

Efeito da elevação sobre a estrutura horizontal e riqueza da vegetação em planos de manejo na Amazônia

Daniel de Almeida Papa^{1,2}
Thais Hudari Abib¹
Lucas do Nascimento Ferreira¹
Evandro Orfanó Figueiredo²
Luiz Carlos Estraviz Rodriguez¹

¹ Universidade de São Paulo - USP/ESALQ
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil
thaisabib@gmail.com
ferreiraforestal@hotmail.com
lcer@usp.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Caixa Postal 321 – BR-364 - Km 14, Rio Branco - AC, Brasil
daniel.papa@embrapa.br
evandro.figueiredo@embrapa.br

Abstract. Understanding ecological variations in tropical forests is essential for defining conservation and management strategies. Changes in the composition and structure of forests, in relation to altitude, have been investigated on many tropical slopes. Although the degradation of its natural habitat continues, the Amazon biome represents 30% of the world's tropical forests and houses at least 10% of the known biodiversity. Considering the magnitude of Amazon diversity, this study evaluated the influence of terrain elevation on abundance, dominance and floristic richness of the primary vegetation in four neighboring farms (Caçula, Guarujá, Anhumas and Jaraguá) located in State of Acre, Brazil, by means of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) image. Data from each area were obtained from Acre Institute of the Environment's (IMAC) census inventory. Segmented linear regression models were used to observe the effect of the terrain elevation on the variables studied. The selection of models was made considering the Akaike's Information Criterion (AIC). For Guarujá and Jaraguá farms, the models indicated a relationship between altitude and ecological variation. On the other hand, in Caçula and Anhumas, it was not possible to observe the influence of terrain elevation on any variable. It is important to take into consideration the impact of break-points, applicable in Guarujá and Jaraguá farms, when creating altitude stratified limits to manage the landscape.

Palavras-chave: SRTM, forest management, Amazonia, slope, manjo florestal, declividade

1. Introdução

O bioma Amazônia representa 49,3 % do território nacional e cerca de 30% de todas as florestas tropicais remanescentes do mundo. Em função de sua abrangência geográfica de dimensão continental o bioma apresenta uma grande diversidade de ambientes, sendo composto por dezenas de grandes ecossistemas, tendo a floresta ombrófila densa e a floresta ombrófila aberta predominantes no bioma (SFB, 2010).

Estudos que caracterizem tal diversidade de ambientes são importantes para definição de estratégias de conservação e manejo do bioma amazônico (Gama, et al., 2005). Variáveis como composição florística, estrutura horizontal, vertical e distribuições diamétrica e espacial das árvores na floresta estão entre as principais formas de descrever a vegetação e vem sendo usadas em dezenas de estudos científicos (Conde e Tonini, 2013; Silva, et al., 2015; Souza e Souza, 2004; Figueiredo, et al., 2015). Esses estudos sugerem que a combinação de fatores ambientais climáticos como insolação, precipitação, umidade e temperatura, associados à variação topográfica, características edáficas e dinâmica florestal reúnem o leque de possíveis

causas, não antrópicas, geradoras dos padrões e processos relacionados à diversidade amazônica.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da cota altimétrica sobre a abundância, dominância e riqueza florística da vegetação primária em áreas destinadas ao manejo florestal, por meio de imagem SRTM e modelos de regressão linear segmentados.

