) e tempos de reposição volumétrica (estão subestimados).

Em que pesem, conforme mencionado no texto, as dificuldades na condução dessa pesquisa, com destaques para a necessidade de constantes trocas das cintas dendrométricas e as perdas de unidades amostrais (quedas e mortes de árvores, danificação por animais, etc.), o que a torna bastante onerosa,

recomenda-se que seja ampliada em escala, tanto em número de unidades amostrais, como também a outras espécies e locais da Amazônia. Outra recomendação, em face das diferentes taxas de crescimento encontradas para as espécies, é de que a normatização legal quanto a taxas e ciclos de corte do manejo florestal não seja genérica a todas as espécies, mas as considere individualmente ou, ao menos, em grupos similares.

Ainda que realizado em áreas restritas ao estado do Acre e com um número mediano de espécies, quando comparado ao potencial de espécies manejáveis da região, e considerando, conforme salientado no texto, a necessidade de mais estudos e melhor amostragem, entende-se que os resultados deste trabalho constituem indicativos para a Amazônia visto que esta, embora de enorme extensão territorial, é um bioma único, relativamente homogêneo quanto ao clima, hidrografia, topografia, tipos edáficos, etc. e, especialmente, quanto ao ecossistema florestal.

Referências

- ACRE. Governo do Estado. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre Fase II: documento síntese – escala 1: 250.000.** Rio Branco, AC: Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2006. 355 p.
- ALDER, D. **Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento.** Roma: FAO, 1980. 198 p. v. 2: predicción del rendimiento. (Estudios FAO: Montes 22/2).
- ARAUJO, H. J. B.; SILVA, I. G. **Lista de espécies florestais do Acre (ocorrência com base em inventários florestais).** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2000. 77 p. (Embrapa Acre. Documentos, 48).
- ARAUJO, H. J. B. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 447-464, 2006.
- ARAUJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 399-416, set./dez. 2007.
- ARAUJO, H. J. B. Crescimento de espécies madeireiras em uma floresta acreana e compatibilidade com a legislação florestal. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 2, p. 113-123, abr./jun. 2016.

ARAUJO, H. J. B.; CORREIA, M. F. Índices técnicos e econômicos da colheita madeireira com microtrator substituindo animais em manejo florestal comunitário. **Revista de Ciências Agrárias/ Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 57, n. 2, p. 146-155, abr./jun. 2014.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radambrasil. **Folha SC. 19 Rio Branco**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1976, 458 p. (Projeto Radambrasil, v. 12).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Regulamentação de parâmetros técnicos em PMFS no âmbito do CONAMA**. Brasília, DF, 2008. 10 p. (Nota técnica). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/9F5F8BB7/NotaTec_RedeflorFinal.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2015.

BRAZ, E. M.; SCHNEIDER, P. R.; MATTOS, P. P.; SELLE, G. L.; THAINES, F.; RIBAS, L. A.; VUADEN, E. Taxa de corte sustentável para manejo das florestas tropicais. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 137-145, jan./mar. 2012.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. Viçosa: Editora UFV, 2009. 542 p.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J. Ancient trees in Amazonia. **Nature**, n. 391, p. 135-136, 1998.

COSTA, D. H. M.; CARVALHO, J. O. P.; BERG, E. V. D. Crescimento diamétrico de maçaranduba (*Manilkara huberi* Chevalier) após a colheita da madeira. **Amazônia Ciência & Desenvolvimento**, v. 3, n. 5, p. 65-76, jul./dez. 2007.

COSTA, D. H. M.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. Crescimento de árvores em uma área de terra firme na floresta nacional do Tapajós após a colheita de madeira. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 50, p. 63-76, jul./dez. 2008.

DE GRAAF, N. R. **A silvicultural system for natural regeneration of tropical rain forest in Suriname**. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1986. 250 p.

DUARTE, A. F. Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971–2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 96-105, dez. 2006.

ENRIGHT, N.; OGDEN, J. Applications of transition matrix models in forest dynamics: Araucaria in Papua New Guinea and Nothofagus in New Zealand. **Australian Journal of Ecology**, v. 4, n. 1, p. 3-23, Mar. 1979.

