

# AUTOCORRELAÇÃO TEMPORAL DO INCREMENTO EM DIÂMETRO E AS DIFERENÇAS DE CRESCIMENTO ENTRE GRUPOS DE ESPÉCIES EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA

Silvane VATRAZ<sup>1</sup>

Denis ALDER<sup>2</sup>

José Natalino Macedo SILVA<sup>3</sup>

- RESUMO: O objetivo deste estudo foi verificar a existência de autocorrelação temporal entre dois períodos consecutivos de medição do incremento diamétrico (1984-1994 e 1994-2004) e identificar padrões de taxas de crescimento diamétrico entre diferentes grupos de espécies de espécies. O estudo foi desenvolvido na área de manejo florestal da empresa Jari Florestal S.A., no município de Vitória do Jari, AP. Foram empregadas três parcelas permanentes de um hectare cada uma (100 × 100 m), onde foram medidos todos os indivíduos arbóreos com DAP ≥ 20,0 cm. A correlação de Pearson foi empregada para verificar a existência da autocorrelação do crescimento, bem como entre as classes diamétricas. O agrupamento das espécies baseou-se em construir um gráfico de dois eixos relacionando o incremento diamétrico médio e o diâmetro percentil 0,95. A análise de variância ( $\alpha=0,01$ ) e o teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ) foram utilizados para checar as diferenças entre os incrementos. O resultado desta análise detectou a autocorrelação temporal do crescimento e de diferentes padrões de crescimento entre algumas classes diamétricas. O agrupamento de espécies mostrou ser uma ferramenta útil na identificação de grupos de espécies e as análises indicaram existir diferenças de crescimento entre alguns grupos.
- PALAVRAS-CHAVE: Correlação; taxa de crescimento; agrupamento de espécies; florestas tropicais.

## 1 Introdução

As espécies arbóreas das florestas tropicais apresentam taxas de crescimento consideravelmente variáveis (CLARK e CLARK, 2001). Esta grande variação é devida a diversos fatores que podem afetar o crescimento individual, como as características interespecíficas e intraespecíficas das espécies, a heterogeneidade ambiental, distúrbios bióticos e abióticos e a competição (WHITMORE, 1984; HUBBELL e FOSTER, 1990; ALDER, 1995).

No entanto, esta variação nas taxas de crescimento não é distribuída aleatoriamente (BRIENEN *et al.*, 2006). Algumas árvores conseguem se adaptar mais facilmente a

---

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Pós-graduação em Ciências Florestais, CEP: 66.077-830, Belém, PA, Brasil. E-mail: [vatrax@yahoo.com.br](mailto:vatrax@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Denis Alder Consulting, Oxford, Reino Unido, OX3 8TH, E-mail: [post@denisalder.com](mailto:post@denisalder.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, Instituto de Ciências Agrárias, CEP: 66.077-830, Belém, PA, Brasil. E-mail: [silvanatalino734@gmail.com](mailto:silvanatalino734@gmail.com)

determinados cenários, como condições inadequadas de crescimento, outras não. Porém, algumas tendências ou padrões de crescimento são esperados ao longo do tempo, onde correlações temporais podem ser detectadas (KAMMESHEIDT *et al.*, 2003; LANDIS e PEART, 2005).

A autocorrelação de crescimento (DE ANGELIS *et al.*, 1993; FUJIWARA *et al.*, 2004; BRIENEN *et al.*, 2006) ou também denominada de autocorrelação temporal (FOX *et al.*, 2001; KOHYAMA *et al.*, 2005) é comumente definida, como, a correlação entre o crescimento de um período com o crescimento do período subsequente, calculado para todos os indivíduos da população (BRIENEN *et al.*, 2006).

Bullock *et al.* (2004) mencionam que esta autocorrelação temporal pode influenciar fortemente a variação da dinâmica do crescimento, principalmente, na variação das dimensões das árvores de mesma idade.

O incremento periódico anual (IPA) representa a taxa de crescimento individual de árvores na floresta e em estudos de modelagem do crescimento. Conforme Fox *et al.* (2001) a variação deste incremento é muitas vezes considerada aleatória e é devido segundo Roitman (2011), a grande dificuldade em se quantificar o efeito de cada um dos fatores que interferem nas taxas de crescimento na floresta.

Por isso, Alder e Synnott (1992), recomendam que se identifiquem corretamente as espécies botânicas contidas nas parcelas permanentes, para se ter um maior conhecimento sobre os fatores biológicos e ecológicos que determinam a dinâmica e produtividade da floresta. No entanto, realizar a modelagem por espécies em florestas com grande diversidade é impraticável e, portanto, faz-se necessário reduzir o número de parâmetros, por meio do agrupamento de espécies com características em comum (VANCLAY, 1991; ALDER e SILVA, 2000).

Considerando ou não o agrupamento de espécies, alguns avanços foram obtidos atualmente na modelagem do crescimento e produção em florestas tropicais, por meio do emprego da modelagem de árvores individuais, no entanto, segundo Castro *et al.* (2014) de uso ainda muito restrito. Dos trabalhos realizados, a grande maioria não contempla todas as árvores da floresta e têm abrangência apenas nos submodelos, sendo mais comum o estudo envolvendo apenas algumas espécies amazônicas (CASTRO *et al.*, 2014).

Historicamente, modeladores florestais têm usado uma grande variedade de critérios para realizar o agrupamento, incluindo afinidade taxonômica, grupos ecológicos, dinâmica de crescimento semelhante, e várias abordagens estatísticas (VANCLAY, 1994).

Alder *et al.* (2002), realizaram o agrupamento de espécies, ordenando os dados em duas dimensões. A primeira dimensão foi o incremento diamétrico médio das espécies e a segunda foi o cálculo do diâmetro percentil (0,95) das árvores, onde, o diâmetro percentil corresponde ao diâmetro típico de uma árvore adulta.

A classificação das espécies em grupos impõe certo grau de simplificação, o que reduz o conteúdo de informações, mas revela, em geral, padrões de crescimento, como também, pelo fato de reduzir a variação em tamanho (diâmetro) dentro de cada grupo, as diferenças de crescimento das árvores se tornam mais visíveis (ADAME *et al.*, 2014).

Desta forma, o objetivo deste estudo é o de verificar a existência de autocorrelação temporal do crescimento em dois períodos consecutivos (1984-1994 e 1994-2004) e de identificar padrões de taxas de crescimento diamétrico em relação a grupos de espécies de espécies.

