



Ajuste e classificação do potencial volumétrico de *Lecythis lurida* (MIERS) MORI, Flona do Tapajós

Kleyton Kleber dos Santos CORRÊA^{1*}, João Ricardo Vasconcellos GAMA¹,
Renato Bezerra da SILVA-RIBEIRO¹, Lucas Cunha XIMENES¹

¹Laboratório em Manejo em Ecossistemas Florestais, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA Brasil.

*E-mail: kleyton.kleber@hotmail.com

Recebido em setembro/2017; Aceito em março/2018.

RESUMO: Objetivou-se ajustar modelos volumétricos e classificar o potencial volumétrico de madeira de *Lecythis lurida* (Miers) Mori na Floresta Nacional do Tapajós. Os dados são oriundos de duas Unidades de Produção Anual (UPAs) da área de manejo florestal da Cooperativa Mista da FLONA do Tapajós (COOMFLONA). Foram ajustados modelos volumétricos e escolhido o melhor com base no $R^2_{aj.}$, $Syx\%$, significância dos parâmetros e análise gráfica de resíduos. Para a classificação do potencial volumétrico pela estratificação volumétrica, usou-se a distância euclidiana simples como medida de dissimilaridade e o método Ward como algoritmo de agrupamento. A análise discriminante foi aplicada para verificar a veracidade da distinção e da classificação das Unidades de Trabalho (UTs) em classes homogêneas de estoque volumétrico. Os modelos de dupla entrada foram estatisticamente superiores aos de simples entrada, sendo o de Schumacher-Hall o melhor modelo, com $R^2_{aj.}$ de 81,62% e $Syx\%$ de 16,91%. A análise discriminante indicou que a classificação das UTs nas classes de estoque volumétrico foi 100% correta em que a análise multivariada possibilitou a estratificação da área de exploração em três classes de produtividade para *L. lurida*, contribuindo para melhor planejamento das atividades florestais que envolvam esta espécie.

Palavras-chave: manejo florestal comunitário, estoque produtivo, análise multivariada.

Fitting and classification of volumetric potential for *Lecythis lurida* (MIERS) MORI, Tapajós National Forest

ABSTRACT: It was aimed to fit volumetric models and classify the volumetric potential of *Lecythis lurida* (Miers) Mori in Tapajós National Forest. The data come from two Annual Production Units (UPAs) of the forest management area of Mixed Cooperative of FLONA Tapajós (COOMFLONA). Volumetric models were fitted and the best one was chosen based on $R^2_{aj.}$, $Syx\%$, significance of the parameters and graphical analysis of residues. For the classification volumetric potential, the simple Euclidean distance was used as a measure of dissimilarity and the Ward method as clustering algorithm. The discriminant analysis was applied to verify veracity of the distinction and classification of Work Units (UTs) in homogeneous classes of volumetric stock. The double-entry models were statistically superior to the single-entry, with the Schumacher-Hall model resulting as the best, with $R^2_{aj.}$ of 81.62% and $Syx\%$ of 16.91%. The discriminant analysis indicated that the classification of UTs in the volumetric stock classes was 100% correct, in which the multivariate analysis allowed the stratification of the exploitation area in three classes of productive capacity for *L. lurida*, contributing to the better planning the forest activities involving this species.

Keywords: Community forest management, productive stock, multivariate analysis.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor madeireiro vem crescendo significativamente e se destaca como importante e promissora atividade econômica, principalmente, pelo potencial para exploração madeireira sustentável que as florestas tropicais oferecem, mais precisamente da Floresta Amazônica (TAKEDA, 2015).

O Manejo Florestal Sustentável (MFS) surgiu como a principal alternativa econômica para assegurar a conservação das florestas tropicais, em que se torna necessário o conhecimento sobre a estrutura e o estoque corrente por meio da execução de inventários florestais (ROTTA et al.; 2006; SILVA; SANTANA, 2014).

Nas últimas décadas, as pesquisas em manejo de florestas foram realizadas no sentido de tentar minimizar a produção

de resíduos, aumento da produtividade e menor impacto a vegetação remanescente (BONA et al., 2015).

O potencial produtivo de uma floresta é avaliado pelo estoque de madeira disponível representado pela variável volume, obtida por meio de modelos estatísticos que devem ser ajustados às características do povoamento (SILVA et al., 2011). A partir de um conjunto de dados que envolvem variáveis medidas em campo, como o volume real, o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura, os modelos são ajustados por meio de regressão, sendo selecionado aquele mais apropriado com base em testes estatísticos (RAMOS, 2012).

Diante das variáveis mensuráveis que as florestas apresentam, a estatística multivariada se destaca como uma importante ferramenta a ser aplicada no campo das ciências

florestais, servindo como método para atingir o conhecimento que se faz necessário acerca da sustentação e conservação das florestas (ALBUQUERQUE, 2013).

Entre as técnicas multivariadas aplicadas para florestas naturais inequidistantes destacam-se análises de agrupamento e discriminantes, em que a primeira cria grupos a partir das informações contidas em uma matriz de dados multivariados e a segunda aloca indivíduos em classes ou agrupamentos previamente estabelecidos (SOUZA et al., 1990).

