

Scientific Electronic Archives

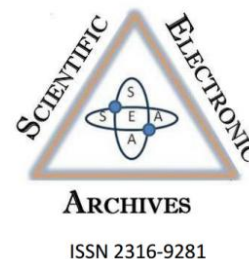
Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 10 (6)

December 2017

Article link

<http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=401&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES.



Índices de densidade para povoamento de *Simarouba amara* Aubl

Density indices for forest stands *Simarouba amara* Aubl

P. A. Mojena

Universidade Federal de Mato Grosso - Campus Sinos

Author for correspondence: pamadormojena@hotmail.com

Resumo. Objetivou-se neste trabalho desenvolver índices de densidade para povoamento de *Simarouba amara* baseados no Fator de Competição de copas, Índice do povoamento de Reineke e de Yoda como medida da densidade. Os dados utilizados provieram de variáveis dendrométricas de 12 parcelas de área fixa (600 m²) e idade de 15 anos, instaladas na região de Sinop-MT. O valor calculado pelo Fator de competição de copas 105 indica alta lotação do povoamento. A guia máxima da relação densidade-tamanho considerando o enfoque de regressão de mínimos quadrados ordinários definiu para um coeficiente angular de -1,9088, um índice de 422 árvores por hectare com o diâmetro quadrático de 25 para o modelo de Reineke e com o modelo de Yoda com um coeficiente de regressão de 0,9937 e tomando como referência 100 árvores o volume foi de 2,43 m³ por hectare. Os diagramas de manejo da densidade para a espécie elaborados com o diâmetro quadrático médio, o número de árvores e o volume por hectare apresentaram uma boa eficiência para estimar os índices de densidade os quais poderiam ser utilizados no manejo da espécie na região.

Palavras-chaves: Reineke, Yoda, Fator de competição de copas, densidade

Abstract. The study aimed to develop indices of density stands *Simarouba amara* based Crown Competition Factor, index of stand of Reineke and Yoda as density measurements. The data used come from dendrometric 12 variables fixed area plots and age 15 installed in the region of Sinop-MT. Calculated by the Crown Competition Factor 105 value indicates high competition among the trees. The maximum size guide density ratio considering the method of ordinary least squares regression defined with a regression coefficient of -1.9088 an index of 422 trees per hectare based on the average diameter of 25 to quadratic model Reineke, Yoda for the model with a regression coefficient of 0.9937 and with reference to 100 trees volume was 2.43 cubic meters per hectare. Management diagrams density for the species produced using the mean quadratic diameter, number of trees per hectare Volume and showed a good efficiency to estimate the density indexes that could be used in the management of the species in the region.

Keywords: Reineke, Yoda, Crown Competition Factor, density.

Introdução

O cálculo da densidade máxima média de um povoamento florestal expressado pelo número de árvores por hectare ou pela superfície do terreno coberto pelas copas das árvores que uma floresta pode atingir ao longo do tempo é considerada o segundo fator mais importante para determinar a produtividade. Esta densidade pode ser controlada com relativa facilidade pelo silvicultor ou gestor da floresta através dos desbastes, constituindo uma das chaves da silvicultura para dar cumprimento aos

objetivos traçados. Pelo geral essa densidade máxima é alcançada em florestas não manejadas, onde as árvores se encontram em um alto grau de competição e o crescimento só acontece pela morte de árvores dominada ou suprimida.

O grau de competição do povoamento florestal é comumente expressado através de índices de densidade que relacionam variáveis de dendrométricas (tamanho e/ou densidade), as variáveis quantitativas são obtidas de estudos ecológicos referentes à competição intraespecífica.