## 2 Metodologia

### 2.1 Descrição da área de estudo e dos dados

A área de estudo está localizada na área florestal da empresa Jari Florestal S.A., pertencente ao Grupo Jari, na localidade Morro do Felipe, município de Vitória do Jari - AP. Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima na região é do tipo Am (GOMIDE, 1997). De acordo com Azevedo *et al.* (2012), a precipitação média anual é de 2.234 mm. A vegetação é do tipo Floresta Tropical de Terra Firme ou Floresta Ombrófila Densa (VELOSO *et al.*, 1991).

Este estudo foi elaborado com dados do experimento originalmente denominado Projeto Bom Manejo (Embrapa/CIFOR/ITTO), desenvolvido pela Embrapa Amazônia Oriental. O experimento da Embrapa foi instalado em uma área de 500 ha, no ano de 1983. O mesmo monitorou a floresta entre os anos de 1984 a 2011 e as medições ocorreram em oito ocasiões, em 1984, 1986, 1988, 1990, 1994, 1996, 2004 e 2011. Por ocasião da exploração florestal em 1985, foram reduzidos cerca de 15% do volume comercial das árvores com DAP  $\geq 60$  cm, onde foram exploradas em média, cerca de três árvores por hectare. Em termos de volume, esta redução correspondeu a 26 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>.

Para estudar o desenvolvimento da floresta e as análises deste estudo, foram instaladas três parcelas permanentes quadradas, medindo 100 m  $\times$  100 m (1,00 ha), onde foram medidos todos os indivíduos arbóreos com DAP  $\geq 20,0$  cm (AZEVEDO *et al.*, 2012).

### 2.2 Incremento periódico anual e autocorrelação

O incremento periódico anual em diâmetro (IPA DAP) em cm ano<sup>-1</sup> foi avaliado entre dois períodos consecutivos de 1984 a 1994 e de 1994 a 2004. O incremento diamétrico foi obtido pela diferença entre as medidas de diâmetro das árvores com DAP  $> 20$  cm, empregando a seguinte fórmula:  $(DAP_{final} - DAP_{inicial}) / T$ , em que  $T$  se refere ao tempo entre as duas medições.

Com o objetivo de analisar a contribuição relativa do DAP e do IPA DAP na composição do IPA DAP futuro, por meio dos coeficientes parciais da regressão, foi empregado o uso de análise de regressão múltipla, conforme indicado no trabalho de Brien *et al.* (2006). A equação empregada foi:  $IPA\ DAP_{1994-2004} = f(DAP, IPA\ DAP_{1984-1994})$ . As análises de regressão foram realizadas com o auxílio do Microsoft Excel 14.0 (Office 2010).

Para avaliar o padrão de crescimento entre as árvores, foi utilizada a correlação de Pearson, entre o IPA DAP médio do primeiro período (1984-1994), com o do segundo (1994-2004), discriminados em classes diamétricas de 10 cm e também para a floresta toda, ou seja, considerando todas as classes diamétricas de forma conjunta. Foram utilizadas as seguintes classes diamétricas: 20 a 29,99 cm, 30 a 39,99 cm, 40 a 49,99 cm, 50 a 59,99 cm e  $\geq 60$  cm. Esta avaliação também resultará na verificação da autocorrelação de crescimento diamétrico nesta floresta (BRIEN *et al.*, 2006).

### 2.3 Agrupamento de espécies

O agrupamento das espécies baseou-se na metodologia proposta por Alder et al. (2002), que consiste em construir um gráfico de dois eixos relacionando o incremento diamétrico médio e o diâmetro percentil 0,95 (Figura 1).

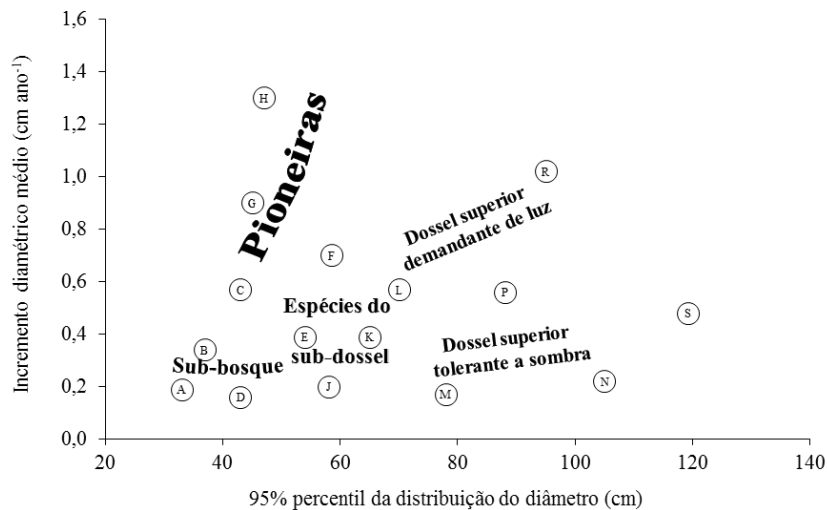


FIGURA 1 - Gráfico de dois eixos proposto por Alder *et al.* (2002), para o agrupamento de espécies.

Algumas etapas devem ser cumpridas até que se chegue à construção deste gráfico:

- 1) Definir o número de grupos;
- 2) Atribuir valores médios de incremento diamétrico e de diâmetro representativos de cada grupo;
- 3) Calcular os centroides de cada grupo, empregando uma correção de escala, dando um peso igual ao intervalo de incremento de 0 a 1 cm ano<sup>-1</sup> e faixa de diâmetro de 0-100 cm. Isso se faz necessário, pois, se utilizado diretamente o diâmetro e o incremento diamétrico em suas escalas reais, a distância entre os dois pontos dependeria principalmente do diâmetro, tendo pouco efeito do incremento.
- 4) Copiar os valores dos centroides e emprega-los como novos pontos, sendo este processo repetido de 5 a 6 vezes ou até que os centroides dos grupos de espécies se estabilizem.
- 5) Calcular a distância euclidiana entre o centroide de cada grupo com os dados de cada espécie e indicar o grupo de menor distância o qual a espécie se encaixa.
- 6) Elaborar o gráfico de dispersão dos dados, onde se podem visualizar os grupos formados.

O algoritmo deste processo foi realizado no Microsoft *Excel* 14.0 (Office 2010).

A densidade base da madeira ( $\rho$ ), que é específica para cada espécie, pode auxiliar na definição de grupos ecológicos, pois a mesma também se relaciona com as taxas de crescimento das espécies (ALDER *et al.*, 2002). Para auxiliar as discussões frente aos

grupos estabelecidos foi realizada as informações de Fearnside (1997), que classificou a densidade de madeira de várias espécies brasileiras.

