

AMOSTRAGEM RELATIVA DE DADOS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA DE CERRADO TOCANTINENSE

Mayronne Joaquim Fonseca dos SANTOS¹
Valdir Carlos Lima de ANDRADE²
Priscila Bezerra de SOUZA²

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes sistemas de amostragem de dados da relação hipsométrica de uma área de Cerrado localizada no nordeste do Tocantins. Para isso, foram utilizadas 13 parcelas de 1000 m² cada, onde foram empregadas cinco simulações dos sistemas de amostragens para o ajuste dos seguintes modelos hipsométricos: $Ln(h) = b_0 + b_1\left(\frac{1}{d}\right) + Ln(\epsilon)$ e $Ln(h) = b_0 + b_1(N) + b_2\left(\frac{dq}{d}\right) + b_3\left(\frac{1}{d}\right) + Ln(\epsilon)$. Estes modelos apresentaram coeficiente de determinação variando entre 0,419 a 0,509 e erro padrão da estimativa entre 27,66% a 29,75%. A partir de um delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas, com posterior aplicação do teste Dunnett, ambos ao nível de 0,05, pôde-se inferir que o sistema de amostragem com 50% das árvores de cada parcela gerou as melhores equações da altura (h) em função do diâmetro à altura do peito (d), diâmetro quadrático (dq) e número de indivíduos por hectare (N).

PALAVRAS-CHAVE: Modelos hipsométricos; inventário florestal; teste Dunnett.

1 Introdução

O bioma Cerrado é considerado um dos 25 "hotspots" mundiais de biodiversidade, principalmente, em função de sua riqueza biótica, nível de endemismos e grau de ameaça (MYERS *et al.*, 2000). É o segundo maior bioma da América do Sul, abrangendo uma área com cerca de 2 milhões de km² (22% do território nacional) e ocupando o Planalto Central do Brasil onde se encontram as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata), o que resulta em um elevado potencial aquífero e de biodiversidade (MMA, 2014). Dentro desta área, está o estado brasileiro do Tocantins que, segundo Machado *et al.* (2004), IBGE (2004) e Sano, Almeida e Ribeiro (2008), dos 91% de sua área total coberta com o cerrado, tem os maiores índices de vegetação remanescente deste importante Bioma com cerca de 79%.

Nota-se, então, a grande importância em melhor conhecer o bioma cerrado para delinear decisões adequadas à manutenção da biodiversidade, ao uso racional e

¹ Universidade Federal do Tocantins - UFT, *Campus* Gurupi, Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais, Caixa postal 66, CEP: 77404-970, Gurupi, TO, Brasil, E-mail: jfsmayrone@gmail.com

² Universidade Federal do Tocantins - UFT, *Campus* Gurupi, Curso de Engenharia Florestal, CEP: 77404-970, Gurupi, TO, Brasil, E-mail: vclandrade@uft.edu.br; priscilauft@mail.uft.edu.br

sustentável dos recursos florestais disponíveis neste bioma. A base para isso, é o estudo das relações biométricas, dentre as quais, se encontra a relação hipsométrica que é essencial na prática de inventários florestais no Brasil quando se utiliza equações volumétricas de dupla entrada e, ou, de taper, ou ainda, no caso de floresta nativa, onde se objetiva avaliar a estrutura vertical.

Ker e Smith (1957, citado por BATISTA *et al.*, (2001), descreveram a relação hipsométrica, uma técnica de mensuração que ainda hoje é regra na maioria dos inventários florestais. A técnica consiste em medir o diâmetro à altura do peito (d) de todas as árvores da parcela e altura (h) de algumas árvores. Através da análise de regressão, feita nos dados de d e h coletados, obtém uma equação a empregar na predição da altura das árvores em que se mediu apenas o seu diâmetro, essa relação é simbolizada comumente por “h/d” (altura/diâmetro).

Na literatura florestal são verificados vários modelos hipsométricos que se baseiam na relação “h/d”, denominados de modelos tradicionais. No entanto, fatores como: espécie, posição sociológica, tamanho de copa, densidade, sítio e práticas silviculturais em geral influenciam no ajuste destas variáveis (FINGER, 1992; CARDOSO *et al.*, 1989; BARROS *et al.*, 2002; BARTOSZECK *et al.*, 2004). Neste contexto, deve-se analisar, também, a relação existente entre a altura e outras variáveis citadas anteriormente. Os modelos que incluem variáveis como: idade, sítio, densidade e altura dominante são denominados de modelos genéricos (CARDOSO *et al.*, 1989; BARROS *et al.*, 2002).