Os primeiros estudos sobre a relação do tamanho e o número de árvores de um povoamento foram feitos por Reineke (1933), com o índice de densidade, cujo coeficiente angular foi -1,605; a regra de D-máximo de Mitchell (1943); o método da percentagem da altura de Wilson (1946) e a lei do autodesbaste, com o valor de -3/2 ou -1,5 para o coeficiente angular, feita por Yoda et al. (1963) o Fator de competição de copas de Krajeik et al. (1963). Essas leis biológicas tratam de explicar a mortalidade em florestas regulares que estão em extrema competição e em todos os casos se parte de funções que relacionam linearmente uma variável relacionada com o tamanho e outra com a densidade do povoamento.

O fator de competição das copas (Crown Competition Factor – FCC) proposto por Krajicek et al. (1961) é um índice que mede a densidade do povoamento. Apresenta-se como uma metodologia adequada para povoamentos regulares e irregulares, esta baseada na projeção horizontal da área de copa das árvores individuais para um diâmetro determinado. Este método é simples e prático, se usa para determinar o espaço máximo possível de crescimento que uma árvore pode utilizar e o número mínimo de árvores crescendo em uma área determinada. O diâmetro de Copa Livre de competição (DCL) é obtido através do modelo linear que tem como variável independente o dap

O Índice de Densidade do Povoamento de Reineke (IDPR), considerado como uma das ferramentas mais úteis para traduzir objetivos de manejo dentro de um programa de desbastes, expressa de forma matemática a relação entre o tamanho das árvores e a densidade do povoamento.

O índice de Yoda (IDY) baseado na lei do autodesbaste (relação máxima-densidade-tamanho) ou lei dos -3/2. Em escala logarítmica natural, a relação entre o número de árvores por unidade de área e sua biomassa média deveria manter uma relação linear com o coeficiente de regressão de -1,5 (Yoda et al., 1963, Pretzsch, 2009). Em dasometria se utiliza o volume médio das árvores e o número de árvores por superfície para avaliar a densidade de um povoamento (Drew & Flewelling, 1979).

O método mais comum para estimar a linha máxima da relação densidade-tamanho consiste em relacionar linearmente a densidade do povoamento e o tamanho das árvores através dos mínimos quadrados ordinários (COM), utilizando dados selecionados de povoamentos coetâneos de máxima densidade (em máxima competição).

Com as relações entre variáveis dos modelos de Reineke e Yoda é possível construir os denominados Diagramas de Manejo da Densidade (DMD) (*Stand Density Management Diagrams*) que permitem planejar e descrever quantitativamente as interações entre produção, densidade e mortalidade em várias etapas do desenvolvimento do

povoamento que auxiliam aos gestores das florestas na tomada de decisões silvícolas

O marupá (*Simarouba amara* Aubl.-Simaroubaceae) ocorre nas Índias Ocidentais, na Amazônia e nos Estados da Bahia, Ceará e Pernambuco. A espécie habita matas de várzeas, onde é mais frequente e atinge maior porte, e é ocasional nas capoeiras e savanas de solo arenoso. A madeira é leve, fácil de trabalhar e muito resistente ao ataque de insetos (Loureiro, 1979). A madeira é recomendada para utilização em ambientes externos, tais como construção civil e naval, pontes, etc (Souza, 1997), é fácil de serrar, aplinar, pregar e aparafusar, recebendo bom acabamento (Cavalcante, 2006). A madeira também é indicada para confecção de tampo de instrumento musical de corda (Slooten & Souza 1993). Nos Estados Unidos é utilizada para tubos de órgãos e teclas de pianos (Marques et al., 2006). Além disso, cita-se vários usos e serviços do marupá como para lenha e carvão, madeira comercial, cerca viva, planta medicinal, sombra e artesanal (Costa et al., 2006).

Objetivou-se neste trabalho desenvolver índices de densidade do povoamento para *Simarouba amara* baseados no Fator de Competição de copas, o Índice do povoamento de Reineke e de Yoda utilizando a técnica de mínimos quadrados ordinários nos modelos de Reineke e Yoda, estimar as linhas de autodesbaste para o povoamento como medida da densidade para auxiliar no manejo eficiente das densidades a partir da linha de mortalidade iminente e de máxima densidade de acordo aos diagramas ou guias de densidade.