Em geral, as florestas naturais apresentam alta variabilidade, sobretudo, de composição de espécies, grupos ecológicos, estruturas de idades, tamanhos e condições gerais de crescimento e produção (sítios), dentro de uma mesma comunidade florestal. Nesse contexto, a classificação em áreas mais homogêneas permite inferir sobre a capacidade produtiva de cada zona ou classe de sítio e fundamentar a elaboração e a execução dos planos de manejo sustentável (SOUZA; SOUZA, 2006).

A classificação da produção de uma área florestal em classes de estoque volumétrico é uma ferramenta importante para compreender melhor a distribuição espacial do estoque comercial e pré-comercial dentro de uma área de manejo, além disso, permite melhor planejamento e controle da produção (SOUZA et al., 2014).

Dentre as espécies mais frequentes em florestas de terra firme na Amazônia, a *Lecythis lurida* (Miers) Mori, conhecida popularmente como Jarana, é bastante explorada por várias empresas madeireiras na região (RIBEIRO; ROCHA, 2009). É uma espécie que pertence ao grupo ecológico das secundárias tardias de dossel que possui árvores com altura de 12 a 18 m (SOUZA et al., 2007).

Na Floresta Nacional do Tapajós, das 26 espécies comerciais exploradas pela Cooperativa Mista da FLONA do Tapajós (COOMFLONA) no ano de 2013, a espécie *Lecythis lurida* foi a 4ª espécie com maior volume de estoque comercial e a 2ª maior em número de indivíduos na Unidade de Produção Anual 08 (COOMFLONA, 2013) e sua madeira é utilizada principalmente na construção civil pesada interna como vigas, caibros, pranchas e tábuas em estruturas de coberturas (IPT, 2009). Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi ajustar modelos volumétricos e classificar o potencial volumétrico para *Lecythis lurida* em uma área submetida ao Manejo Florestal Sustentável na Floresta Nacional do Tapajós.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo localiza-se no km 67 da BR-163 no município de Belterra, Pará, em uma Área de Manejo Florestal pertencente a Cooperativa Mista da Floresta Nacional do Tapajós (COOMFLONA). Os dados são oriundos das Unidades de Produção Anual (UPAs) 07 e 08, cada uma com área total de 1.000 hectares e distribuídos em 10 Unidades de Trabalho (UTs) de igual tamanho (100 ha).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é quente e úmido (Ami – equatorial) com pequenas estações secas, temperatura média entre 25°C e 27°C com umidade relativa do ar em média de 90%, pluviosidade elevada com média de 1.500 a 2.500 mm/ano. Os solos são do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, caracterizados por diferentes texturas, geralmente profundo, ácido, friável e revestido por florestas densas (ESPÍRITO-SANTO et al. 2005). A tipologia florestal predominante na FLONA do Tapajós é a

Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012), com aproximadamente 412 espécies arbóreas pertencentes a 57 famílias, com dominância de árvores de grande porte (IBAMA, 2004).

2.2. Coleta de dados

Para determinação do volume real foram utilizados os dados de romaneio (cubagem de toras) de *Lecythis lurida* na UPA 07. No total foram cubados 437 indivíduos de *L. lurida* com DAP ≥ 50 cm (Diâmetro Mínimo de Corte). A cubagem rigorosa seguiu a metodologia de Smalian.

Para a análise de agrupamento foram utilizados os dados de indivíduos pré-comerciais e comerciais de *Lecythis lurida* com DAP ≥ 35 cm, obtidos com inventário 100% das 10 UTs da UPA 08.

Para os indivíduos da UPA 08 com diâmetro entre 50 cm \geq DAP \leq 170 cm, o volume foi estimado por meio do modelo volumétrico ajustado para a *L. lurida* e escolhido como o melhor na UPA 07. As árvores com DAP fora do intervalo mencionado tiveram o volume calculado pelo fator de forma utilizando o fator 0,7 segundo a Instrução Normativa N° 04/2011 da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará.

2.3. Análise de processamento dos dados

2.3.1. Ajuste volumétrico

Foram testados oito modelos volumétricos, sendo quatro na forma logarítmica e quatro na forma aritmética, estando entre modelos de simples e dupla entrada (Tabela 1).

A seleção dos modelos de regressão mais adequados foi baseada nas seguintes estatísticas de precisão: Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj}), Erro Padrão da Estimativa percentual ($Sy_x\%$), Análise Gráfica dos Resíduos, Significância dos Parâmetros de acordo com o teste t de Student, a 95% de probabilidade.

Foram escolhidos os melhores modelos dentre os de simples entrada e os de dupla entrada. Na comparação entre todos os modelos, o melhor foi utilizado no cálculo do volume dos indivíduos de *L. lurida* do inventário 100% de 10 UTs para a UPA 08.