Desde a proposta de Ker e Smith (1957), observam-se muitos trabalhos no Brasil, sua maioria plantios equiâneos com pinus (CARDOSO *et al.*, 1989; no Paraná, BARROS *et al.*, 2002 em São Paulo; MENDONÇA *et al.*, 2011, em Minas Gerais); com eucalipto (BATISTA *et al.* 2001, em São Paulo; LEITE e ANDRADE, 2003 e RIBEIRO *et al.*, 2010, na Bahia; ANDRADE *et al.*, 2014 em Tocantins); com araucária (CALDEIRA *et al.*, 2003, no Paraná); com teca (ROSSI *et al.*, 2011, no Pará), em plantios em Minas Gerais com 11 diferentes espécies nativas (SOARES *et al.*, 2011) e com candeia (ARAÚJO *et al.*, 2012), dentre muitos outros

Por outro lado, em povoamentos inequiâneos a relação hipsométrica ainda é pouco difundida, cabendo citar Bartoszeck *et al.* (2004), que estudaram a dinâmica da relação hipsométrica em povoamentos de bracingas no Paraná, Andrade *et al.* (2006), que avaliaram a influência dos sistemas de amostragem na predição em um fragmento de Mata Atlântica no Rio de Janeiro, Sanqueta *et al.* (2013), que estudaram as relações diâmetro-altura em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Paraná. Hess *et al.* (2013) avaliaram o ajuste da relação hipsométricas para espécies da floresta Amazônica, no Estado do Amazonas. Curto *et al.* (2014), que avaliaram o ajuste de modelos de relação hipsométrica em uma floresta inequiânea, ao estratificar os dados por espécie, parcela e classe de diâmetro, visando verificar a necessidade de agrupar ou não os dados, em Guaçuí-ES e Andrade *et al.* (2015) que selecionaram modelos hipsométricos e avaliaram sistemas de amostragem da relação hipsométrica em cerrado *sensu stricto* no Tocantins.

Segundo Soares *et al.* (2011), a correta determinação da variável dependente altura permite inferir sobre a estrutura vertical de uma floresta inequiânea. Deste modo, a partir de uma análise estrutural do cerrado se pode fornecer um indício do estágio sucessional em que se encontra cada espécie, além de colaborar para definições de tratamentos silviculturais em áreas que serão manejadas ou que estão sob plano de manejo de rendimento sustentado (CALEGÁRIO *et al.*, 1994; CURTO *et al.*, 2014).

Andrade *et al.* (2006) inferiram sobre a relevância em avaliar sistemas de amostragem objetivando o melhor nível de acurácia na predição das alturas das árvores restantes. Diante deste contexto, neste trabalho objetivou-se avaliar diferentes sistemas de amostragem relativa da relação hipsométrica em uma área de cerrado *sensu stricto* localizado no nordeste do Estado do Tocantins.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudo, coleta de dados e sistemas de amostragem de dados da relação hipsométrica

O trabalho foi desenvolvido em uma área de cerrado *sensu stricto*, localizada na região nordeste do Estado do Tocantins próximo à divisa com o Estado do Maranhão. O clima da região é classificado como C2w'a'', subúmido com pequena deficiência hídrica no inverno, potencial média anual de 1500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo de três meses consecutivos com temperaturas elevada. Com temperatura média anual variando entre 26 e 27°C (ATLAS DO TOCANTINS, 2012).

Foram alocadas, sistematicamente, 13 parcelas temporárias de 10×100 m (1000 m² cada). Em cada parcela foram medidas a circunferência com fita métrica dos indivíduos arbustivo-arbóreos com circunferência a 1,30 m do solo, convertidos em diâmetro a altura do peito. Além disso, utilizou-se uma régua telescópica para medir a altura total de todos os indivíduos arbustivo-arbóreos. Assim, com base nesses dados amostrados, foram simulados cinco diferentes sistemas de amostragem para posterior aplicação dos seguintes modelos hipsométricos selecionados por Andrade *et al.* (2015):

$$\ln(h) = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{d}\right) + \ln(\varepsilon) \quad (1)$$

$$\ln(h) = b_0 + b_1(N) + b_2 \left(\frac{dq}{d}\right) + b_3 \left(\frac{1}{d}\right) + \ln(\varepsilon) \quad (2)$$

em que nas equações (1) e (2) tem-se: \ln = logaritmo neperiano, d = diâmetro a 1,30 m, N = número de indivíduos por hectare, dq = diâmetro quadrático, b_0 , b_1 , b_2 , b_3 = parâmetros de regressão a serem estimados, ε = erro aleatório obtido pelo uso da equação dos modelos 1 e 2.

Os dados obtidos nas 13 parcelas de 1000 m² todos foram separados em dois grupos, sendo um de ajuste e outro de validação tendo dados diferentes daqueles que compõem o grupo de ajuste. Em seguida foram simulados cinco sistemas relativos de amostragem de dados de relação hipsométrica, sendo o primeiro utilizando 60% das árvores de cada parcela, denominado: Sistema de Amostragem com 60% (SA60). O mesmo aplica-se aos demais sistemas de amostragens simulados, com 50, 40, 30 e 20% (SA50, SA40, SA30 e SA20). Com isto, o grupo dos dados de validação corresponde a 40% dos dados gerados pelas 13 parcelas.