Metodos

Se coletaram dados dasométricos em 12 parcelas temporais de 600 metros quadrados cada (7.200 m²) distribuídas de forma aleatória em um povoamento de *Simarouba amara* plantado a 4x3 metros com idade de 15 anos na região de Sinop-MT. Foram medidos o diâmetro a 1,30 m, o diâmetro de copa (quatro raios na direção norte-sul, este-oeste), a altura total todas as árvores de cada parcela e se determinou o número de árvores por hectare (N/ha) a partir do número de árvores de cada parcela. Estimaram-se as seguintes variáveis do estado do povoamento: área basal (g, m².ha¹), número de árvores (N/há), diâmetro quadrático (Dq, cm):

$$Dq = \left(\frac{\sum_{i=1}^n dap^2}{n} \right)^{0,5}$$

e volume médio por árvore ,

$$(Vp, m^3) = \frac{\sum_{i=1}^n Vtai}{n}, Vp = V/N/ha$$

Onde. Dq: diâmetro médio quadrático, dap: Diâmetro a 1,30 cm, n: número de árvores na parcela, Vp: volume médio em cada parcela, Vtai: volume total individual de cada árvore na parcela.

Para a relação limitante densidade-tamanho ou modelo de auto desbaste se utilizaram o N/ha versus Dq, Vp para o modelo de Reineke e de Yoda respectivamente.

Fator de Competição de Copa. Ajuste do modelo do FCC.

Partindo do suposto que existe uma correlação alta entre o diâmetro da copa da árvore (Dc) que cresceu de forma livre sem interferências e o diâmetro normal (Krajicek *et al.*, 1961) foi desenvolvido a partir do ajustamento por regressão linear entre o Dc (metros) em função do dap (cm) de todas as árvores inventariadas nas parcelas através da equação 1

$$Dc = b_0 + b_1 * dap \quad (3)$$

Onde . b_0 : constante de regressão, b_1 – coeficiente de regressão ajustado a partir das amostras

Área de projeção da copa (Apc) . Expressa em porcentagem a área máxima de terreno que pode ocupar a copa de uma árvore de um dap determinado. Se determino a área de copa de árvores individuais (ac) em m² através da equação.

$$Apc = \frac{\pi}{4} * Dc^2 = \frac{\pi}{4} (b_0 + b_1 dap)^2 \quad (4)$$

Onde Ac, Área de copa de uma árvore individual. Dap, diâmetro a 1,30 cm

Quando se ajusto a **apc** por área máxima de copa individual (acmi), se desenvolvi-o o binômio ao quadrado de acordo com Krajicek *et al* (1961), Zepeda (1984) e Husch *et al* (1993)

$$Apcm = 0,7854 * (b_0^2 + (2*b_0*b_1*dap + b_1^2 dap^2) \quad (5)$$

O valor do FCC para o povoamento com **n** árvore e uma área **A** foi definida por

$$FCC = \frac{\sum Apc}{10000} 100, \quad (6)$$

Que em termos práticos define a porcentagem da ocupação da área de projeção das copas das **n** árvores do povoamento relativamente à superfície total A de ocupação da área florestal do povoamento. Assim um FCC = 100 indica que foi atingida a densidade mínima abaixo da qual o sítio esta subutilizado. Valores superiores a 100 significa que se agrava a concorrência entre as árvores (Clutter *et al.* 1983, (Krajicek, 1961).

Modelo de Reineke em Mínimo Quadrados Ordinários (MCO)

O numero de árvores por hectare para uma densidade completa é variável dependendo do diâmetro médio do povoamento. Para determinar a densidade do povoamento se observou a tendência da curva do numero de árvores por hectare para

todos os diâmetros. Essa curva foi representada pela equação 5 (Reineke, 1963; Pretzsch, 2009)

$$NA = b_0 * Dq^{-b1} \quad (7)$$

Na forma linearizada se obtém o modelo de Reineke para estimar a linha de autodesbaste.

$$\ln (N/ha) = b_0 - b_1 \ln (Dq) \quad (8)$$

Modelo de Yoda em Mínimos Quadrados Ordinários (MCO).