A análise de variância e o teste Tukey serão empregados para verificar as diferenças de crescimento diamétrico entre os grupos formados. O teste Kolmogorv-Smirnov foi utilizado para avaliar a normalidade dos dados.

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Autocorrelação temporal

A taxa de crescimento individual das árvores em uma floresta é representada pelo IPA DAP. A Tabela 1 mostra as informações sobre esta variável registrada na área de estudo no período estudado.

Tabela 1 - Medidas de tendência central e de dispersão para o incremento periódico anual (IPA DAP), registrado para os intervalos de medição e para o período total do estudo (1984-2004)

Período	Ni	IPA DAP Médio	DP	C.V. (%)	V	IPA DAP Mediana	IPA DAP Moda
1984-1994	394	0,27	0,22	81,50	0,050	0,23	0,15
1994-2004	394	0,23	0,22	96,48	0,050	0,16	0,00
1984-2004	394	0,25	0,21	82,22	0,043	0,21	0,13

Nota: Ni = número de indivíduos, os incrementos periódicos anuais (IPA DAP) estão na unidade  $\text{cm ano}^{-1}$ , DP = desvio padrão em  $\text{cm ano}^{-1}$  e V = variância em  $\text{cm ano}^{-1}$ .

O coeficiente de variação para variável IPA DAP em intervalos de medição de 10 anos variou de 81,50% e 96,48%, e de 82,22% para o período de 20 anos.

A mediana do incremento periódico anual para o período total (1984-2004) foi de 0,21  $\text{cm ano}^{-1}$  e entre os intervalos, variou de 0,16  $\text{cm ano}^{-1}$  a 0,23  $\text{cm ano}^{-1}$ . A mediana do IPA DAP foi inferior à média em todos os intervalos (Figura 1). Já a moda, que é uma medida que indica uma tendência central, que aponta o valor observado com mais frequência em um conjunto de dados, foi igual a zero para o segundo período (1994-2004), mostrando que muitos indivíduos não apresentaram nenhum crescimento nesse intervalo de 10 anos (Tabela 1).

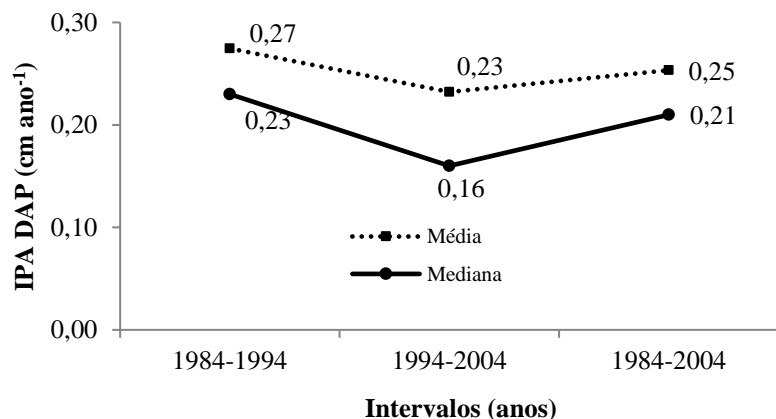


Figura 1 - Mediana e média aritmética do IPA para os diferentes períodos de medição, registrados no estrato arbóreo da Floresta Ombrófila Densa, localizada em Vitória do Jari-AP.

O IPA DAP médio para o intervalo de 1984-2004 foi de 0,25 cm ano<sup>-1</sup> e o IPA DAP mediano foi de 0,21 cm ano<sup>-1</sup> (Figura 1) para um período de 20 anos. Esses valores se aproximam muito dos resultados relatados pela literatura para florestas naturais, conforme se pode visualizar na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores médios de incremento periódico anual (IPA DAP), para diferentes formações florestais

Tipologia florestal- Local	Intervalo (anos)	IPA DAP	Fonte
Floresta tropical (pós-exploração)- PA	8	0,220	Carvalho <i>et al.</i> , 2004
Floresta tropical (pós-exploração) – Costa Rica	8	0,240	Vaca, 2004
Floresta tropical (pós-exploração)- PA	13	0,300	Silva <i>et al.</i> , 1995
Floresta tropical-Costa Rica	13	0,265	Lieberman <i>et al.</i> , 1985
Flona Tapajós - PA	21	0,205	Oliveira, 2005
Floresta ombrófila mista- PR	21	0,250	Schaaf <i>et al.</i> , 2005

Nota: IPA DAP= incremento periódico anual médio em diâmetro em cm ano<sup>-1</sup>.

Na Figura 2 estão os resultados por classe diamétrica para o período de 20 anos. Considerando a mediana dos dados como base, observa-se que o padrão de crescimento das árvores de 20 a 59,99 cm de diâmetro é muito semelhante, variando de 0,20 cm ano<sup>-1</sup> a 0,21 cm ano<sup>-1</sup>. Para árvores mais grossas, o IPA médio foi de 0,26 cm ano<sup>-1</sup>. Porém, ao considerarmos a média aritmética, os valores oscilam um pouco mais, variando em torno de 0,26 cm ano<sup>-1</sup> entre as classes diamétricas de 20 a 59,99 cm e de 0,32 cm ano<sup>-1</sup> para diâmetros iguais ou maiores do que 60 cm.

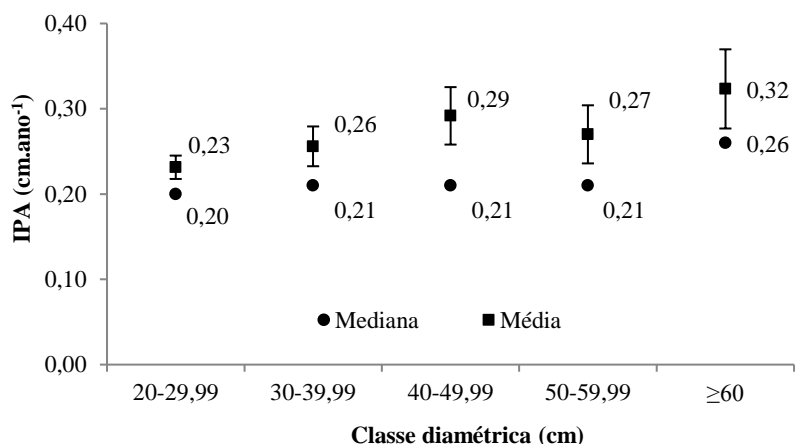


Figura 2 - Mediana e média aritmética do IPA para as diferentes classes diamétricas para o período de 1984 a 2004, registrados no estrato arbóreo da Floresta Ombrófila Densa, localizada em Vitória do Jari-AP.