2.3.2. Classificação do potencial volumétrico

Para a análise multivariada foram utilizados os volumes estimados do fuste comercial com casca, área basal e número de indivíduos das árvores com DAP ≥ 35 cm para *L. lurida* por UT em ordem crescente, conforme metodologia usada por Lima et al. (2014). Com os dados foi gerada uma matriz X dos volumes, em que cada variável x_{ij} representou a j -ésima variável na i -ésima UT, para $i = 1, 2, 3 \dots n$ UTs e $j = 1, 2, 3 \dots p$ variáveis.

A matriz X foi utilizada como entrada de dados nas análises de agrupamento e discriminante. Para a estratificação volumétrica da UPA 08, foi utilizado como critérios de agrupamento: a distância euclidiana simples como medida de dissimilaridade e o método Ward como algoritmo de agrupamento (SOUZA et al., 1990; SOUZA; SOUZA, 2006) conforme expressão abaixo:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{h=1,2,\dots,p} (X_{hi} - X_{hj})^2} \quad (\text{Equação 3})$$

em que: d_{ij} = distância euclidiana entre as UTs i e j ; X_{hi} = valor da variável p na UT i ; e X_{hj} = valor da variável p na UT j .

Com base no dendrograma gerado pela análise de agrupamento foi traçada uma linha de corte paralela ao eixo horizontal para definir as classes de estoque volumétrico. Os critérios de definição dos agrupamentos foram: a análise visual do dendrograma e a formação de agrupamentos homogêneos (unidades de gestão), conforme Souza et al.

(2014). A análise discriminante foi feita para verificação da veracidade da distinção e classificação das UTs em classes homogêneas de estoque volumétrico.

O processamento dos dados e os ajustes foram feitos pelos softwares Excel 2013 e R Core Team (2015) versão 3.2.2, com apoio da plataforma R Studio versão 1.0.136.

Tabela 1. Modelos volumétricos testados na estimativa do volume comercial com casca para *Lecythis lurida* da UPA 07, Floresta Nacional do Tapajós.

Table 1. Volume models tested in the estimation of commercial volume with bark for *Lecythis lurida* from UPA 07, Tapajós National Forest.

Modelos	Autor	Modelo
Simples Entrada	Husch	$\ln(V)=\beta_0+\beta_1*\ln(DAP)+\varepsilon$
	Hohenald-Kreen	$V=\beta_0+\beta_1*DAP+\beta_2*DAP^2+\varepsilon$
	Brenac	$\ln(V)=\beta_0+\beta_1*\ln(DAP)+\beta_2*(1/DAP)+\varepsilon$
	Koperzky-Gehrhardt	$V=\beta_0+\beta_1*DAP^2+\varepsilon$
Dupla Entrada	Schumacher-Hall	$\ln(V)=\beta_0+\beta_1*\ln(DAP)+\beta_2*\ln(H)+\varepsilon$
	Spurr	$\ln(V)=\beta_0+\beta_1*\ln(DAP^2*H)+\varepsilon$
	Stoate	$V=\beta_0+\beta_1*DAP^2+\beta_2*(DAP^2*H)+\beta_3*H+\varepsilon$
	Meyer	$V=\beta_0+\beta_1*DAP+\beta_2*DAP^2+\beta_3*(DAP*H)+\beta_4*(DAP^2*H)+\beta_5*H+\varepsilon$

V = volume comercial com casca, em m³; DAP = diâmetro a 1,30m do solo, em cm; H = soma do comprimento das toras obtida por árvore abatida no romaneio, em m; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ = parâmetros da regressão; Ln = logaritmo neperiano; ε = erro aleatório.

3. RESULTADOS

3.1. Ajuste volumétrico

O total do volume comercial com casca de *Lecythis lurida* na UPA 07 foi de 2.405,42 m³, representado por 437 indivíduos, em que o volume individual variou entre 1,95 m³ a 21,39 m³. Os resultados dos ajustes das equações de volume para *L. lurida* estão apresentados na Tabela 2.

Dentre os modelos de simples entrada, o de Husch na forma logarítmica, foi o único que apresentou todos os seus parâmetros significativos pelo teste t de Student ($p<0,05$), além de escores estatísticos semelhantes aos demais, assim podendo ser escolhido o melhor dentre os modelos de simples entrada.

Quanto aos modelos de dupla, entrada os valores de R²aj.% e Sy.x% variaram pouco entre os ajustes realizados. Os modelos de Spurr e Schumacher e Hall, ambos na forma logarítmica foram os que melhor se ajustaram aos dados com todos seus parâmetros significativos pelo teste t de Student ($p<0,05$).

Comparando com o volume total da cubagem rigorosa, que foi de 2.405,42, o volume total estimado por Schumacher e Hall foi de 2.373,71 m³, subestimando o volume em 31,71 m³ (1,32 %), enquanto que para Spurr o volume total estimado foi de 2.373,33 m³, subestimando o volume em 32,09 m³ (1,33%), o que determinou a escolha do primeiro

como o melhor modelo de dupla entrada, apesar da pouca diferença percentual de erro. Os demais modelos foram estatisticamente inferiores e apenas o modelo de Meyer não teve todos os seus parâmetros significativos.