2. Metodologia de trabalho

A área de estudo contempla quatro fazendas vizinhas, distantes 25 quilômetros entre si, localizadas no Estado do Acre, sendo as fazendas Caçula e Guarujá, no município de Sena Madureira; e Anhumas e Jaraguá, no município de Bujari (Figura 1). Em cada uma das fazendas foram selecionadas uma Unidade de Produção Anual (UPA), totalizando 3.021,19 hectares, sendo: Caçula - 500 hectares, Guarujá - 382,06 hectares, Anhumas - 684,13 hectares e Jaraguá - 1.455 hectares. A vegetação predominante na região de estudo é primária, ou seja, não sofreu corte seletivo nem raso. Três tipos de classes de vegetação se combinam nas fazendas: floresta aberta com bambus, floresta aberta com palmeiras e floresta densa (Figura 2). Conforme classificação climática de Koppen, as quatro fazendas estão no clima tipo A - tropical úmido, com subclima Af (clima tropical úmido, com o mês seco tendo uma precipitação média maior ou igual a 60 mm). Os solos da região estudada são predominantemente argilosos, bem drenados e com relevo suave ondulado à ondulado (Acre, 2006). A malha hidrográfica nas propriedades é formada por pequenos igarapés de regime semiperene (Figura 3).

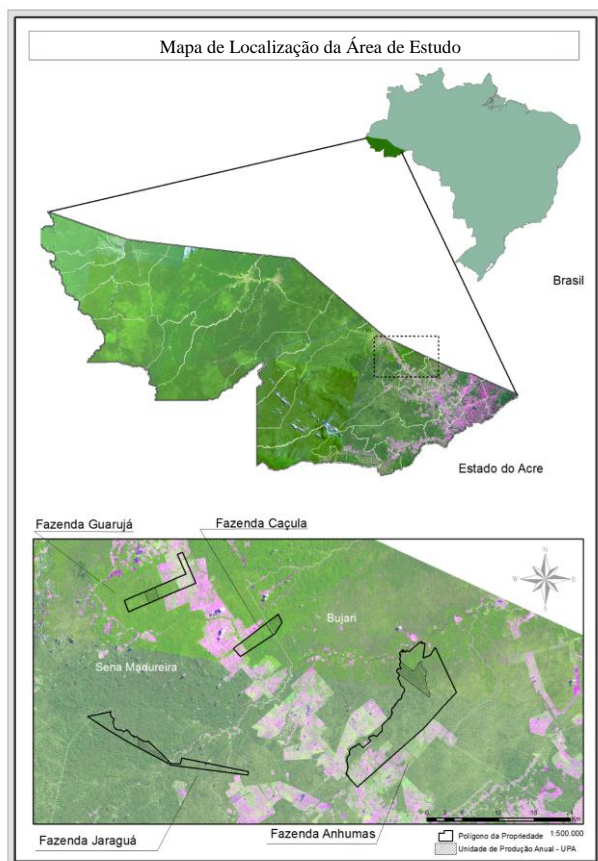


Figura 1. Localização da área de estudo.

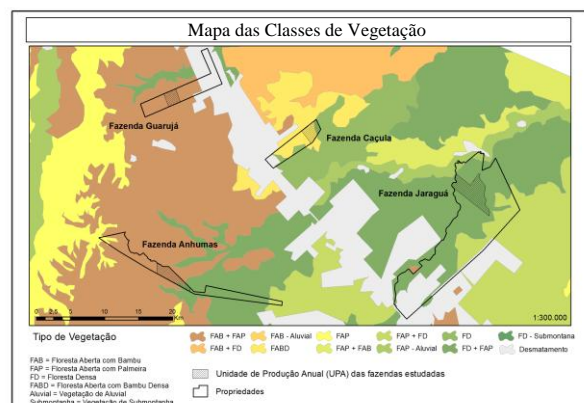


Figura 2. Classes de vegetação da área.

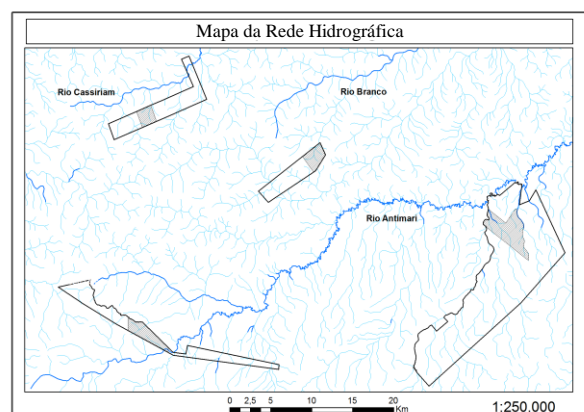


Figura 3. Malha hidrográfica da área.