A mediana é uma medida de tendência central mais eficiente que a média aritmética quando os dados não possuem uma distribuição normal (GHIMIRE, 2013). Como a distribuição dos incrementos diamétricos do período total (1984-2004) não segue tal distribuição, utilizou-se a mediana para as análises seguintes.

A análise de regressão múltipla que avaliou a contribuição relativa do DAP e do IPA DAP, em relação à composição do IPA DAP futuro (1994-2004), apontou que a taxa de crescimento do primeiro período (1984-1994) tem muito mais influência do que o DAP. A Tabela 3 mostra os resultados desta análise, onde, para cada classe diamétrica foi gerada uma regressão e copiados os seus coeficientes na tabela, para avaliação. Os dados que aparecem na linha do total correspondem à regressão geral com todas as classes diamétricas, as demais linhas trazem informações da regressão para cada classe diamétrica de forma individual.

Os coeficientes parciais de regressão calculados para o IPA DAP foram todos significativos ( $\alpha = 0,05$ ) e apresentam valores muito superiores aos detectados para o DAP. O contrário ocorreu com os coeficientes parciais do DAP, que só foi significativo na primeira classe diamétrica (20 – 29,99 cm) e com um nível de significância próximo do limite aceitável para ser considerado significativo. Isto indica que a taxa de crescimento do segundo período (1994-2004) tem muito mais influência do IPA DAP do primeiro período (1984-1994) do que o DAP. Desta forma, pode-se inferir que a autocorrelação do incremento diamétrico é um fator importante no crescimento das árvores. Brien *et al.* (2006), também chegaram a esta mesma conclusão em um estudo realizado em uma floresta natural boliviana.

Tabela 3- Coeficientes de regressão que mostram a contribuição relativa do DAP e do incremento na taxa de crescimento futuro

Classe diamétrica (cm)	N° de indivíduos	Coeficientes parciais da regressão			
		DAP	<i>p</i> -valor	IPA DAP	<i>p</i> -valor
20-29,99	198	0,007	0,046	0,687	0,000
30-39,99	90	-0,008	0,190	0,694	0,000
40-49,99	41	0,000	0,970	0,945	0,000
50-59,99	36	0,005	0,588	0,776	0,000
≥ 60	29	0,005	0,339	0,776	0,000
TOTAL (≥ 20)	394	0,001	0,064	0,726	0,000

Já a análise de regressão, realizada no Microsoft *Excel*, dos incrementos diamétricos entre o primeiro e o segundo períodos, ou seja, IPA DAP (1984-1994) e IPA DAP (1994-2004) podem ser visualizadas na no gráfico que avalia a associação entre as duas variáveis (Figura 3).

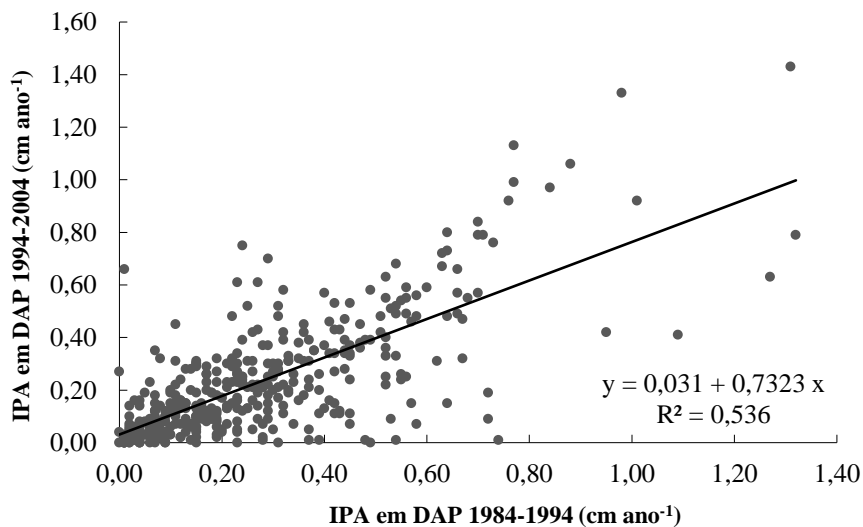


Figura 3 – Regressão linear entre os períodos de crescimento em diâmetro analisados (1984-1994 e 1994-2004), em um estrato de Floresta Ombrófila Densa, localizada no município de Vitória do Jari-AP.

O ajuste de uma equação linear entre os períodos de crescimento diamétrico avaliados (1984-1994 e 1994-2004) indicou um coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,536$ ),



justificando que o crescimento no segundo período (1994-2004) é explicado em 53,6% pelo crescimento do primeiro período (1984-1994). Ou seja, uma variação de crescimento no IPA de 1984-1994, corresponderia a uma mudança no IPA de 1994-2004 de mesma grandeza. Os dois coeficientes de regressão são significativos estatisticamente a  $\alpha = 0,05$  (Tabela 4).

Tabela 4 – Coeficientes e parâmetros estatísticos estimados para a regressão entre os dois períodos de crescimento avaliados (1984-1994 e 1994-2004)

Variável	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	Valor de p
<b>Interseção</b>	0,0310	0,0122	2,5455	0,0113
<b>IPA (1984-1994)</b>	0,7323	0,0344	21,2862	0,0000

Em um estudo em uma floresta natural na Costa Rica, foi calculado um  $R^2$  entre períodos de incrementos subsequentes de 0,546 (ALDER, 1997), ou seja, muito similar ao encontrado no presente estudo.

A correlação do crescimento, bem como o padrão de crescimento diamétrico nesta floresta foi avaliada pela correlação de Pearson. A correlação de Pearson avaliou o IPA DAP médio do primeiro período (1984-1994), com o do segundo (1994-2004), por classes diamétricas e para toda a floresta. Os resultados podem ser observados na Figura 4.

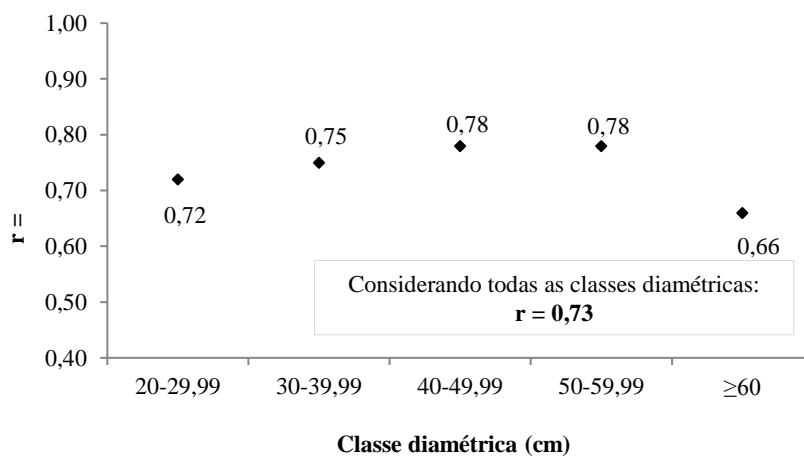


Figura 4 – Coeficientes de correlação de Pearson (r) por classe diamétrica e para todas as classes diamétricas consolidadas, entre o IPA DAP dos períodos de 1984-1994 e 1994-2004, registrados no estrato arbóreo da Floresta Ombrófila Densa, localizada em Vitória do Jari-AP.