Em geral, os modelos de dupla entrada foram estatisticamente superiores aos de simples entrada, confirmando a necessidade do emprego da variável altura. Machado et al. (2008), afirma que os modelos de simples entrada propiciam altos valores para os resíduos, uma vez que somente a variável DAP não explica totalmente a variação do volume do fuste, como pode ser visto nos gráficos de resíduos na Figura 1, pois árvores de mesmo diâmetro podem ter fustes curtos ou longos. Em todos os modelos de simples entrada ocorreram resíduos superiores aos dos modelos de dupla entrada, em torno de 200%.

Embora as estatísticas de precisão dos modelos volumétricos sejam importantes na escolha do melhor modelo, a análise gráfica de resíduos é uma análise complementar fundamental que oferece uma visualização geral dos resíduos em um conjunto de dados. De acordo com os gráficos de dispersão de resíduos, observou-se que os modelos de simples entrada (Figura 1) quando comparados aos modelos de dupla entrada (Figura 2), superestimaram o volume nas árvores, principalmente das de maiores DAPs.

Tabela 2. Coeficientes e estatísticas de precisão para ajuste volumétrico de *L. lurida*, na UPA 07, Floresta Nacional do Tapajós.

Table 2. Precision coefficients and statistics for fitting volume models of *L. lurida*, at UPA 07, Tapajós National Forest.

Autor	R ² aj.%	Sy.x%	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
Husch	57,79	26,44	-6,6566*	1,9054*	-	-	-	-
Hohenald-Kreen	56,59	26,24	-2,9935 ^{ns}	0,0810 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	-	-	-
Brenac	57,87	26,48	-0,8257 ^{ns}	0,8199 ^{ns}	-84,9725 ^{ns}	-	-	-
Koperzky-Gehrhardt	56,48	26,27	-3,011x10 ^{-1 ns}	8,262x10 ^{-4*}	-	-	-	-
Schumacher-Hall	81,62	16,91	-8,5066*	1,7900*	0,8225*	-	-	-
Spurr	81,56	16,87	-8,4042*	0,8682*	-	-	-	-
Stoate	79,97	17,82	-2,025*	4,444x10 ^{-4*}	1,205x10 ^{-9*}	2,112x10 ^{-1 *}	-	-
Meyer	82,74	16,54	-1,292x10 ^{1*}	3,749x10 ^{-1*}	-2,479x10 ^{-3*}	1,363x10 ^{-3ns}	3,140x10 ^{-9 *}	1,237x10 ^{-2 ns}

R²aj.% = Coeficiente de Determinação ajustado percentual; Sy.x% = erro padrão da estimativa percentual; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = Parâmetros da regressão; * = significativo pelo teste t a 95% de probabilidade; e ns = não significativo.

Quanto a distribuição de resíduos, houve pouca variação entre os modelos de simples entrada e pouca variação entre os modelos de dupla entrada, mas os erros médios dos modelos de simples entrada foram superiores aos de dupla entrada.

3.2. Classificação do potencial volumétrico

O modelo volumétrico de Schumacher-Hall no ajuste para *L. lurida* da UPA 07 foi aplicado para a estimativa volumétrica da espécie na UPA 08 para realizar a classificação por estoque na área. O volume total estimado da espécie na UPA 08 foi de 6.980,46 m³ para um total de 2.001 indivíduos. O número de indivíduos, área basal e volume por UT utilizado na análise de agrupamento é mostrado na Tabela 3.

A classificação volumétrica da UPA 08 por meio da análise multivariada de agrupamento permitiu que as 10 UTs fossem reunidas em três classes de produtividade para *Lecythis lurida* (alta, média e baixa produtividade) que corresponderam as classes I, II e III de estoque volumétrico, respectivamente. O dendrograma obtido da análise de agrupamento apresenta no eixo vertical a distância euclidiana simples e no eixo horizontal as UTs agrupadas formando as classes homogêneas de estoque volumétrico (Figura 3).

A classe de estoque III ficou composta pelas UTs 03, 04, 05, 06 e 08 com volume total de 3.556,25 m³, com média volumétrica por indivíduo de 3,65 m³ e desvio padrão de 2,58 m³. A classe de estoque II de estoque ficou representada pelas UTs 01, 02, 07 e 10 com volume total de 2.360,07 m³; e apresentando indivíduos com volume médio de 3,09 m³ e desvio padrão de 2,25 m³. A classe de estoque I teve apenas a UT 09 com volume total de 1.064,14 m³ e apresentou indivíduos com volume médio de 4,05 m³ com desvio padrão de 2,60 m³ (Tabela 4). A estratificação, possibilitou que UTs semelhantes em volumetria fossem agrupadas.