2.2 Critérios estatísticos de avaliação

Na análise do ajuste dos modelos hipsométricos 1 e 2, obtidos em cada sistema de amostragem, utilizou-se os critérios estatísticos: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão residual e análise da distribuição dos resíduos. Apesar de não haver necessidade em recalculá-las, devido ser de mesma transformação logarítmica na variável dependente h , preferiu-se recalculá-las aplicando-se:

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{SQRes}{SQT} \right) \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \quad (3)$$

$$s_{h\hat{h}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n-p}} \quad (4)$$

$$s_{h\hat{h}}\% = \left(\frac{s_{h\hat{h}}}{\bar{h}} \right) 100 \quad (5)$$

em que nas equações de (3) a (5) tem-se: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado, $s_{h\hat{h}}$ = erro padrão residual, $SQRes$ = soma dos quadrados dos resíduos, SQT = soma dos quadrados totais, h_i = altura real (medida pela régua telescópica), \hat{h}_i = altura estimada pelas equações hipsométricas obtidas a partir dos modelos 1 e 2, \bar{h} = média da altura real, n = número de árvores selecionadas em cada sistema de amostragem de relação hipsométrica e p = número de coeficientes a serem estimados nos modelos 1 e 2.

A seleção do sistema de amostragem, que melhor caracterizou a relação hipsométrica em área de cerrado *sensu stricto* tocantinense, foi feita pela análise da predição utilizando-se os dados de validação, que são diferentes daqueles utilizados na simulação dos cinco sistemas de amostragem para ajuste dos modelos 1 e 2. Neste caso, aplicaram-se as seguintes estatísticas:

$$DMA = \frac{\sum(\hat{h}_i - h_i)}{n}, \quad (6)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(\hat{h}_i - h_i)^2 - \frac{[\sum(\hat{h}_i - h_i)]^2}{n}}{(n-1)}}, \quad (7)$$

$$SQRR = \sum \left(\frac{\hat{h}_i - h_i}{h} \right)^2, \quad (8)$$

$$EMP = \left[\frac{\sum \left(\frac{\hat{h}_i - h_i}{h_i} \right)}{n} \right] 100, \quad (9)$$

em que nas equações de (7) a (9) tem-se: DMA = desvio médio absoluto, SD = desvio padrão das diferenças, $SQRR$ = soma dos quadrados dos resíduos relativos, EMP = erro médio percentual e demais já foram definidos anteriormente.

Na análise das estatísticas DMA , SD , $SQRR$ e EMP , adotou-se o critério de atribuir notas à classificação de cada modelo ao respectivo sistema de amostragem. Para isso,

atribuiu-se notas de 1 a 5 às estatísticas obtidas, em que, nota 1 significa melhor predição e notas 5 a de pior predição. O resultado final do ranking foi definido pela soma das notas obtidas para todas as estatísticas, na qual, o menor valor total, refere-se ao melhor sistema de amostragem de dados de relação hipsométrica para cada modelo.

Ao sistema de amostragem selecionado, com base no critério de menor nota total, conduziu-se um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas ao nível de 5% de probabilidade, em cujo experimento, as árvores por parcela se referiram às repetições, as 13 parcelas amostradas, ou unidade amostral (UA), foram as parcelas do delineamento e, as subparcelas, se considerou os modelos: altura real, altura predita com a equação 1 e altura predita com a equação 2. Para comparar os efeitos das equações 1 e 2 em relação à altura real, aplicou-se o teste de comparações de médias de Dunnett (1995), calculado por:

$$dms = \left[d \sqrt{\frac{2 * S_e^2}{r}} \right] \quad (10)$$

$$D = \bar{m} - \bar{h} \quad (11)$$

$$D\% = \left(\frac{\bar{m} - \bar{h}}{\bar{h}} \right) 100 \quad (12)$$

em que nas equações de (10) a (12) tem-se: dms = diferença mínima significativa, d = valor tabelado em função dos graus de liberdade dos tratamentos e graus de liberdade do resíduo, S_e = quadrado médio dos resíduos obtidos da análise de variância, r = número de repetições, D = desvio das médias, \bar{m} = média da altura predita pelos modelos hipsométricos 1 e 2 em cada parcela, \bar{h} = média da altura real em cada parcela e demais já foram definidos anteriormente.

3 Resultados e discussão

Na Tabela 1 os resultados englobaram 673 indivíduos arbustivos-arbóreos, registrados no grupo de dados para validação de um total de 1686 indivíduos que constituem o total de árvores amostradas pelas 13 parcelas. Verifica-se, dentre os diferentes sistemas de amostragem, que a média dos diâmetros (d) variou de 9,96 a 10,47 cm e, para altura (h), de 5,84 a 6,09 m. O coeficiente de variação do d e h apresentou elevada amplitude, uma vez que se observa entre os sistemas de amostragem uma variação diamétrica de 53,36 a 59,89% e hipsométrica entre 36,40 e 40,23% (Tabela 1).