Pode-se notar que os coeficientes de correlação foram maiores conforme a classe diamétrica também aumentava, com exceção para a última classe diamétrica ( $\geq 60$  cm), que apresentou uma correlação menor cerca de 15,4% em relação a classe diamétrica anterior. Conforme a pesquisa de Brienen *et al.* (2006), a detecção de correlações positivas entre as classes diamétricas indica que, um mesmo padrão de crescimento tende

a ser esperado na classe imediatamente subsequente. Isto pode ser comprovado pelo aumento dos valores das correlações em relação ao aumento do tamanho das árvores. Fato diferente ocorre na última classe diamétrica, apontando que o padrão de crescimento para este tamanho de árvores é diferente das demais classes diamétricas. Essa diminuição do crescimento autocorrelacionando em árvores de tamanhos maiores também foi detectada no trabalho de Brien *et al.* (2006).

As correlações por classes diamétricas indicam padrões semelhantes entre as classes de 20 a 59,99 cm e diferente para as árvores iguais ou maiores do que 60 cm. De mesma maneira, a mediana do incremento diamétrico (Figura 2) apontou tendência semelhante.

Uma grande parte desta variação de correlações, provavelmente pode ser explicada pelas diferenças temporais no padrão de crescimento das árvores. As árvores juvenis tendem a apresentar fortes autocorrelações de crescimento, pois estão ligadas temporalmente a variação da disponibilidade de luz, devido à dinâmica do dossel, enquanto que as árvores maiores são influenciadas pelas características do ambiente, como a infestações de cipós, que podem causar as diferenças de crescimentos entre as árvores (BRIEN *et al.*, 2006).

A autocorrelação entre os dois períodos avaliados (1984-1994 e 1994-2004) para toda a floresta foi de  $r = 0,73$ , sendo considerado um valor alto. Brien *et al.* (2006), também encontraram uma correlação semelhante, com  $r = 0,75$  entre as taxas de crescimento em uma floresta boliviana.

A autocorrelação temporal é um fator que deve ser considerado quando no uso da modelagem do crescimento, para se evitar superestimativas, pois a variação de crescimento existente entre as classes diamétricas pode afetar as estimativas de crescimento, principalmente das árvores de grande porte. Muitos autores reconhecem esse problema e, portanto, acabam utilizando as taxas de crescimento acima da média (CLARK e CLARK, 1992; O'BRIEN *et al.*, 1995, LAURANCE *et al.*, 2004). No entanto, Brien *et al.* (2006), mencionam que ainda não está muito claro em quais valores acima da média deverão ser aplicados e implementados as informações do crescimento autocorrelacionado, para ajudar na obtenção de dados simulados mais realistas.

### **3.2 Agrupamento de espécies**

Foram definidos seis grupos de espécies para as 119 espécies da área de estudo (Figura 5). Os grupos são: sub-bosque, tolerante à sombra, emergentes, demandantes de luz, dossel superior e pioneiras.

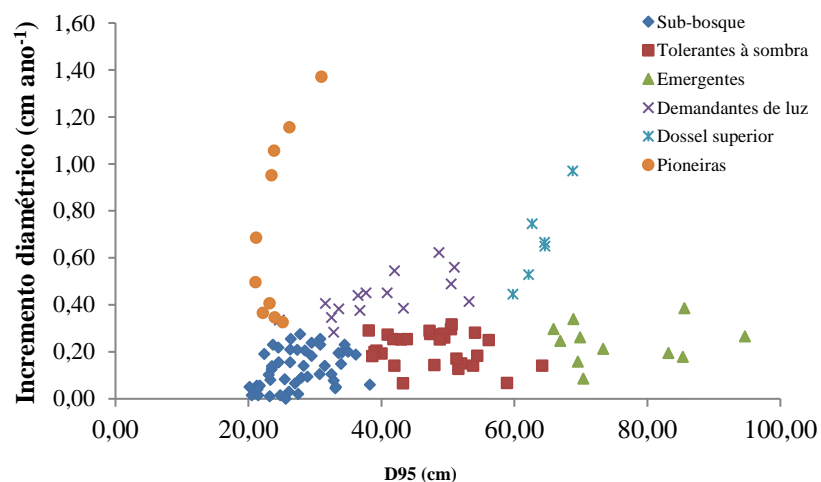


Figura 5 – Agrupamento das espécies em seis grupos de espécies em uma Floresta Ombrófila Densa, localizada em Vitória do Jari, AP.

Na Tabela 5 estão apresentadas as características de cada grupo de espécies de acordo com o gráfico proposto por Alder *et al.* (2002) e as espécies representativas de cada grupo agrupadas com os dados desta pesquisa.

Tabela 5 – Resumo dos seis grupos de espécies e as espécies representativas de cada grupo

Grupos	T	A	Espécies	Família	IPA DAP	D95
Sub-bosque (G1)	Baixa	Não	<i>Diospyros vestita</i>	Ebenaceae	0,14	31,50
			<i>Myrciaria floribunda</i>	Myrtaceae	0,16	24,57
Tolerantes à sombra (G2)	Baixa	Não	<i>Geissospermum sericeum</i>	Apocynaceae	0,17	51,30
			<i>Pouteria bilocularis</i>	Sapotaceae	0,25	43,88
Emergentes (G3)	Alta	Sim	<i>Dipteryx odorata</i>	Fabaceae	0,25	66,93
			<i>Goupia glabra</i>	Celastraceae	0,18	85,34
Demandantes de luz (G4)	Alta	Não	<i>Dialium guianense</i>	Fabaceae	0,44	36,50
			<i>Vatairea paraensis</i>	Fabaceae	0,39	43,32
Dossel superior (G5)	Alta	Sim	<i>Endopleura uchi</i>	Humiriaceae	0,65	64,59
			<i>Luehea grandiflora</i>	Fabaceae	0,67	64,55
Pioneira (G6)	Alta	Não	<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	0,95	23,50
			<i>Macoubea guianensis</i>	Apocynaceae	1,16	26,20

Nota: T= Taxa de incremento diamétrico (alta ou baixa), A= atingem grandes diâmetros (sim ou não), IPA DAP= incremento diamétrico médio (cm ano<sup>-1</sup>), D95 = diâmetro 95% percentil.