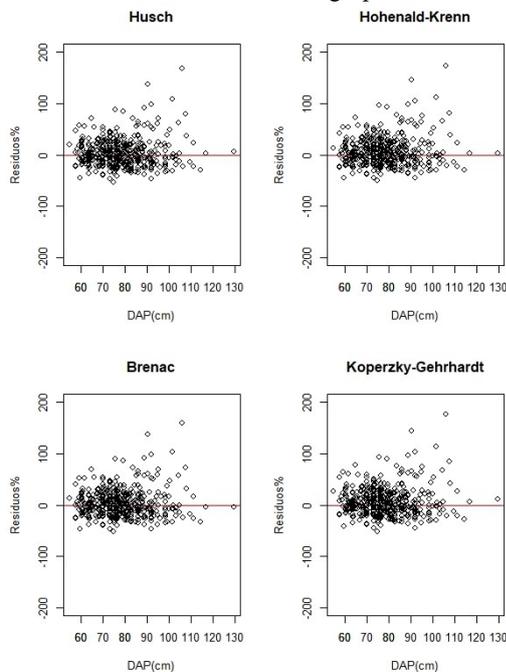


Figura 1. Análise gráfica de resíduos para os modelos volumétricos de simples entrada ajustados para *Lecythis lurida* na UPA 07, Floresta Nacional do Tapajós.

Figure 1. Graphical residue analysis for the simple input volume models fitted for *Lecythis lurida* at UPA 07, Tapajós National Forest.

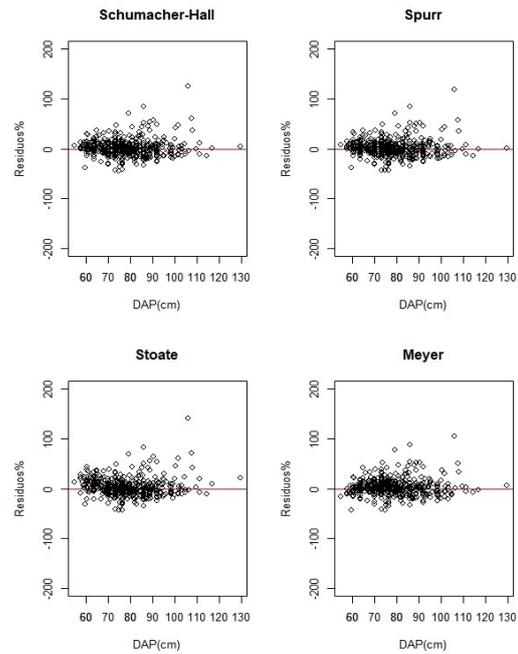


Figura 2. Análise gráfica de resíduos para os modelos volumétricos de dupla entrada ajustados para *Lecythis lurida* na UPA 07, Floresta Nacional do Tapajós.

Figure 2. Graphical residue analysis for the dual input volume models fitted for *Lecythis lurida* at UPA 07, Tapajós National Forest.

Tabela 3. Número de indivíduos (N), área basal (G) e volume (V) de *Lecythis lurida* por UT (100 ha) na UPA 08, Floresta Nacional do Tapajós.

Table 3. Number of trees (N), basal area (AB) and volume (V) of *Lecythis lurida* by UT (100 ha) at UPA 08, Tapajós National Forest.

UT	N	G (m ²)	V (m ³)
1	200	63,5780	565,7802
2	207	60,7729	608,1627
3	204	70,1184	675,2745
4	192	67,9375	679,0496
5	186	72,3289	728,2259
6	217	81,4538	799,7815
7	177	61,5215	570,0779
8	176	71,9865	673,9196
9	263	108,8121	1064,1352
10	179	62,4695	616,0495
Total	2001	720,9790	6980,4567

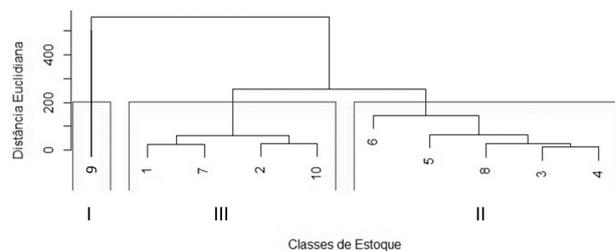


Figura 3. Dendrograma da análise de agrupamento realizado a partir do método Ward e da distância euclidiana simples para as 10 UTs da UPA 08, Floresta Nacional do Tapajós.

Figure 3. Dendrogram of cluster analysis performed using Ward method and simple Euclidean distance for 10 UTs of UPA 08, Tapajós National Forest.

Na classe III, classe considerada de baixo estoque volumétrico, algumas UTs tiveram número de indivíduos maior do que algumas UTs da classe II (classe de médio estoque volumétrico) indicando que apesar de possuir mais indivíduos, não necessariamente essas UTs da classe II terão maior volume, pois possuem indivíduos menores em diâmetro ou altura (Tabela 5).

As classes de estoque possuem indivíduos semelhantes em termos de volume dentro de sua classe e diferentes entre as mesmas. A classe I, composta apenas pela UT 09, foi a classe com a UT que apresentou maior número de indivíduos e, conseqüentemente, maior volume, sendo um indicativo que esta área possui árvores dominantes horizontalmente e verticalmente.

A análise discriminante apresentou probabilidades de 0,1 para a classe I, 0,4 para a classe II e 0,5 para classe III (Tabela 6).