Deste modo, nota-se uma similaridade da caracterização obtida com outros estudos em mata nativa brasileira, cabendo citar: Paula *et al.* (2007), em um levantamento de Cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, verificaram um d médio de 10,25 cm; Imaña-Encinas *et al.* (2008), em um trecho da Floresta Estacional Semidecidual na região de Cerrado no Estado de Goiás, verificaram uma variação de diâmetro ocorrendo entre 39 e 50%; Cabacinha e Castro (2010), avaliaram a estrutura diamétrica de vinte e dois fragmentos classificados como matas de fragmentos florestais no cerrado brasileiro e diagnosticaram CV diamétrico variando entre 26,92% a 73,10%; e Hess *et al.* (2014),

avaliando espécies da Floresta Amazônica, constataram valores de 19,8% e 20,04% nos dados de diâmetro e altura respectivamente.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos dados de ajuste e avaliação de cinco sistemas de amostragem avaliados em uma área de cerrado *sensu stricto* na região nordeste do Tocantins. Em que: n = número de indivíduos arbustivos-arbóreos amostrais, d = diâmetro altura do peito em cm, h = altura total em m; CV = coeficiente de variação em porcentagem

SA	N	dmáx	dmin	dmédio	CV	hmáx	hmin	h média	CV
SA20	337	38,52	4,77	10,47	59,89	15,00	2,00	6,09	40,23
SA30	506	38,52	4,77	10,14	57,02	15,00	2,00	5,87	39,07
SA40	674	38,52	4,77	9,96	55,19	19,00	2,00	5,84	38,45
SA50	845	38,52	4,77	10,06	55,56	19,00	2,00	5,84	38,64
SA60	1012	38,52	4,77	10,16	56,29	19,00	2,00	5,84	38,47
Validação	673	38,52	4,77	10,14	53,36	15,00	2,00	5,91	36,40
Total	1686	38,52	4,77	10,15	55,11	19,00	2,00	5,87	37,62

SA60= Sistema de amostragem com 60% dos indivíduos por unidade amostral, SA50= Sistema de amostragem com 50% dos indivíduos por unidade amostral, SA40= Sistema de amostragem com 40% das árvores por unidade amostral, SA30= Sistema de amostragem com 30% dos indivíduos por unidade amostral, SA20= Sistema de amostragem com 20% dos indivíduos por unidade amostral.

Quanto aos modelos testados em cada sistema de amostragem, na Tabela 2 observa-se que houve valores de R^2_{aj} variando entre 0,510 para modelo 2 no (SA50) e 0,568 para o modelo 1 (SA60). Os valores de $s_{h\hat{h}}$ também apresentaram pouca diferença entre os sistemas de amostragens, sendo de 27,66% para o modelo 2 (SA50) e 29,75% para o modelo 1 (SA20).

Os valores de R^2_{aj} demonstram um baixo nível de ajuste dos modelos de relação hipsométrica neste estudo. Entretanto, Machado *et al.* (2008), afirmaram que a curva de altura sobre o diâmetro não apresenta um comportamento biológico bem definido. Por isso, dada à alta heterogeneidade na relação altura diâmetro no povoamento inequiâneo inventariado, não era de se esperar uma relação hipsométrica forte e, o resultado, é o que se obteve um R^2_{aj} baixos e $s_{h\hat{h}}$ alto (Tabela 2).

Pizzato *et al.* (1999), em um estudo com Floresta Ombrófila Mista, no Estado do Paraná, ao ajustar uma equação para a *Araucaria angustifolia* encontrou R^2_{aj} de 0,70 e $s_{h\hat{h}}$ de 14,17% e, no ajuste de outra equação para espécies folhosas obteve R^2_{aj} de 0,64 e $s_{h\hat{h}}$ de 16,21%. Já, Curto *et al.* (2014), obtiveram valores de 0,76 e de 21,33% para R^2_{aj} e $s_{h\hat{h}}$ respectivamente, ao ajustar modelos hipsométricos utilizando-se dados estratificados de uma floresta estacional semidecidual, em Guaçuí-ES. No presente trabalho foram obtidos valores um pouco aquém destes, o que se pode inferir que os mesmos foram desfavorecidos pela estratificação entre as espécies *A.angustifolia* (Gimnospermas) e as folhosas (Angiospermas).