2.1 Coleta de dados

A base de dados de cada fazenda foi oriunda do inventário censitário fornecido pelo órgão ambiental do Estado do Acre – Instituto de Meio Ambiente do Acre (IMAC). As

informações, por árvore, utilizadas neste trabalho foram: placa de identificação da árvore, nome científico, circunferência à altura do peito (CAP) com casca, altura comercial, volume comercial com casca, cota altimétrica e localização geográfica. O número de indivíduos por fazenda fornecido pelo órgão ambiental foi de: 1.878 na Caçula, 5.992 na Guarujá, 1.946 na Anhumas e 15.655 na Jaraguá, totalizando 25.471 indivíduos.

A topografia do terreno das fazendas foi obtida a partir de imagens de radar do Programa SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* - Missão Topográfica por Radar Interferométrico). A grade do *raster* SRTM tem células do tamanho de 30 x 30 metros (precisão horizontal) e variação vertical de um metro. A partir da imagem SRTM foram geradas duas informações: a cota altimétrica de cada árvore dos inventários das fazendas e um modelo digital de superfície (MDS). A determinação da cota altimétrica de cada árvore foi obtida com a ferramenta *identify* (ESRI, 2011), que transfere a cota altimétrica em que cada uma das árvores está localizada sobre no *raster* SRTM. O MDS (Figura 5) foi gerado a partir das curvas de nível por meio da função *countour*, seguida pela função *create tin* (ESRI, 2011).

Os dados de inventário das quatro fazendas foram submetidos à análise de consistência quanto à coerência das observações de campo, ordenados por cota e unidos em planilha eletrônica. Esta foi convertida em formato CSV (Valores Separados por Vírgula) para análise no programa R.

2.3 Análise de dados

Foram analisadas três variáveis da vegetação neste trabalho. A variável resposta abundância, componente da estrutura horizontal da floresta, representa a densidade de indivíduos inventariados em cada uma das UPAs (número de indivíduos por hectare, por cota).

$$\text{Abundância} = N_i / A \quad (1)$$

N_i = número de indivíduos total presentes na i -ésima cota

A = área da i -ésima cota

Dominância, a qual também compõe a estrutura horizontal da floresta, constitui a soma das áreas basais de indivíduos inventariados em relação à área da UPA de cada fazenda, por cota.

$$\text{Área basal (m}^2/\text{ha)} = \pi * \frac{DAP^2}{40.000} \quad (2)$$

$$\text{Dominância} = AB_t / A_c \quad (3)$$

AB_t = área basal total

A_c = área total da i -ésima cota

DAP = diâmetro à 1,30m de altura do solo

A riqueza florística descreve a dispersão das espécies sobre a área da UPA (número de espécies por cota, por hectare).

$$\text{Riqueza} = N_e / A \quad (4)$$

N_e = número de espécies na i -ésima cota

A = área da i -ésima cota

Os Modelos de Distribuição de Probabilidades são comumente usados para pesquisa científica e no gerenciamento de recursos naturais, principalmente para estudos ecológicos de populações (De Lima et al., 2015; De Lima et al., 2013). O uso desta técnica frequentemente apresenta bons ajustes em modelos que descrevem o comportamento dos dados. As técnicas de regressão segmentada podem ser aplicadas quando um único modelo linear não fornece uma adequada descrição dos dados, ou seja, quando a análise exploratória dos dados revela

que para diferentes intervalos de x , diferentes relações lineares podem ser ajustadas. Nestes casos é necessário um conjunto de submodelos para descrever o comportamento dos dados (Max e Burkhart, 1976).