As principais características dos grupos e médias das variáveis: incremento diamétrico e diâmetro percentil (0,95) podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Características dos grupos de espécies

G	Nome	Ni	Ni (%)	Ne	D95	DP	IPA	DP
1	Sub-bosque	100	25,38%	48	27,63	4,67	0,13	0,0804
2	Tolerantes a sombra	184	46,70%	29	47,83	6,58	0,21	0,0702
3	Emergentes	46	11,68%	11	75,80	9,65	0,24	0,0869
4	Demandantes de luz	31	7,87%	15	39,72	8,36	0,43	0,0911
5	Dossel superior	23	5,84%	6	63,76	3,04	0,67	0,1815
6	Pioneiras	10	2,54%	10	24,15	2,90	0,72	0,3861
	Total	394	100%	119				

Nota: G= nº do grupo de espécies, Ni= nº de indivíduos, Ne= nº de espécies, D95 = diâmetro percentil a 95%, DP= desvio padrão, IPA = incremento periódico anual em diâmetro em cm ano<sup>-1</sup>.

As características ecológicas dos grupos de espécies formados neste estudo parecem ser compatíveis com os grupos de espécies gerais propostos por Fafrichon (1994) em uma floresta na Guiana Francesa, com o trabalho de Orellana (2014) em uma floresta ombrófila mista no sul do Brasil e com Alder *et al.* (2002) em um estudo em florestas tropicais. Estes pesquisadores empregaram nomenclaturas e definições similares para os grupos de espécies de espécies, assim como neste estudo.

A densidade base da madeira ( $\rho$ ), que é específica para cada espécie, pode auxiliar na definição de grupos ecológicos, pois a mesma também se relaciona com as taxas de crescimento das espécies (ALDER *et al.*, 2002). Fearnside (1997) classificou a densidade da madeira de várias espécies brasileiras e o resultado de sua pesquisa embasará as discussões seguintes.

A taxa de crescimento em torno de 0,13 a 0,21 cm ano<sup>-1</sup>, características do grupo 1 (sub-bosque) e do grupo 2 (tolerantes à sombra), resultam em valores de densidade de madeira mais elevados. A própria localização das árvores destes grupos promove a um crescimento mais lento, pois as mesmas estão encobertas por outras árvores, o que dificulta o acesso à luz, diminuindo o crescimento. Esses grupos incluem algumas árvores de madeira pesadas, como a *Eschweleira amazônica* ( $\rho = 0,90$ ), *Brosimum guianensi* ( $\rho = 0,96$ ) e *Pouteria macrocarpa* ( $\rho = 0,90$ ).

As árvores do grupo 3 (emergentes) possuem um crescimento ligeiramente maior (0,24 cm ano<sup>-1</sup>) do que os grupos 1 e 2, com a diferença de apresentarem diâmetros mais elevados. A densidade de madeira para as espécies emergentes é classificada como média. Exemplos são: *Brosimum parinarioides* ( $\rho = 0,58$ ) e *Ocotea petalanthera* ( $\rho = 0,70$ ).

O crescimento médio do grupo 4 (0,43 cm ano<sup>-1</sup>), é característico das árvores demandantes de luz. Este grupo parece apresentar a densidade de madeira mais baixa para árvores que mais exigem luz. Ex.: *Vochysia osbcura* ( $\rho = 0,47$ ).

O grupo 5, que incluem as árvores do dossel superior, apresentam um crescimento médio de 0,67 cm ano<sup>-1</sup>. De crescimento rápido, com diâmetros em torno de 64 cm, possuem uma densidade baixa. Como exemplo, podemos citar a *Luehea grandiflora* ( $\rho = 0,50$ ).

As árvores pioneiras (G6), são as que apresentam as maiores e mais rápidas taxas de crescimento (0,72 cm ano<sup>-1</sup>), com madeira de baixa densidade que, segundo Alder et al. (2002), são árvores com expectativa curta, de 20 a 50 anos. As espécies mais comuns observadas nesse grupo são: *Tapirira guianensis* ( $\rho = 0,50$ ) e *Parkia nitida* ( $\rho = 0,40$ ).

De maneira geral, os grupos de crescimento mais lento: sub-bosque (G1) e tolerantes à sombra (G2), apresentam madeiras mais pesadas e conseqüentemente, densidade de madeira mais elevadas. O grupo de crescimento ligeiramente superior aos grupos 1 e 2, que representa as espécies emergentes (G3), apresenta uma madeira de densidade média. As árvores que possuem crescimento mais rápido: demandantes de luz (G4), dossel superior (G5) e pioneiras (G6), apresentam densidade de madeira mais baixa. A amplitude do crescimento situa-se entre 0,2 a 0,72 cm ano<sup>-1</sup> para a maioria das espécies, diferindo um pouco apenas para as espécies pioneiras que apresentam crescimento de até 1,37 cm ano<sup>-1</sup>.

Foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov ( $\alpha = 0,05$ ) e os dados apresentaram uma distribuição normal. A análise da variância ( $\alpha = 0,01$ ) apontou que existe diferença significativa entre a média dos incrementos diamétricos nos diferentes grupos (Tabela 7).

Tabela 7 – Análise da variância do incremento diamétrico (cm ano<sup>-1</sup>) das espécies

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados médios	F	Prob >F
Tratamentos	5	4,43	0,89	46,83	0,000
Resíduo	113	2,14	0,02		
Total	118	6,57			

Nota: F= estatística F de Snedecor.

Dos seis grupos estabelecidos, apenas três apresentaram diferenças significativas no incremento diamétrico, conforme o teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ). A média dos grupos 1 (Sub-bosque), 2 (Tolerantes à sombra) e 3 (Emergentes), foram consideradas iguais estatisticamente. O mesmo ocorreu com a média do grupo 5 (Dossel superior) e o grupo 6 (Pioneiras). Apenas a média do grupo 4 (Demandantes de luz) foi considerada diferente de todos os grupos (Figura 6).

A variabilidade entre os grupos é calculada pelo quociente entre a soma dos quadrados dos tratamentos e a soma dos quadrados totais, que resulta em 0,67, ou seja, quer dizer que 67% da variação do crescimento das árvores seriam explicadas pelo agrupamento com seis grupos.