Tabela 2 - Coeficientes e estatísticas das equações geradas a partir dos modelos 1 e 2 para uma área de cerrado *sensu stricto* localizado no nordeste do Tocantins, com cinco diferentes SA, em que: SA=Sistema de amostragem, \hat{b}_0 , \hat{b}_1 , \hat{b}_2 e \hat{b}_3 = Parâmetros estimados, as demais foram descritas anteriormente, números subscritos são as notas atribuídas quanto à precisão do sistema de amostragem, Total=Soma das notas atribuídas aos valores de R^2_{aj} e $s_{h\hat{h}}$

Modelos	SA	\hat{b}_0	\hat{b}_1	\hat{b}_2	\hat{b}_3	R^2_{aj}	$s_{h\hat{h}}\%$	Total
1	20	2,3567	-5,1470	-	-	0,544 ⁴	29,75 ⁴	8
	30	2,3223	-5,0742	-	-	0,553 ³	29,09 ³	6
	40	2,3321	-5,1663	-	-	0,553 ³	28,62 ¹	4
	50	2,3246	-5,1278	-	-	0,563 ²	29,02 ²	4
	60	2,3036	-4,9711	-	-	0,568 ¹	29,02 ²	3
2	20	1,0615	0,1662	-0,1472	-4,1893	0,518 ³	29,15 ⁵	8
	30	1,2548	0,1295	-0,1915	-3,7026	0,525 ¹	28,43 ⁴	5
	40	1,1650	0,1406	-0,2226	-3,5710	0,515 ⁴	27,70 ²	6
	50	1,0668	0,1480	-0,2741	-3,1394	0,510 ⁵	27,66 ¹	6
	60	1,0586	0,1530	-0,2236	-3,4863	0,523 ²	27,86 ³	4

Entretanto, Andrade *et al.* (2015), ao testar 8 modelos hipsométricos lineares que levam em consideração as variáveis diâmetro altura do peito, diâmetro quadrático, número de árvores e área basal, obtiveram valores de $s_{h\hat{h}}$ entre 28,58% e 33,91%. Valores estes que quando comparados ao presente estudo, pode se supor que o emprego do sistema de amostragem relativa à quantidade de indivíduos arbustivos-arbóreos, constantes nas parcelas, revela uma sutil superioridade quanto à precisão dos ajustes das equações.

Na Tabela 3, as estatísticas *DMA*, *SD*, *SQRR* e *EMP*, cujos resultados foram englobados em único valor de notas, de acordo com a classificação dentro de cada modelo e sistema de amostragem, indicam SA50 como sendo o de melhor desempenho para compor uma base de dados de relação hipsométrica visando ajuste dos modelos 1 e 2 em área de cerrado na região nordeste do Tocantins.

Segundo Machado *et al.* (2008), a composição das amostras a serem utilizadas no ajuste da relação hipsométrica são afetadas pela espécie, posição sociológica, idade, tamanho de copa, densidade, sítio e práticas silviculturais. Dessa forma, pressupõe-se que o fator condicionante neste estudo, tenha sido a densidade, espécie e sítio, ou seja, os mesmos indicaram maior representatividade obtida pelo sistema SA50 nesta área de cerrado.

Escolhido SA50, como o melhor sistema relativo de amostragem dos dados de relação hipsométrica, foi conduzido um delineamento inteiramente casualizado no esquema subdividido para comparação dos modelos 1 e 2. Nota-se na Tabela 4, para as unidades amostrais (UA) obteve-se F não significativo ao nível de 5% de confiabilidade, ou seja, estatisticamente, as UA não diferem entre si quanto à relação hipsométrica. Por outro lado, as subparcelas apontam diferença significativa dos modelos hipsométricos (F=10,23). Com isto, os usos dos modelos hipsométricos apresentam efeitos significativos na predição da altura nas parcelas. O fato da Interação UA × RH ter sido significativo

(F=11,98) implica que unidades amostrais e modelos agem de modos dependentes e isto exige o estudo dos efeitos das alturas dentro das unidades amostrais.

Tabela3 - Critérios estatísticos adotados para avaliar a predição realizada com os modelos 1 e 2 em uma área de cerrado *sensu stricto*, na região nordeste do Tocantins

Modelos	SA	DMA	SD	SQRR	EMP	Total	Ranking
1	20	-0,07278 ²	1,598 ⁴	73,403 ⁵	6,60 ⁵	16	3
	30	-0,22468 ³	1,550 ¹	68,015 ⁴	3,91 ⁴	12	4
	40	-0,22649 ⁴	1,551 ²	67,729 ³	3,77 ³	12	2
	50	-0,00064 ¹	1,558 ³	62,336 ¹	3,47 ²	7	1
	60	-0,23427 ⁵	1,562 ⁵	66,948 ²	3,27 ¹	13	1
2	20	-0,06125 ¹	1,550 ¹	61,131 ⁵	5,86 ⁵	12	3
	30	-0,20847 ⁴	1,550 ¹	56,482 ⁴	3,28 ³	12	3
	40	-0,19366 ²	1,551 ²	56,178 ³	3,31 ⁴	11	2
	50	-0,20797 ³	1,558 ³	50,428 ¹	2,92 ²	9	1
	60	-0,23427 ⁵	1,562 ⁴	55,185 ²	2,64 ¹	12	3

SA: sistema de amostragem; DMA = desvio médio absoluto, SD = desvio padrão das diferenças, SQRR = soma do quadrado do resíduo relativo; EMP = erro médio percentual, números sobescritos são as notas atribuídas quanto à classificação do sistema de amostragem.