As análises estatísticas foram realizadas no *software* R (R Core Team, 2016), com o *package segmented* (Muggeo, 2015) por meio de análise numérica. Este pacote permite estimar modelos de regressão com relacionamentos lineares por partes com um número fixo de pontos de quebra (*break-points*). A função *segmented* permite também obter a inclinação das retas e dos possíveis múltiplos pontos de quebra. O algoritmo utilizado pela *segmented* não é uma busca num grid (*grid-search*) e sim um procedimento iterativo (Muggeo, 2003), que precisa de valores iniciais (*start points*) apenas para o parâmetro correspondente ao ponto de quebra e por este motivo é bastante eficiente mesmo com vários pontos de quebra a serem estimados. A estimação do parâmetro realizada pelo pacote *segmented* é feita por meio do método dos Quadrados Mínimos Ordinários (QMO), em que, a função dos QMO é minimizada para se encontrar os valores dos parâmetros do modelo. Assim, é necessário minimizar a superfície de resposta para obter os parâmetros otimizados, pois a superfície de resposta é representada graficamente em função de dois ou mais parâmetros. O algoritmo da função *segmented* supõe a seguinte forma de representar o modelo com uma única covariável:

$$\beta_1 x_i + \beta_2 (x_i - \theta) + \quad (5)$$

onde $(x_i - \theta)_+ = (x_i - \theta) * I((x_i > \theta))$

- x_i é a covariável e o índice $i=1,2,\dots,n$ são as observações;
- $I(\cdot)$ é a função indicadora igual a 1 quando a condição é verdadeira;
- β_1 é a inclinação da primeira reta;
- β_2 é a diferença das inclinações;
- θ é o ponto de quebra.

A seleção dos modelos e estimativa dos parâmetros foi feita através do Critério de Informação de Akaike, que em inglês é designado pela sigla AIC – *Akaike's Information Criterion* (Akaike, 1983). O menor valor de AIC é o modelo com melhor desempenho. O estimador de AIC é obtido pela seguinte expressão:

$$\text{AIC} = -2 \log L + 2K \quad (6)$$

onde:

L é a verossimilhança maximizada do modelo e;
 K apresenta o número de parâmetros do modelo.

3. Resultados e discussão

Primeiramente foi realizada a análise exploratória dos dados com intuito na determinação de média e desvio padrão para cada uma das quatro fazendas (Tabela 1).

Tabela 1. Média e desvio padrão de abundância, dominância e riqueza, por fazenda.

Fazenda	Variáveis Resposta	Média	Desvio Padrão	Fazenda	Variáveis Resposta	Média	Desvio Padrão
Caçula	Abundância	4,09	1,66	Anhumas	Abundância	2,81	1,18
	Dominância	1,70	0,97		Dominância	1,29	0,60
	Riqueza	2,60	1,92		Riqueza	1,66	0,81
Guarujá	Abundância	16,58	4,29	Jaraguá	Abundância	9,14	3,38
	Dominância	5,58	1,98		Dominância	3,50	1,28
	Riqueza	6,86	5,60		Riqueza	2,06	1,60

Os dados da fazenda Guarujá apresentaram maior variância para todas as variáveis resposta analisadas, com valores de aproximadamente 8,4; 3,9 e 31,3 para abundância, dominância e riqueza florística, respectivamente. A fazenda Anhumas apresentou os menores valores de variância, sendo: 1,4; 0,4; 0,7, para as mesmas variáveis. Foram gerados modelos de regressão linear segmentados, utilizando a função *segmented*. Primeiro, um modelo de regressão linear simples é estimado e uma relação com pontos de quebra é posteriormente adicionada ao se reajustar o modelo global. Os gráficos abaixo (Figura 4) representam os modelos (mod.abund.c; mod.4.dom.c; mod.riq.c; mod.3.abund.g; mod.2.dom.g; mod.2.riq.g; mod.2.abund.a; mod.2.dom.a; mod.3.riq.a; mod.3.abund.j; mod.3.dom.j e mod.3.riq.j) com os menores valores de AIC para cada uma das 4 fazendas analisadas.