Observando a Figura 6, pode-se notar que existem exatamente dois grandes grupos, um formado pelas espécies que exigem menos luz (sub-bosque, tolerantes à sombra e emergentes) e outro pelas espécies exigentes por luz (dossel superior e pioneiras). Este resultado se aproxima dos grupos sugeridos por Swaine e Whitmore (1988), onde os autores separaram qualitativamente dois principais grupos ecológicos de espécies em florestas tropicais: as pioneiras das não-pioneiras (ou clímax). No entanto, percebe-se que existe um terceiro grupo que ecologicamente apresenta características não muito definidas

a exigência de luz, que apesar de apresentar um incremento médio diferente dos demais grupos, o mesmo poderia estar inserido tanto no primeiro grupo como no segundo.

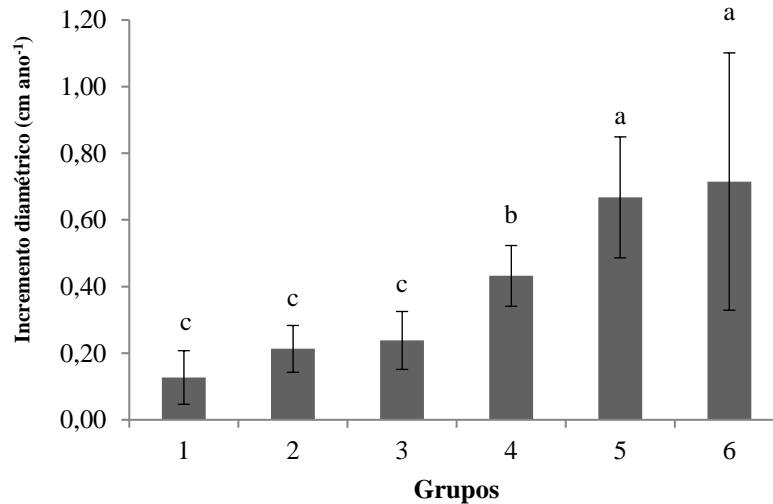


Figura 6 – Média do incremento diamétrico (cm ano<sup>-1</sup>) para cada grupo de espécies em um estrato de Floresta Ombrófila Densa, localizada no município de Vitória do Jari-AP. As barras correspondem ao erro padrão da variável.

Portanto, existem três grupos de espécies que possuem taxas de crescimento diferentes estatisticamente. O diâmetro percentil a 0,95 foi empregado somente na elaboração do gráfico de dois eixos no auxílio da definição dos grupos a serem formados e por isso, não foi aplicada a análise de variância desta variável.

A proporção do número de espécies é de 74% para o grupo das espécies que exigem menos luz, de 13% para o grupo das exigentes de luz e de também de 13% para o grupo das espécies demandantes de luz. A maioria das espécies de árvores na floresta tropical pertence ao grupo das não pioneiras, que são as espécies que demandam menos luz para se desenvolver (SWAINE e WHITMORE 1988), neste trabalho a mesma tendência foi detectada.

De forma geral, os grupos de espécies classificados pela metodologia deste agrupamento corroboraram com a natureza ecológica dos grupos de espécies já conhecidos na literatura, indicando que essa metodologia simples, é eficaz para o agrupamento de espécies em florestas tropicais.

As desigualdades de crescimento em alguns grupos revelam a necessidade de se considerar um padrão de crescimento diferenciado nas estimativas de produção de uma floresta, pois a floresta não possui um único padrão de crescimento, evitando desta forma, informações muito discrepantes da realidade.

Os resultados apontam a importância de se considerar a autocorrelação do crescimento, para auxiliar nas estimativas mais realistas da produção de florestas pelos modelos matemáticos.

## Conclusões

Foi detectada uma correlação linear de  $r = 0,73$  do incremento diamétrico entre os dois períodos avaliados de 1984-1994 e 1994-2004 e desta forma, pôde-se verificar a autocorrelação do crescimento.

Foi identificada a existência de padrões diferenciados de crescimento nos diferentes grupos de espécies. O agrupamento de espécies avaliou previamente seis grupos de espécies e apenas três médias de incrementos diamétricos foram consideradas diferentes estatisticamente, o que resultou na formação de apenas três grupos.

A metodologia utilizada na realização do agrupamento concorda com a natureza ecológica dos grupos de espécies já conhecidos na literatura, indicando que essa metodologia simples, é eficaz para o agrupamento de espécies em florestas tropicais.

Os resultados apontam a importância de se considerar a autocorrelação do crescimento e dos diferentes padrões de crescimento, na tentativa de explicar os fatores que interferem no crescimento de florestas tropicais naturais. Como também, vislumbram auxiliar nas estimativas mais realistas da produção de florestas pelos modelos matemáticos.

VATRAZ, S.; ALDER, D.; SILVA, J. N. M. Temporal autocorrelation of diameter increase and growth differences among groups of species in an Ombrophila Forest Densa. *Rev. Bras. Biom.* Lavras, v.36, n.1, p.56-73, 2018.

- **ABSTRACT:** *The objective of this study was to verify the existence of temporal autocorrelation between two consecutive measurements of diameter increment (1984-1994 and 1994-2004) and to identify patterns of diameter growth rates between different functional groups of species. The study was undertaken in the forest management area of Jari Forest S.A., Vitória do Jari – AP, Brazil. Three permanent plots were used of one hectare each (100 × 100 m), on which were measured all trees with DBH ≥ 20.0 cm. Pearson correlation was used to verify the existence of autocorrelation of growth, by diameter classes and functional groups. The grouping of species was based on building a two-axis graph relating the average diameter increment and the 95% percentile of the diameter distribution. Analysis of variance ( $\alpha = 0.01$ ) and the Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ) were used to check for differences between increments. The result of this analysis detected the temporal autocorrelation of growth and different growth patterns among some diametric classes. Grouping species was found to be a useful tool for identifying functional groups and the analysis indicated that there are growth differences among some groups.*

**KEYWORDS:** *Correlation, growth rate, species grouping, tropical forests.*

## Referências

ADAME, P.; BRANDEIS, T.J.; URIARTE, M. Diameter growth performance of tree functional groups in Puerto Rican secondary tropical forests. *Forest Systems*, n.23, v.1, p. 52-63, 2014.

ALDER, D.; OAVIKA, F.; SANCHEZ, M.; SILVA, J. N. M.; van der HOUT, P.; WRIGHT, H. L. Comparison of species growth rates using increment-size ordination. *International Forestry Review*, v.4, n.3, p.196-205, 2002.

ALDER, D.; SILVA, J. N. M. An empirical cohort model for the management of Terra Firme forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.130, n.1-3, p.141-157, 2000.