O modelo de auto desbaste de Yoda (Yoda *et al.*, 1963; Montero *et al.*, 2007; Santiago *et al.*, 2013) é determinado pela fórmula 9 e no modelo linear pela 10.

$$Vm = b_0 N^{-b1} \quad (9)$$

$$\ln (vm) = b_0 + b_1 * \ln (N/ha) \quad (10)$$

Onde N/há é o numero de árvores por hectare, Dq, diâmetro quadrático médio por hectare, Vm , volume médio por árvore, Ln, logaritmo natural b_0 , e b_1 são os parâmetros a estimar no modelo de regressão.

Construção de diagrama de densidade

Se construíram guias da densidade tradicional do tipo Reineke e Yoda com as melhores estimações da linha de auto desbaste. Para calcular o índice de densidade relativa de Reineke (IDR) se fixo um diâmetro quadrático de referencia de 25 cm o valor médio observado nas parcelas de amostragem usando a seguinte expressão) (Montero *et al.*, 2007; Pretzsch, 2009):

$$IDPR = N * \left(\frac{25}{Dq}\right)^{-b} \quad (11)$$

O numero de árvores para um diâmetro quadrático médio é considerado como IDPR e esta definido por:

$$N = IDPR * \left(\frac{dq}{25}\right)^{-b} \quad (12)$$

Para o índice de Yoda (IDY) se tomo como referencia 100 árvores por hectare para o calculo em função do volume médio (Vm)

$$IDY = Vm * \left(\frac{100}{N/ha}\right)^b \quad (13)$$

Para calcular o volume médio da árvore residual em função do IDY

$$Vm = IDY * \left(\frac{N/ha}{100}\right)^b \quad (14)$$

Com as formulas anteriores foi possível construir os monogramas conhecidos como guias de densidade. Para delimitar as zonas de crescimento nas guias de densidade se estimo o valor máximo do IDPR e IDY de acordo com a linha do autodesbaste ajustada.

Resultados e discussão

Na tabela 1, estão listados os variáveis dendrométricas do povoamento estudado e usadas para o presente estudo. Verificou-se que o número de árvores apresentou a maior variação com valores entre 433 a 833 árvores por hectare, com um desvio-padrão de 169, que representa um coeficiente de variação de 27,30%. Já o diâmetro médio quadrático com média de 21,09, apresentou valores entre 19,07 e 24,3 cm, o diâmetro de copa com média 7,63 m, com valores entre 4,36m e 7,20 m.

Tabela 1. Valores das variáveis dendrométricas mensuradas no povoamento de *Simarouba amara* usadas no ajuste do modelo de Reineke, Yoda e Krajek

Variáveis	Media	Estatísticos		
		s	Min	Max
Dap	20,91	1,83	18,9	24,17
Dq	21,09	1,81	19,07	24,3
Ht	18,57	2,08	16,38	21,49
Dc	7,63	3,76	4,36	7,20
G	20,90	4,47	15,0	27,36
Vt	276,07	6,67	172,09	411,63
N/ha	619	169	433	833

Dap: diâmetro a 1,30m, Dq: diâmetro médio quadrático, Dc: diâmetro de copa, G: área basal por hectare, Vt: volume total por hectare, N/ha: número de árvores médio por hectare, Min: valor mínimo, Máx: valor máximo, S: desvio padrão

Fator de competição de copas.