A análise indicou que a classificação das UTs nas classes de estoque volumétrico foi 100% correta. Isso mostra que o agrupamento feito com base nas variáveis escolhidas apresentou alta consistência interna e máxima heterogeneidade entre si, captando a heterogeneidade entre as UTs, não havendo classificações errôneas e conseqüentemente não havendo a necessidade de realocação de uma destas para outra classe.

O arranjo das classes de estoque na UPA 08 não foram completamente contínuas, ou seja, UTs pertencentes as mesmas classes ficaram afastadas uma das outras (Figura 4).

Tabela 4. Classes de produtividade, com número de UTs, número de árvores, volumes mínimos, médios, máximos total e desvio padrão, UPA 08, Floresta Nacional do Tapajós.

Table 4. Productivity classes, with number of UTs, number of trees, minimum, average, maximum, total and standard deviation, UPA 08, Tapajós National Forest.

Classe	NºUT	Volume (m³)					Desvio padrão
		Nºind	Mín.	Médio	Máx.	Total	
I	1	263	0,67	4,05	18,15	1064,14	2,60
II	5	195	0,49	3,65	19,13	3556,25	2,58
III	4	191	0,54	3,09	23,76	2360,07	2,25
Total	10	-	-	-	-	6980,46	-

NºUT= número de UT; Nºind= número médio de indivíduos por UT.

Tabela 5. Classes de produtividade por UT obtida na estratificação da análise de agrupamento, UPA 08, Floresta Nacional do Tapajós.

Table 5. Productivity classes by UT obtained in the stratification of cluster analysis, UPA 08, Tapajós National Forest.

Classes	UT	Nº	Área Basal	Volume (m³)	
		Indivíduos	(m²)		
I	9	263	108,8121	1064,1352	
	6	217	81,4538	799,7815	
	5	186	72,3289	728,2259	
	II	4	192	67,9375	679,0496
		3	204	70,1184	675,2745
III	6	176	71,9865	673,9196	
	10	186	62,4595	616,0495	
	2	192	60,7729	608,1627	
	7	204	61,5215	570,0779	
	1	176	63,5780	565,7802	
Total		2001	720,9790	6980,4567	

Tabela 6. Número de classe de estoque e probabilidade da análise discriminante para as classes.

Table 6. Stock class number and probability of the discriminant analysis for the classes.

Classes	Classificação correta %	Classe I, p=0,1	Classe II, p=0,4	Classe III, p=0,5
I	100	1	0	0
II	100	0	5	0
III	100	0	0	4
Total	100	1	5	4

p = probabilidade de classificação da análise discriminante para as classes de estoque volumétrico.

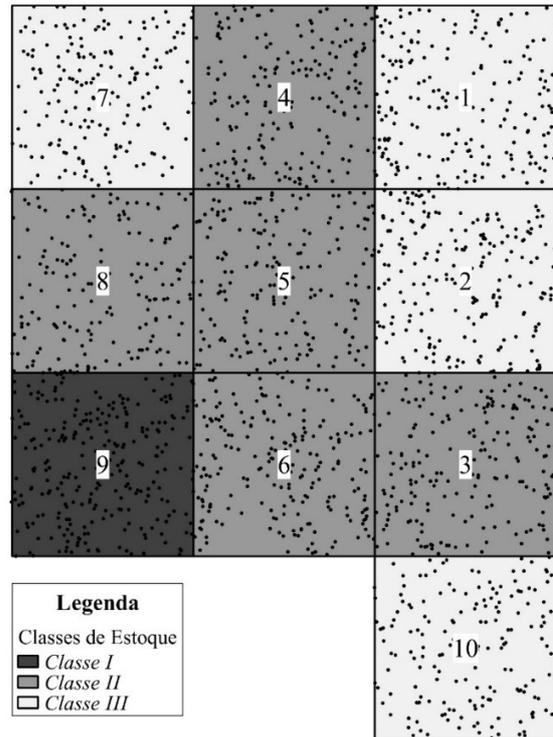


Figura 4. Arranjo das UTs da UPA 08 de acordo com a classificação da produtividade volumétrica de *Lecythis lurida* na Floresta Nacional do Tapajós.

Figure 4. UPA 08 TUs arrangement according to *Lecythis lurida* volumetric productivity classification in the Tapajós National Forest.

4. DISCUSSÃO

4.1. Ajuste volumétrico

A estimativa do volume comercial com casca para *L. lurida* apresentou resultados estatísticos satisfatórios, sendo o modelo de Schumacher-Hall o que melhor se ajustou aos dados, conforme também verificado em outros trabalhos de ajuste volumétrico, podendo citar Cysneiros et al. (2017) ao realizarem estimativa do volume comercial em uma floresta sob concessão na Amazônia, e Lima et al. (2014) em uma Floresta Estadual do Amapá, mostrando que o modelo é muito difundido na região Amazônica, principalmente em função de suas propriedades estatísticas, que geralmente não apresentam estimativas tendenciosas (CAMPOS; LEITE, 2013).