- ALDER, D. *Growth modelling of natural forest - CATIE*. Consultancy visit notes - Denis Alder - 17<sup>th</sup> to 23<sup>rd</sup> February 1997. Unpublished report and workbook, 1997.
- ALDER, D. Growth modelling for mixed tropical forests Oxford. University of Oxford. *Tropical forestry papers*, Oxford, v.30, p.1-231, 1995.
- ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. *Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest*. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1992.
- AZEVEDO, C. P., SILVA, J. N. M., SOUZA, C. R. de; SANQUETTA, C. R. Eficiência de tratamentos silviculturais por anelamento na floresta do Jari, Amapá. *Floresta*, Curitiba, v.42, n.2, p.315-324, 2012.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A.; DURING, H. J. Autocorrelated growth of tropical forest trees: unraveling patterns and quantifying consequences. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.237, n.1-3, p.179-190, 2006.
- BULLOCK, S. H.; TURNER, R. M.; HASTINGS, J. R.; ESCOTO-RODRIGUEZ, M.; LOPEZ, Z. R. A.; RODRIGUEZ-NAVARRO, J. L. Variance of size-age curves: bootstrapping with autocorrelation. *Ecology*, Washington, n.85, p. 2114-2117, 2004.
- CARVALHO, J. O. P.; SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C.A. Growth rate of a terra firme rain forest in Brazilian Amazonia over an eight-year period in response to logging. *Acta Amazonica*, Manaus, n.34, p.209–217, 2004.
- CASTRO, R.; SOARES, C.; LEITE, H.; SOUZA, A.; MARTINS, F.; NOGUEIRA, G.; OLIVEIRA, M.; SILVA, F. Competição em nível de árvore individual em uma floresta estacional semidecidual. *Silva Lusitana*, Oeiras, v.22, n.1, p-43-66, 2014.
- CLARK, D.A.; CLARK, D.B. Getting to the canopy: Tree height growth in a neotropical rain forest. *Ecology*, Washington, v.82, p.1460-1472, 2001.
- CLARK, D.A., CLARK, D.B. Life-history diversity of canopy and emergent trees in a neotropical rainforest. *Ecological Monographs*, Washington, v.62, p.315-344, 1992.
- DEANGELIS, D. L.; ROSE, K. A.; CROWDER, L. B.; MARSCHALL, E. A.; LIKA, D. Fish cohort dynamics: application of complementary modeling approaches. *American Naturalist*, Chicago, n.142, p.604-622, 1993.
- FEARNSIDE, P.M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.90, p.59-87, 1997.
- FOX, J. C.; ADES, P. K.; BI, H. Q. Stochastic structure and individual-tree growth models. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, n.154, p.261-276, 2001.
- FUJIWARA, M.; KENDALL, B. E.; NISBET, R. M. Growth autocorrelation and animal size variation. *Ecology Letters*, Washington, n.7, p.106-113, 2004.
- GHIMIRE, C. P.; BONELL, M.; BRUIJNZEEL, L. A.; COLES, N. A.; LUBCZYNSKI, M. W. Reforesting severely degraded grassland in the Lesser Himalaya of Nepal: effects on soil hydraulic and overland flow production. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, Washington, v.118, p.2528-2545, 2013.
- GOMIDE, G. L. A. *Estrutura e dinâmica de crescimento de florestas tropicais primárias e secundária no estado do Amapá*. 1997. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 1997.



- HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. Structure, dynamics, and equilibrium status of old-growth forest on Barro Colorado Island. In: Gentry AL (ed.) *Four neotropical rainforests* Yale University Press, New Haven and London, p.522-541, 1990.
- KAMMESHEIDT, L.; GAGANG, A. A.; SCHWARZWALLER, W.; WEIDELT, H. Growth patterns of dipterocarps in treated and untreated plots. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.174, p.437-445, 2003.
- KOHYAMA, T.; KUBO, T.; MACKLIN, E. Effect of autocorrelation on apparent growth rate variation in forest tree census data and an alternative distribution function of tree growth data. *Ecological Research*, Tokyo, n.20, p.11-16, 2005.
- LANDIS, R. M.; PEART, D. R. Early performance predicts canopy attainment across life histories in subalpine forest trees. *Ecology*, Washington, n.86, p.63-72, 2005.
- LAURANCE, W. F.; NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, S. G.; CONDIT, R.; D'ANGELO, S.; ANDRADE, A. Inferred longevity of Amazonian rainforest trees based on a long-term demographic study. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.190, p.131-143, 2004.
- LIEBERMAN, D.; LIEBERMAN, M.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. S. Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica. *Journal of Ecology*, London, n.73, p.915-924, 1985.
- O'BRIEN, S. T.; HUBBEL, S. P.; SPIRO, P.; CONDIT, R.; FOSTER, R. B. Diameter, height, crown, and age relationships in 8 neotropical tree species. *Ecology*, Washington, v. 76, p.1926-1939, 1995.
- OLIVEIRA, L. C. *Efeito da exploração da madeira e de diferentes intensidades de desbastes sobre a dinâmica da vegetação de uma área de 136 ha na Floresta Nacional do Tapajós*. 2005. 195f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- ORELLANA, E. *Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de Floresta de Araucária*. 2014. 154f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2014.
- ROITMAN, I. *Modelagem espacial e temporal na mata de galeria do gama- DF*. 2011. 145f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2011.
- SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SANQUETTA, C. R.; GALVÃO, F. Incremento diamétrico e em área basal no período 1979-2000 de espécies arbóreas de uma floresta ombrófila mista localizada no sul do Paraná. *Floresta*, Curitiba, v.35, n.2, p.271-290, 2005.
- SWAINE, M. D.; WHITMORE, T. C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio*, New York, v.75, p. 81-86, 1988.
- SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C. A.; ALMEIDA, B. F.; COSTA, D. H. M.; OLIVEIRA, L. C.; VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.71, p.267-274, 1995.

VACA, S. G. *Dinámica y edectos de um tratamiento silvicultural em El bosque secundário "Floencia", San Carlos, Costa Rica*. 2004. 141f. Magister Scientie (Programa de educacion para El desarrollo y La conservacion – Escuela de posgrado)-Centro agrônômico tropical de investigacion y enseñanza, Turrialba. 2004.

VANCLAY, J. K. Aggregating tree species to develop diameter increment equations for tropical rain forests. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.42, v.3-4, p.143-168, 1991.

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

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de recursos naturais e estudos ambientais, 1991. 124p.

WHITMORE, T.C. *Tropical rain forests of the Far East*. Oxford: Clarendon Press, 1984.

Recebido em 29.04.2016

Aprovado após revisão em 30.06.2017