Relação diâmetro de copa/diâmetro (dap). O modelo ajustado para a relação Dc- dap para marupa neste estudo geraram os seguintes valores.

$$Dc = 1,093331 + 0,315377 \text{ dap} \quad (R^2 = 0,86 \text{ e } \alpha > 0,0001):$$

Área de copa individual. Com os valores calculados de b_0 e b_1 , se obtém a seguinte equação.

$$Ac = \frac{\pi}{4} * (1,093331 + 0,315377 \text{ dap})^2$$

Para a área de projeção de copa máxima no terreno que pode ser ocupada por uma árvore de diâmetro (dap), expressada em porcentagem de uma hectare (%100) se transformou a Área de copa (Ac) em área projeção de copa máxima individual (apcmi), ao substituir a equação para estimar o diâmetro de copa pelo diâmetro de copa de árvores que crescem sem competição e ao desenvolver o binômio quadrado, se gera a seguinte expressão (Krajicek, et al, 1961)

$$Apcmi = 0,7854 * (1,0933312^2) + [2*(1,0933312 * 0,315377 \text{ dap})] + (0,315377^2 \text{ dap}^2)^2, \text{ e de acordo com a fórmula 2, que é definida como:}$$

$$Apcmi = 0,7854 * (0,938885 + 0,6905 \text{ dap} + 0,09972 \text{ dap}^2)$$

E finalmente

$$Apcmi = 0,938885 + 0,54163 * \text{dap} + 0,07812 * \text{dap}^2$$

O valor do FCC (equação 3) para o povoamento com n árvore e uma área A foi definida por

$$FCC = \frac{10324,5}{10000} * 100 = 103,245, \text{ evidenciando máxima competição de copas, este valor é superior a 100, como definido por Krajek et al. (1961).}$$

O número de árvores por hectare que deveriam crescer livre de competição na área em estudo (Tabela 2) foi calculada a partir do cálculo da Apcmi.

Tabela 2. Número de árvores por hectare para diferentes diâmetros obtidos da equação do FCC

Dap (cm)	N/ha	Dap (cm)	N/ha	Dap (cm)	N/ha
5	1783,01	26	147,09	44	56,68
10	704,51	28	128,98	46	52,18
12	534,05	30	114,02	48	48,21
14	418,72	32	101,53	50	44,67
16	337,08	34	90,97	52	41,50
18	277,19	36	81,99	54	38,66
20	231,94	38	74,27	56	36,11
22	196,94	40	67,59	58	33,79
24	169,29	42	61,77	60	31,47

A análise do comportamento da espécie em cada classe de **dap** poderia ser utilizada na escolha do sistema e a intensidade de exploração, assim como os métodos silviculturais a serem adotados, de maneira que o povoamento seja manejado sem sofrer grandes distúrbios ecológicos. A distribuição diamétrica sugerida de acordo ao FCC apresentaria distribuição diamétrica decrescente, em forma de 'J-invertido' (Figura 1), isto é, encontra-se maior quantidade de indivíduos nas classes de tamanhos menores (dap) e vai diminuindo com o aumento do diâmetro. Isto permitira analisar o estado em que se encontra o povoamento, assim como fazer inferências sobre a descontinuidade das classes diamétricas e as características edafoclimáticas da espécie, além de propor alternativas de manejo. O conhecimento da estrutura e das taxas de crescimento da espécie é a base para o seu manejo.

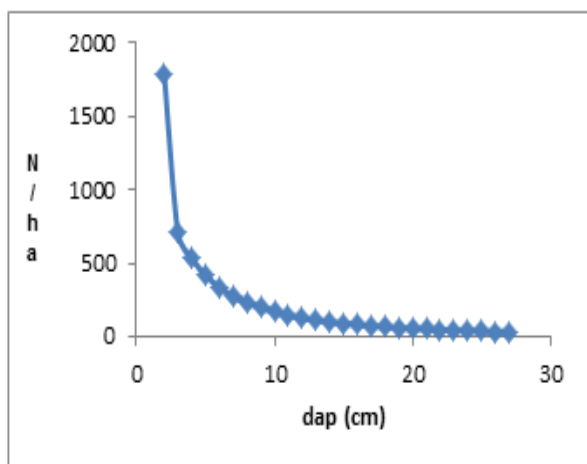


Figura 1. Guia de densidade para marupa com diâmetros desde 5 até 60 cm, com uma distribuição em forma de J invertido com o FCC.