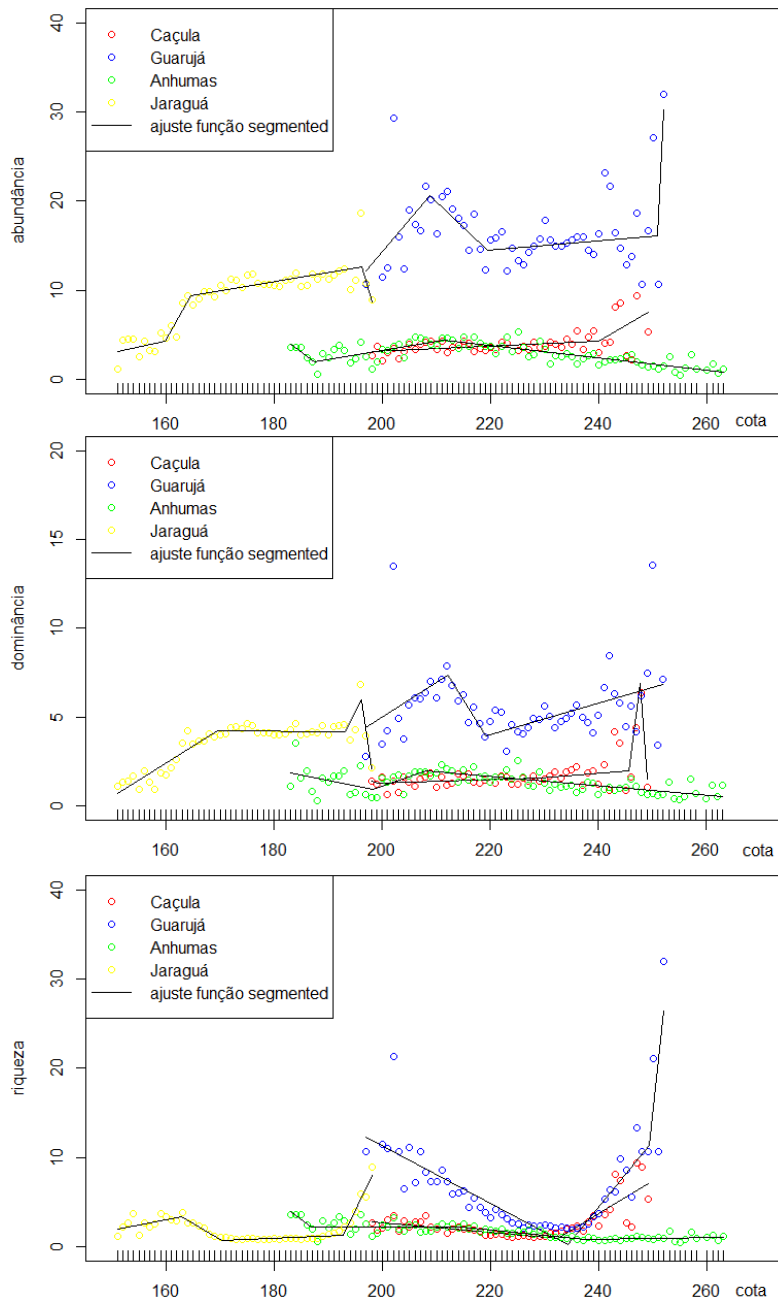


Figura 4. Ajuste dos modelos de regressão linear segmentados das variáveis resposta em função da preditora (cota).

Observa-se que os valores ao longo do eixo x (variação altimétrica) variaram entre as fazendas, sendo Jaraguá a que ocupa a região de menor altitude (intervalo de cota de 148 a 198) e a Anhumas, a região de maior altitude (181 a 270). As demais fazendas têm intervalos praticamente iguais, sendo de 198 m a 251 m para Guarujá e de 197 m a 250 m para Caçula.