FIGUEIREDO, E. O.; SCHROEDER, R.; PAPA, D. A. **Fatores de forma para 20 espécies florestais comerciais da Amazônia**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2009. 4 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 173).

FIGUEIREDO FILHO, A.; HUBIE, S. R.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J.; SANQUETTA, C. R. Avaliação do incremento em diâmetro com o uso de cintas dendrométricas em algumas espécies de uma floresta ombrófila mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 69-84, jan./jun. 2003.

FINEGAN, B.; CAMACHO, M. Stand dynamics in a logged and silviculturally treated Costa Rican rain forest, 1988-1996. **Forest Ecology and Management**, v. 121, n. 3, p. 177-189, Aug. 1999.

GOURLET-FLEURY, S.; GUEHL, J. M.; LAROUSSINIE, O. **Ecology and management of a neotropical rainforest**: lessons drawn from Paracou, a long-term experimental research site in French Guiana. Paris: Elsevier, 2004. 326 p.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J. Q.; SILVA, R. P.; MIRANDA, E. V.; SANTOS, J.; ILDA, S.; ROCHA, R. M.; PINTO, A. C. M.; SOUZA, C. A. S. Uso de bandas metálicas e dendrômetros automáticos para a definição do padrão de crescimento individual das principais espécies arbóreas da floresta primária da região de Manaus, Amazonas, Brasil. In: PROJETO Jacarandá fase II: pesquisas florestais na Amazônia Central. Manaus: INPE, 2003. p. 55-68.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Editora UFPR, 1998. 162 p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 402 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas**: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.

LISTA de espécies da flora do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico. [2015]. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do#CondicaoTaxonCP>>. Acesso em: 15 out. 2015.

LOETSCH, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munchen: BLV Verlagsgesellschaft, 1973. 2 v.

MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; AGUSTINI, A. F.; BRAZ, E. M.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da floresta ombrófila mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 319-326, nov./dez. 2010.

MOBOT Missouri Botanical Garden. **Tropicos**. Saint Louis: Missouri, [2015]. Disponível em: <<http://www.tropicos.org>>. Acesso em: 15 out. 2015.

NYBG New York Botanical Garden. **C. V. Starr Virtual Herbarium**. New York, [2015]. Disponível em: <<http://sweetgum.nybg.org/science/vh/>>. Acesso em: 15 out. 2015.

OLIVEIRA, M. V. N. d'; BRAZ, E. M. **Manejo florestal em regime de rendimento sustentado, aplicado à floresta do Campo Experimental da Embrapa-CPAF/AC**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1998. 46 p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa, 21).

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. C. F.; ABREU, H. S. Métodos e técnicas de diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 165-75, jan./dez. 2002.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3. ed. New York: Mcgraw-Hill, 1970. v. 1. 705 p.

PARDO, M. H. A. **Elementos para um plano de gestão ambiental do campo experimental da Embrapa Acre**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Mestrado de Ciências Ambientais e Saúde, Goiânia.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: UFPR, 1997. v. 1. 316 p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1997. 562 p.

ROSAS, G. K. C.; DRUMOND, P. M. **Caracterização da caça de subsistência em dois seringais localizados no Estado do Acre (Amazônia, Brasil)**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2007. 31 p. (Embrapa Acre. Documentos, 109).

SHIMAKURA, S. E. **Coefficiente de determinação**. 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node76.html>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

SILVA, R. P.; CHAMBERS, J. Q.; ROCHA, R. M.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Uso de banda dendrométrica na definição de padrões de crescimento individual em diâmetro de árvores da bacia do Rio Cuieiras. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 1, p. 67-84, 2003.

SILVA, R. P.; SANTOS, J.; TRIBUZY, E. S.; CHAMBERS, J. Q.; NAKAMURA, S.; HIGUCHI, N. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 166, p. 295-301, 2002.

SIST, P.; FERREIRA, F. N. Sustainability of reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, n. 243, p. 199-209, 2007.

SOARES, C. B. S.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 276 p.

TOLEDO, G. L.; OVALLE, I. I. **Estatística básica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1995. 459 p.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield**: applications to mixed tropical forests. Copenhagen: CAB International, 1994. 312 p.



Acre