Índice de Densidade de Reineke para o povoamento (IDRP)

O Índice de Reineke (1963) possui como premissa fundamental que para uma espécie determinada, o número máximo de árvores (N/ha) que pode crescer num povoamento coetâneo, completamente povoado, está correlacionado negativamente com seu diâmetro médio quadrático (Dq). O autor também salientou que os parâmetros da equação são independentes da idade e do sítio e, por isso, podem ser empregados para estimar a densidade da população em função do diâmetro médio. Segundo ele, ao transpor para uma escala logarítmica a relação entre o número de árvores por unidade de área e o diâmetro médio quadrático, em povoamentos com densidade completa, tem-se uma linha reta, com um valor constante do coeficiente angular de -1,605, para qualquer espécie.

Aplicando a equação (8) a este grupo de parcelas se obtiveram os seguintes estimadores Ln

$$N = 12,453 - 1.9908 * \ln (dq) \quad (R^2 = 0.89 ; n = 12).$$

O valor do coeficiente de regressão ($b_1 = -1.9908$) difere estatisticamente do valor sugerido por Reineke (1933). Em sua pesquisa, Reineke (1933) determinou no modelo linear um coeficiente angular de -1,605 expressando assim a relação entre o número de árvores por unidade de área e o diâmetro médio quadrático em 12 das 14 espécies investigadas.

O intervalo de confiança (95%) para o estimador “ b_1 ” no presente estúdio apresentou como limites inferior e superior -5,577 e 1,604 (respectivamente), esses valores apesar de incluir o valor reportado de -1,65 por Reineke (1933), apresenta diferença significativa (valores

extremos). O presente estudo sugere para futuros trabalhos sobre o IDR para espécies tropicais, prestar especial atenção a validação estatística do valor teórico calculado por Reineke (1933).

Existe evidencia que o valor do coeficiente de regressão da curva pode variar entre espécies (Zeide, 1987; Williams, 1996); conhecido o valor de “ b_1 ” e utilizando a informação proveniente de povoamentos baixo condições extremas de competição se pode estabelecer o IDPR máximo para a espécie. Este limite estabelece o ponto no qual o crescimento acontece através da redução natural do número de indivíduos (mortalidade ou autodesbaste). Determinando o IDPR máximo para a espécie é possível definir diferentes bandas para o manejo da densidade do povoamento (desbastes), que se ajustam aos objetivos de produção (produção de biomassa, polpa, postes, madeira para serraria).

Chauchard (1999), registraram valores entre -1 e -2 em florestas de *Nothofagus*, Teó et al. (2008) reportaram o valor de -2,173 para bracingais, Schneider et al. (2008) encontram que o coeficiente angular para *Pinus taeda* foi igual a -1,4482, Del Rio et al. (2001), para *Pinus silvestres* citam valores entre -2,33 e -1,54, Müller-Using et al. (2013) para *Nothofagus obliqua* encontram para b_1 o valor de -1,9334, todos (b_1) diferente ao valor inicialmente formulado por Reineke (1933). Isso indica que o coeficiente angular do modelo é diferente para cada espécie e não constante.

O valor máximo do IDPR ($IDPR_{MAX}$) obtido para o povoamento de marupa estudado (formula 9) foi de 442 árvores por hectare, na bibliografia consultada não existe pesquisas sobre IDPR para a espécie em estudo, no presente trabalho assumiremos o valor de 442 arv/ha como apropriado para as plantações de *S. amara*.