Tonini; Borges (2015) ajustaram modelos volumétricos para espécies de interesse comercial em uma Floresta Ombrófila Densa no município de Caracaraí, sul do estado de Roraima e recomendaram o uso do modelo de Schumacher-

Hall como melhor para estimar o volume com casca para espécies comerciais desta área. Silva-Ribeiro et al. (2014) usando dados de romaneio, ajustaram modelos volumétricos para as espécies *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (maçaranduba), *Lecythis lurida* (Miers) S.A.Mori (jarana) e *Hymenaea courbaril* L. (jatobá), e os modelos que mais se destacaram na estimativa do volume foram Schumacher-Hall e Spurr, ambos na forma logarítmica.

Mesmo com a preferência do modelo volumétrico de Schumacher-Hall na maioria dos trabalhos, não se descarta fazer ajustes e selecionar outros modelos para estimativa do volume para uma espécie ou para grupos de espécie, conforme realizado por Moura (1994) que selecionou o modelo volumétrico de Prodan para estimar o volume de espécies florestais da Amazônia Brasileira, entre elas *Lecythis lurida*, mostrando que diferentes modelos podem representar com precisão o estoque volumétrico na região.

Apesar do modelo de Schumacher-Hall ter subestimado o volume comercial de toda a área, foi selecionado pois é melhor que o volume seja subestimado ao invés de superestimado quando se trata de planejamento do manejo florestal comunitário (Thaines et al., 2010).

4.2. Classificação do potencial volumétrico

Trabalhos realizados por Lima et al. (2014) e Souza et al. (2014) em florestas naturais na Amazônia também resultaram na estratificação em três classes (baixa, média e alta) de estoque volumétrico, utilizando a mesma metodologia de agrupamento. Isso mostra que esse método tem potencial para ser aplicado visando o manejo nas florestas nativas da região.

Para fins de manejo, a classificação da área em classes de estoque volumétrico, pode ser uma ferramenta importante para subsidiar a escolha das áreas adequadas para extração, fazendo com que a colheita seja de forma que se colham menos de áreas de baixo estoque e mais de áreas com alto estoque, causando menos impactos na floresta remanescente das colheitas seletivas (SOUZA; SOARES, 2013).

A rigorosa seleção de árvores para abate direcional na colheita de impacto reduzido busca harmonizar a intensidade de corte com a produtividade da floresta (BARLOW et al., 2010). Assim, a estratificação da UPA 08, de acordo com o estoque volumétrico de *Lecythis lurida*, possibilita que a colheita dessa espécie seja de forma a balancear sua distribuição na área de manejo, em que além de considerar critérios estabelecidos em normas, considera também sua capacidade volumétrica disponível para exploração.

Souza; Souza (2006) afirmam que a classificação da capacidade produtiva de uma floresta em três classes é um método eficiente na estratificação de áreas homogêneas de uma floresta inequiana, que podem se constituir em estratos, compartimentos, classes de sítios e Unidades de Produção Anual (UPA). Além disso, os autores citam ainda que o método de classificação multivariada da floresta pode ser aplicado em inventários florestais, na elaboração e execução do plano de manejo, na delimitação de zonas de florestas de produção e proteção e em estudos fitossociológicos e ambientais em geral.

Na ciência florestal são utilizadas diversas técnicas multivariadas, tais como a análise de componentes principais, análise discriminante e classificação, análise fatorial e análise de agrupamento. Segundo Albuquerque (2013), dentre estas, sem dúvidas a mais utilizada é a análise de agrupamento,

porque os pesquisadores sempre buscam o reconhecimento de um padrão, visando a simplificar e explicar o comportamento de uma floresta, de um grupo de parcelas, ou de uma parcela, a partir de mensuração de várias espécies.

Com isso, as técnicas de análise de agrupamento e discriminante promovem a regulação da produção florestal, de forma a aliar os fatores econômicos, ambientais e sociais (SILVA et al., 2015). Nesse sentido, a regulação de florestas inequianas é retratada por um conjunto de zonas da floresta de produção que são estruturadas em UPAs e seu ordenamento espacial é problema que exige solução otimizada (SOUZA; SOARES, 2013), como as ferramentas multivariadas empregadas neste estudo.

Dessa forma, confirma-se que a estatística multivariada, mais precisamente a análise de agrupamento, se torna uma ferramenta importante na área florestal, com a possibilidade de homogeneizar uma floresta criando grupos que podem facilitar o planejamento em um inventário florestal, criação de classes de estoque volumétricos e escolhas de área para exploração, dentre outros demais usos.

5. CONCLUSÕES

O modelo de Schumacher e Hall foi o melhor modelo para a estimar o volume de *Lecythis lurida* (Miers) Mori na Floresta Nacional do Tapajós.

A análise multivariada possibilitou a estratificação da área de exploração em três classes de produtividade para *L. lurida*, podendo contribuir para melhor planejamento das atividades florestais que envolvam esta espécie.

6. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. A. **Análise de Agrupamento Hierárquica e Incremental – Estudo de Caso em Ciências Florestais**. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2013.
- BARLOW, J.; GARDNER, T. A.; LOUZADA, J.; PERES, C. A. Measuring the conservation value of tropical primary forests: The effect of occasional species on estimates of biodiversity uniqueness. **Plos One**, v. 5, n. 3. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009609>.
- BONA, D. A. O. de; SILVA, D. S. da; PINHEIRO, L. L.; SILVA, E. F. da; CHICHORRO, J. F.; BASSO, M. Receita/custo da atividade de exploração florestal em um plano de manejo florestal sustentável na Amazônia – estudo de caso. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 50-55, 2015.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. 605p.
- COOPERATIVA MISTA DA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS. Plano Operacional Anual 08/2013. Santarém/PA. 2013.
- CYSNEIROS, V. C.; PELISSARI, A. L.; MACHADO, S. A. do; FILHO, A. F.; SOUZA, L. de. Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial em uma floresta sob concessão na Amazônia. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 114, p. 295-304, jun. 2017.
- ESPIRITO-SANTO, F. D. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; OLIVEIRA, L. E.; ARAGÃO, C.; MACHADO, E. L. M. Análise da composição florística e fitossociológica da floresta nacional do Tapajós com o apoio geográfico de imagens de satélites. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, p. 155-173, 2005.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2.ed. Rio de Janeiro: 2012. 271p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo**. Volume 1, Brasília, 2004. v.1. 580p. 2004.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Madeira: Uso sustentável na construção civil**. 2º ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009.
- LIMA, R. B.; APARÍCIO, P. S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, W. C.; GUEDES, M. C.; OLIVEIRA, C. P.; SILVA, D. A. S.; BATISTA, A. P. B. Volumetria e classificação da capacidade produtiva para *Mora paraensis* (Ducke) no estuário amapaense. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 141-154. 2014.
- MACHADO, S. A.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; TÊO, S. J.; STOLLE, L.; URBANO, E. Modelagem volumétrica para bracatinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 17-29. 2008.
- MOURA, J. B. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia Brasileira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, UFPR: Curitiba. 1994.
- PARÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº04/2011**. Dispõe sobre a Política Estadual de Floresta e demais formações de vegetação no Estado do Pará. 2011. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2011/05/13/10986/>. Acesso em: 20/02/2018.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2015.
- RAMOS, M. **Comparação de métodos para estimar o volume comercial em floresta ombrófila densa no estado do Amazonas**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Irati-PR. 2012.
- RIBEIRO, J.; ROCHA, A. A. Avaliação ambiental e econômica da produção de madeira da espécie nativa em dois municípios na Amazônia brasileira. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 4, n. 3, Artigo 1, 2009.
- ROTTA, G. W.; MICOL, L.; SANTOS, N. B. **Manejo Florestal Sustentável no portal da Amazônia: um benefício econômico, social e ambiental**. Alta Floresta/MT. 2006.
- SILVA, E. N.; SANTANA, A. C. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 631-636, 2014.
- SILVA-RIBEIRO, R. B.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Revista Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 605-612, 2014.
- SILVA, E.N.; SANTANA, A.C.; QUEIROZ, W.T.; SOUSA, R.J. Estimação de equações volumétricas para árvores de valor comercial em Paragominas, estado do Pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 7, n. 13, p. 07-16, 2011.
- SILVA, D. A. S.; SILVA, G. F.; CHICCORRO, J. F. **Regulação de florestas inequidêneas sob Manejo Florestal Comunitário na Amazônia**. 1. ed. Brasília: ESAF, 2015. v. 1. 533p.
- SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2013. 322. p.
- SOUZA, A. L.; HOSOKAWA, R. T.; KIRCHNER, F. F.; MACHADO, S. A. Análises multivariadas para manejo de floresta natural na Reserva Florestal de Linhares, Espírito Santo: análises de agrupamento e discriminante. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 85-101, 1990.
- SOUZA, A. L.; SOUZA, D. R. Análise multivariada para estratificação volumétrica de uma floresta ombrófila densa de terra firme, Amazônia oriental. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 49-54, 2006.
- SOUZA, P. B.; IGNÁCIO, M.; AMADO, J. C. L.; BATISTA, M. L.; RAGGI, F.; ALMADO, R. P.; NETO, J. A. A. M. Grupos Ecológicos da sere sucessional de uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Zona de Amortecimento do Parque Estadual do Rio Doce, MG. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 222-224, 2007.
- SOUZA, A. L. de; MEDEIROS, R. M. de. MATOS, L. M. S.; SILVA, K. R.; CORRÊA, P. A.; FARIA, F. N. de. Estratificação volumétrica por classe de estoque em uma floresta ombrófila densa, no município de Almeirim, estado do Pará, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 533-541, 2014.
- THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa do volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 283-289, 2010.
- TAKEDA, R. M. **Análise da exploração florestal de espécies nativas na Amazônia Ocidental**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Amazonas-UFAM, 2015.
- TONINI, H.; BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 35, n. 82, p. 111-117, 2015.