Tabela4 - Análise de variância feita por meio de um delineamento inteiramente casualizado em esquema parcelas subdivididas para os dados amostrados pelo SA50 em uma área de cerrado *sensu stricto* tocantinense

FV	GL	SQ	QM	F
Unidades Amostrais (UA)	12	160,865	13,405	1,70 ^{ns}
Erro a	351	2762,331	7,870	-
Parcela	363	2923,196	-	-
Modelo (MOD)	2	14,345	7,173	10,23 ^{**}
Interação UA x MOD	24	201,611	8,400	11,98 ^{**}
Erro b	702	492,345	0,701	-
Total	1091	3631,497	-	-

FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, SQ = soma dos quadrados, QM = quadrado médio, F = valor calculado da estatística F, Modelo = altura real, altura preditas equação 1 e 2, ** e n s = significativo e não significativo a 5% de confiabilidade, respectivamente

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, constata-se uma tendência significativa das alturas para caracterização da relação hipsométrica. Exceção são as unidades amostrais 7, 8 e 13 onde os efeitos de altura, estatisticamente, foram insignificantes. Assim, ao se aplicar o teste de comparações múltiplas de Dunnett (Tabela 6), onde a altura real foi considerada como sendo testemunha, ou, comparador, obteve-se erros entre altura predita e altura real de 0% a 27,03% e de 0% a 24,16% para equações 1 e 2, respectivamente. Nota-se que, nas UA's 1, 3, 7 e 8, o desvio quando aplicado a equação 1 não apresentaram diferenças significativas. O mesmo aconteceu com a equação 2, porém, nas UA's 1, 2, 4, 7, 8 e 9. Na análise do desvio médio, verifica-se uma tendência das equações 1 e 2 em superestimar e subestimar as alturas preditas em média de 11,84% e 8,79%, respectivamente. Portanto, pode-se inferir que o uso do sistema de amostragem

SA50, adotando-se a equação 2 (ANDRADE *et al.*, 2015), resulta em melhor desempenho para caracterização da relação hipsométrica de cerrado *sensu stricto*.

Tabela5 - Desdobramento de modelos dentro das parcelas, para estudo do comportamento da altura (real, preditas pelos modelos1 e 2) ajustados com os dados amostrais SA50 em um povoamento inequívoco de cerrado tocantinense

Causa da Var.	GL	SQ	QM	F
Mod. d. UA1	2	6,469	3,23	4,612 ^{**}
Mod. d. UA2	2	21,745	10,873	15,503 ^{**}
Mod. d. UA3	2	11,954	5,977	8,522 ^{**}
Mod. d. UA4	2	17,046	8,523	12,153 ^{**}
Mod. d. UA5	2	47,650	23,825	33,971 ^{**}
Mod. d. UA6	2	18,439	9,220	13,146 ^{**}
Mod. d. UA7	2	2,814	1,407	2,006 ^{ns}
Mod. d. UA8	2	0,857	0,429	0,611 ^{ns}
Mod. d. UA9	2	18,246	9,123	13,008 ^{**}
Mod. d. UA10	2	14,955	7,478	10,662 ^{**}
Mod. d. UA11	2	9,841	4,920	7,016 ^{**}
Mod. d. UA12	2	44,340	22,170	31,611 ^{**}
Mod. d. UA13	2	1,599	0,800	1,140 ^{ns}
RESIDUO (b)	702	492,3446	0,7013	-

Mod. d.UA = modelos dentro das unidades amostrais, ** e ns= significativo e não significativo a 5% de confiabilidade, respectivamente.

Tabela 6 - Teste Dunnett e estatísticas de comparação das alturas preditas para povoamento de cerrado *sensu stricto* tocantinense

UA	\bar{h}	h eq ₁	D ₁	D ₁ (%)	h eq ₂	D ₂	D ₂ (%)
1	5,75	6,22	0,472 ^{ns}	0,00	5,56	1,236 ^{ns}	0,00
2	4,57	5,81	-0,187 ^{**}	27,03	5,05	0,476 ^{ns}	0,00
3	6,00	6,06	0,063 ^{ns}	0,00	5,23	-0,767 ^{**}	12,78
4	4,66	5,75	1,091 ^{**}	23,41	5,06	0,404 ^{ns}	0,00
5	7,54	6,37	-1,168 ^{**}	15,50	5,72	-1,821 ^{**}	24,16
6	5,00	5,99	0,995 ^{**}	19,90	5,99	0,993 ^{**}	19,86
7	6,14	5,97	-0,175 ^{ns}	0,00	5,70	-0,445 ^{ns}	0,00
8	5,54	5,71	0,170 ^{ns}	0,00	5,47	-0,071 ^{ns}	0,00
9	6,21	5,47	-0,746 ^{**}	12,00	6,59	0,376 ^{ns}	0,00
10	6,25	5,23	-1,021 ^{**}	19,90	5,60	-0,650 ^{**}	19,86
11	6,54	5,76	-0,773 ^{**}	11,83	5,87	-0,667 ^{**}	10,20
12	7,32	5,80	-1,521 ^{**}	20,78	5,76	-1,560 ^{**}	21,31
13	5,46	5,66	0,196 ^{**}	3,58	5,80	0,337 ^{**}	6,16
Média	-	-	-	11,84%	-	-	-8,79%