Índice de Yoda

Este índice tem sua fundamentação na lei do auto desbaste a qual é definida pela relação máxima da densidade-tamanho, é também conhecida como a lei dos -3/2. De acordo a escala logarítmica natural, se define como a relação entre o número de árvores por unidade de área, assim a biomassa media do povoamento florestal deve manter uma relação linear (Yoda et al., 1963; Pretzsch, 2009). Os valores calculados para o coeficiente angular foi de 0,9937

$$IDY = Vm * \left(\frac{100}{N/ha}\right)^{0,9937} \quad (13)$$

Para calcular o volume médio da arvore residual em função do IDY

$$Vm = IDY * \left(\frac{N/ha}{100}\right)^{0,9937} \quad (14)$$

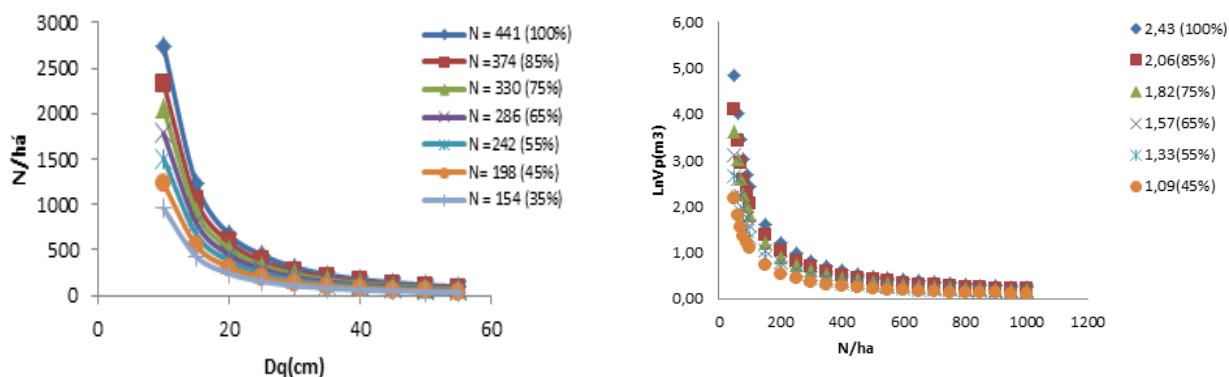


Figura 2: Ajuste dos enfoques do modelo de Reineke, N/ha (dados originais) e Dq (unidades logarítmicas) (esquerda) e modelo de Yoda LnVp e N/há (direita), com uma distribuição em forma de J invertido

Construção da guia de densidade definitiva.
 Se utilizaram as equações geradas para o Índice de Densidade do Povoamento de Reineke (IDPR), as quais definem a linha de máxima densidade de 100% ("Linha A" 442 ar/ha) que separa o intervalo de densidade relativa, considerada como plenamente ocupada do intervalo sobre ocupado. Estimaram-se os diversos graus de densidade com base nos resultados consignados para IDPR, de acordo a metodologia proposta por Gingrich (1967).
 O diagrama do manejo da densidade (DMD) referente ao número de árvores por hectare por classe de IDP se apresenta em forma de tabela (Tabela 3) para o modelo de Reineke. Para a construção do DMD se utilizou um Dq de 25 cm como referência para a definição IDP. O IDP da linha de crescimento livre (35%) foi de 154, o IDP para a linha de

crescimento constante (55%) foi de 242, para a linha de mortalidade iminente (85%), o IDP foi de 374 e para a linha de auto desbaste (100%) o IDR foi de 442.

Na tabela 4 se apresenta os dados de volume em função do N/ha para o modelo de Yoda. Para os cálculos se utilizaram como base 100 árvores por hectare como referência para a definição do IDY. O IDY da linha de crescimento livre (45%) foi de 1,09 m³, o IDY para a linha de crescimento constante (65%) foi de 1,57 m³, para a linha de mortalidade iminente (85%), o IDY foi de 2,06 m³ e para a linha de auto desbaste (100%) 2,43m³.