Foi possível ajustar modelos de regressão linear segmentado para todas as fazendas analisadas. Por meio do gráfico de dispersão (Figura 4) foi possível observar dois tipos de comportamento: os modelos gerados para as fazendas Anhumas e Caçula tiveram um comportamento graficamente similar, ilustrado por uma reta aproximadamente paralela ao eixo x, enquanto nas fazendas Guarujá e Jaraguá, este efeito não foi observado, ficando evidente duas ou mais retas unidas por pontos de ligação. Para as fazendas Guarujá e Jaraguá, os modelos de regressão linear segmentado criados representaram uma relação em que foi evidente o efeito da cota sobre dominância, abundância e riqueza, enquanto nas fazendas Caçula e Anhumas, os modelos foram suficientemente explicativos quanto a ausência da influência da cota altimétrica sobre as variáveis resposta. Essa análise gráfica está refletida na Tabela 2, que mostra a diferença na inclinação das retas ($U_{i,x}$) entre os segmentos dos modelos com os melhores ajustes.

Tabela 2. Valores de parâmetro da diferença na inclinação das retas geradas para cada modelo de regressão linear segmentado com os menores AICs ($U_{i,x}$).

Fazenda	$U_{i,x}$	Caçula	Guarujá	Anhumas	Jaraguá
Abundância	U1.x	0,34	-1,29	0,53	0,92
	U2.x	nd	0,65	-0,17	-0,95
	U3.x	nd	12,32	nd	-2,36
Dominância	U1.x	0,12	-0,67	0,16	0,19
	U2.x	0,02	0,56	-0,13	0,61
	U3.x	2,03	nd	nd	-2,70
	U4.x	-6,53	nd	nd	nd
Riqueza	U1.x	0,42	1,09	0,43	-0,48
	U2.x	nd	4,69	-0,06	0,39
	U3.x	nd	nd	0,07	1,25

Conforme tabela 2 observa-se que nas fazendas Caçula e Anhumas, os valores de $U_{i,x}$ são menores ou próximos de 0,5 (em módulo) para as variáveis abundância, dominância e riqueza florística, exceto no último segmento da Fazenda Caçula para a variável dominância, em que há uma mudança muito brusca na inclinação da reta ($U_{4,x} = -6,53$). Nas fazendas Guarujá e Jaraguá, os valores da diferença na inclinação das retas segmentadas, em geral, foram maiores que 0,5. No caso da Guarujá, os dados da variável resposta apresentaram a maior variância conforme Figura 4 e os maiores valores de $U_{i,x}$ conforme Tabela 2, sendo esta a fazenda com mudanças mais bruscas no relacionamento das variáveis resposta com a preditora.

A Tabela 2 mostra que quanto maior a diferença na inclinação das retas ($U_{i,x}$), em valores absolutos entre os segmentos do modelo, há mudanças mais bruscas no relacionamento da variável resposta com a preditora. Neste sentido, pode-se inferir maior efeito da cota em relação à abundância, dominância e riqueza, nas fazendas Guarujá e Jaraguá, pois estas apresentam as maiores diferenças em $U_{i,x}$.

A Fazenda Anhumas apresentou os menores valores de $U_{i,x}$ para todas as variáveis resposta, enquanto a Fazenda Guarujá, os maiores. Isso também é observado os valores de

média das variáveis resposta ($\bar{x}_{\text{abund.A}} = 2,81$; $\bar{x}_{\text{abund.G}} = 16,58$; $\bar{x}_{\text{domin.A}} = 1,29$; $\bar{x}_{\text{domin.G}} = 5,58$; $\bar{x}_{\text{riquez.A}} = 1,66$; $\bar{x}_{\text{riquez.G}} = 6,86$).