em que: h eq₁ = média das alturas preditas pela equação, D₁ = desvio de heq₁ em relação \bar{h} (m), D₁% = desvio médio em porcentagem da h eq₁, h eq₂ = média das alturas preditas pela equação 2, D₂ = desvio de heq₂ em relação a \bar{h} (m), D₂% = desvio médio em porcentagem da h eq₂, ** e ns = significativo e não significativo a 5% de confiabilidade, respectivamente.

Embora o SA50 tenha sido selecionado como melhor sistema de amostragem, a diferença verificada entre SA40 foi mínima. Por isso, propõe-se para estudos posteriores, que seria mais apropriado delimitar os sistemas de amostragem em porcentagem entre 40% e 50% atenuando-se ao fato da variabilidade e a representatividade dos dados do grupo de ajuste influir na acurácia dos sistemas, pois, segundo Andrade *et al.* (2015), a relação hipsométrica em área de cerrado é mais complexa que em outro tipo de floresta nativa dado à grande variabilidade neste tipo de formação florestal.

Conclusões

Os sistemas de amostragem de dados de relação hipsométrica exercem influência na predição da altura de árvores do cerrado *sensu stricto*, em que, o modelo hipsométrico $Ln(h) = b_0 + b_1(N) + b_2\left(\frac{dq}{d}\right) + b_3\left(\frac{1}{d}\right) + Ln(\varepsilon)$ foi o mais adequado para caracterizar a relação hipsométrica em inventários florestais de cerrado *sensu stricto* tocaninense e deve ser ajustada utilizando 50% dos indivíduos arbustivos-arbóreos de cada parcela.

Propõe-se para estudos posteriores o agrupamento estratificado dos dados de ajuste para composição da relação hipsométricas para área de cerrado *sensu stricto*. Recomenda-se desenvolver outros estudos para identificar a melhor estratégia de ajuste dos modelos hipsométricos em outras regiões em cerrado *sensu stricto* tocaninense.

SANTOS, M. J. F.; ANDRADE, V. C. L.; SOUZA, P. B. Relative data sampling of hypsometric relationship in the savana region of Tocantins. *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, v.34, n.4, p.633-645, 20116.

- **ABSTRACT:** *This study aimed to evaluate different sampling systems of hypsometric relationship data in a Cerrado area situated in northeastern Tocantins State, Brazil. To this end, 13 plots with an area of 1000 sq m each were used, in which, five simulations of sampling systems were applied for adjustment of the following hypsometric models: $Ln(h) = b_0 + b_1\left(\frac{1}{d}\right) + Ln(\varepsilon)$ and $Ln(h) = b_0 + b_1(N) + b_2\left(\frac{dq}{d}\right) + b_3\left(\frac{1}{d}\right) + Ln(\varepsilon)$. These models had coefficient of determination ranging from 0.419 to 0.509 and standard error of estimate from 27.66% to 29.75%. From a completely randomized design in a split plot scheme, with subsequent application of Dunnett test, both at the level of 0.05, the study revealed that the sampling system with 50% of the trees in each plot produced the best equations of height (h) according to the diameter at breast height (d), quadratic diameter (dq) and number of specimens per hectare (N).*
- **KEYWORDS:** *Hypsometric models; forest inventory; Dunnett test.*

Referências

ANDRADE, V. C. L.; KROETZ, E. A.; NICOLA, A.; SOUZA, P. B.; NOHAMA, F. K.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S. Amostragem e agrupamento de dados de relação hipsométrica em inventários florestais de Cerrado Tocantinense. *Pesquisa florestal brasileira*, v.35, n.83, p.227-238, 2015.

ANDRADE, V. C. L.; MARTINS, S. V.; CALEGARIO, N.; CHICHORRO, J. F. Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do

volume de árvores em um fragmento de Mata Atlântica. *Scientia Forestalis*, v.70, p.31-37, 2006

ANDRADE, V. C. L.; SCHIMITT, T.; BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Avaliação de modelos hipsométricos para clones de eucalipto na região sul do estado do Tocantins. In: CORTE, A. P. D. (Ed.). *Atualidades em mensuração florestal*. Curitiba, 2014.

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R.; NETTO, S. P.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eramanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.32, n.71, p.257-268, 2012.

ATLAS DO TOCANTINS: *Subsídios ao planejamento à gestão territorial*. 6.ed. Palmas: Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente, 2012. 18-21p. Disponível em: <http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/Publicacoes/Atlas2012/z_Completo_Atlas_do_Tocantins_2012_portugues.pdf>. Acesso em: 10jul. 2015.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relação hipsométricas: estudo em três florestas. *Scientia Forestalis*, v.60, p.149-163, 2001.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E.B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracinga da região metropolitana de Curitiba, PR. *Revista Árvore*, v.28, n. 4, p.517-533, 2004.

BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. *Boletim de Pesquisa Florestal*, n.45, p. 03-28, 2002.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S. Estrutura Diamétrica e Estado de Conservação de Fragmentos Florestais no Cerrado Brasileiro. *Floresta e Ambiente*; v.17, n.1, p.51-62, 2010.

CALEGARIO, N.; SCOLFORO, J. R. S.; SOUZA, A. L. Estratificação em alturas para floresta natural heterogênea: uma proposta metodológica. *Cerne*, v.1, n.1, p.58-63, 1994.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na Região Oeste do Estado do Paraná. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, v.1, n.2, p.79-88, 2003.

CARDOSO, D. J.; MACHADO, S. A.; ROSOT, N. C.; EMERECIANO, D. B. Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e Sudoeste do estado do Paraná. *Floresta*, v.19, n.1/2, p.96-115, 1989.

COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. *Acta Botânica Brasileira*. v.20, n.1, p. 13-23, 2006.

CURTO, R. A. J.; LOUREIRO, G. H. MÔRA, R; MIRANDA, R. O. V; NETTO, S. P; SILVA, G. F. Relações hipsométricas em floresta estacional semidecidual. *Ciências Agrárias*, v.57, n.1, p.57-66, 2014.

EITEN, G. Delimitação do conceito de Cerrado. *Arquivos do Jardim Botânico*, v. 21, p.125-134. 1977.

FINGER, C. *Fundamentos da biometria florestal*. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria / CEPEF / FATEC, 1992. 269p.

HESS, A. F.; BRZ, E. M.; THAINES, T.; MATOS, P. P. Ajuste de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, v.10, n.1, 2014.

IBGE. Mapas de Biomas de Vegetação, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 15, set. 2015.

IMANÃ-ENCINAS, J; SANTANA, O. A; MACEDO, L. A; PAULA, J. E. Distribuição diamétrica de um trecho da floresta estacional semidecidual na área do Ecomuseu do Cerrado. *Cerne*, v.14, n.1, p.33-45, 2008.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. *Revista Árvore*, v.27, n.3, p.301-310, 2003.

MACHADO, R. B.; NETO, M. B. R.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEINGER, M. *Estimativas de perda de área do cerrado brasileiro*. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília-DF, 2004. Disponível em: <<http://conservacao.bio.br/index.php/publicacoes?download=12:estimativas-de-perda-da-area-do-cerrado-brasileiro-relatorio-tecnico-nao-publicado>>. Acesso em:22, out. 2015.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, K. A. L. D.; SILVA, C. R. da; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, S. J Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.56, p.5-16, 2008.

MENDONÇA, A. R.; CALEGARIO, N.; SILVA, G. F.; BORGES, L. A. C.; CARVALHO, S. P. C. Modelos hipsométricos e de crescimento em altura das árvores dominantes e codominantes para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Scientia Forestalis*, v.39, n.90, p.151-160, 2011.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. In: *O Bioma Cerrado*, 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: 16 set. 2015.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v.403, p.853-858.

PAULA, J. E.; IMANÃ-ENCINAS, J.; SANTANA, O. A. Levantamento florístico e dendrométrico de um hectare de Cerrado *sensu stricto* em Planaltina, Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, n.4, p.292-296, 2007.

PIZATTO, W. *Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo – PR 1995 a 1998*. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

- RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M. de; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. *Cerne*, v.16, n.1, p.22-31, 2010.
- ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L. f. no município de Monte Dourado, Pará. *Scientia Forestalis*, v.39, n.91, p.301-307, 2011.
- SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. RIBEIRO, J. F. *Cerrado: Ecologia e Flora*. Brasília: Embrapa, v.1, 2008. 408p.
- SANQUETA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; ROGLIN, A.; PIMENTEL, A. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. *Iheringia: Série Botânica*, v.68, n.1, p.103-114, 2013.
- SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE JUNIOR, H. U.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de *taper* para onze espécies nativas. *Revista Árvore*, v.35, n5, p.1039-1051, 2011.
- TIERSCH, C. R.; ANDRADE, M. G.; MOREIRA, M. F. B.; LOIBEL, S. Estimativa da relação hipsométrica em clones de *Eucalyptus* sp. com modelo de Curtis ajustado por métodos Bayesianos empíricos. *Revista Árvore*, v.37, n.1, p.01-08, 2013.
- ZANON, M. L. B. *et al.* Funções para descrever a relação altura diâmetro de *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Ciência Rural*, v.26, n.1, p.87-90, 1996.

Recebido em 04.11.2015

Aprovado após revisão em 01.06.2016