4. Conclusões

O ajuste dos modelos mostrou que a variação da elevação do terreno influenciou a abundância, dominância e riqueza florística apenas para os dados do inventário das fazendas Guarujá e Jaraguá. Sugere-se para essas duas fazendas estratificar o componente arbóreo tendo os *break-points* como limites das cotas que separam estratos. Uma vez estratificada a vegetação, pode-se criar Unidades de Gestão Diferenciada (Molim e Amaral, 2015) que receberão técnicas de manejo ou conservação específicas para as estruturas horizontais e florísticas das respectivas UPAs.

Já para as Fazendas Caçula e Anhumas não houve influência da altimetria do terreno sobre a estrutura horizontal e riqueza da vegetação inventariada. Portanto, para estas, não justifica-se a criação de unidades de gestão diferenciadas da vegetação com base nesta variável.

É preciso ampliar a base de dados de inventários em projetos de manejo para investigar os motivos em que a elevação afeta as variáveis ecológicas na floresta Amazônia e como isso pode contribuir para melhorar as estratégias de manejo florestal no bioma.

5. Agradecimentos

Ao Instituto de Meio Ambiente do Estado do Acre – IMAC, pelos dados fornecidos referente aos planos de manejo florestal sustentável das fazendas estudadas.

6. Referencia bibliográfica

About the Amazon. Disponível em:

< http://wwf.panda.org/what_we_do/where_we_work/amazon/about_the_amazon/

Acre. Governo do Estado do Acre. **Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. Zoneamento ecológico-econômico.** Arquivos (Shapefile), 2006.

Akaike, H. Information measures and model selection. **International Statistical Institute**, Voorburg, v.44, p.277-291, 1983.

Condé, T. M.; Tonini, H. F. Fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Setentrional, Roraima, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 43(3), p. 247-260, 2013.

De Lima, R. A. F.; Batista, J. L. F.; Prado, P. I. Modeling Tree Diameter Distributions in Natural Forests: An Evaluation of 10 Statistical Models. **Forest Science**, v. 61, p. 320-327, 2015.

De Lima, R. A. F.; Prado, P.I.; Martini, A. M. Z.; Fonseca, L. J.; Gandolfi, S.; Rodrigues, R.R. Improving methods in gap ecology: revisiting size and shape distributions using a model selection approach. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, p. 484-495, 2013.

ESRI (2011). **ArcGIS Desktop: Release 10.3 Redlands**, CA: Environmental Systems Research Institute.

Figueiredo, S. M. de M.; Venticinque, E. M.; Figueiredo, E. O.; Ferreira, E.J. L. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45(2), p. 167 – 174, 2015.

Gama, J.R.V., Souza, A.L., Martins, A.L.S.S.V., Souza, D.R. Comparação entre florestas de várzea e de terra firme do Estado do Pará. **Rev. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.4, p.607-616, 2005.

Max, T.; Burkhart, H. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, v. 22, n. 3, p. 283-289, 1976.

Molin, J. P.; Amaral L. R.; Colaço A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo, 2015, 224 p. Editora Oficina de Texto 1ªed.

Muggeo, V.M.R. Estimating regression models with unknown break-points. **Statistics in Medicine**, v. **22**, p. 3055-3071, 2003.

Muggeo, V.M.R. **Regression Models with Breakpoints/Changepoints Estimation** (2015). Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/segmented/segmented.pdf>. Acessado em: 18. Nov.2016,

R Core Team (2016). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SFB. **Florestas do Brasil em resumo – 2010: dados de 2005 -2010.**/ Serviço Florestal Brasileiro. – Brasília: SFB, 2010. 152 p., il.

Silva, K. E, Souza, C. R., Azevedo, C. P. e Rossi, L. M. B. Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central. **Scientia. Forestalis.**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 193-201, mar. 2015.

Souza, D. R.; Souza, A. L. Estratificação Vertical em Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme não Explorada, Amazônia Central. **Rev. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.5, p.691-698, 2004.