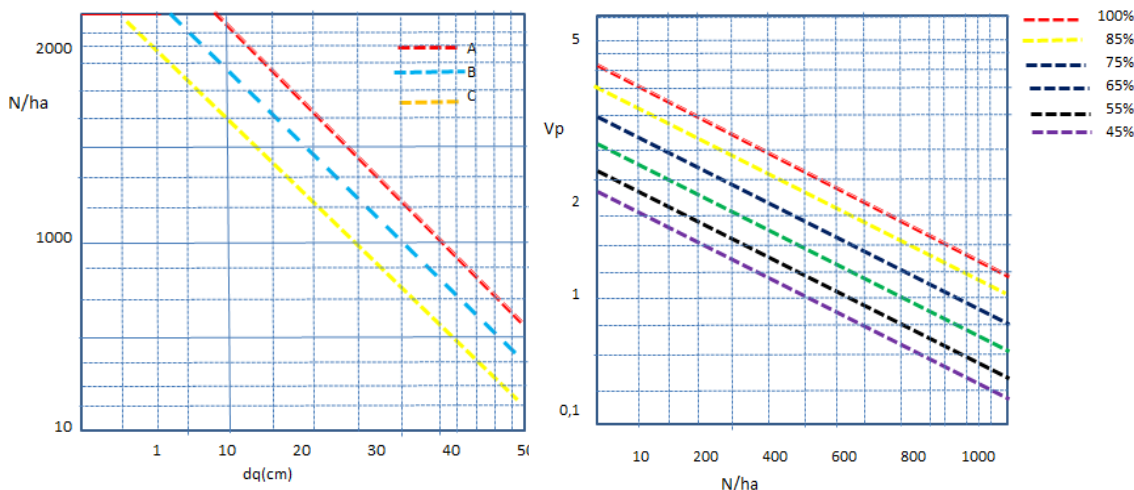


Figura 3. Diagramas de Manejo da Densidade (DMD) estimada com o IDP para o modelo de Reineke (esquerda) e Yoda (direita) para a espécie na área de estudo.

Tabela 3. Diagrama de Manejo da Densidade (DMD) com o modelo de Reineke para *Simarouba amara*

Dq(cm)	Densidade (árvores. ha ⁻¹) por classe de IDP						
	442 (100%)	374 (85%)	330 (75%)	286 (65%)	242 (55%)	198 (45%)	154 (35%)
10	2736	2326	2052	1778	1505	1231	957
15	1221	1038	915	793	671	549	427
20	668	585	516	447	378	310	241
25	442	374	330	286	242	198	154
30	307	261	230	199	169	138	107
35	226	192	169	147	124	101	79
40	173	147	130	112	95	78	60
45	137	116	102	89	75	61	48
50	111	94	83	72	61	50	38
55	92	78	69	59	50	41	32

Tabela 4. Diagrama de Manejo da densidade (DMD) com o modelo de Yoda para espécie.

N	Densidade em volumem média (m ³) por classe de IDY e linhas de densidade (%)					
	2,43 (100%)	2,06 (85%)	1,82 (75%)	1,57 (65%)	1,33 (55%)	1,09 (45%)
50	4,84	4,10	3,62	3,13	2,65	2,17
60	4,04	3,42	3,02	2,61	2,21	1,81
70	3,46	2,94	2,59	2,24	1,90	1,55
80	3,03	2,57	2,27	1,96	1,66	1,36
90	2,70	2,29	2,02	1,74	1,48	1,21
100	2,43	2,06	1,82	1,57	1,33	1,09
150	1,62	1,38	1,22	1,05	0,89	0,73
200	1,22	1,03	0,91	0,79	0,67	0,55
250	0,98	0,83	0,73	0,63	0,54	0,44
300	0,82	0,69	0,61	0,53	0,45	0,37
350	0,70	0,59	0,52	0,45	0,38	0,31
400	0,61	0,52	0,46	0,40	0,34	0,27
450	0,55	0,46	0,41	0,35	0,30	0,24
500	0,49	0,42	0,37	0,32	0,27	0,22
550	0,45	0,38	0,33	0,29	0,24	0,20
600	0,41	0,35	0,31	0,26	0,22	0,18
650	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,17
700	0,35	0,30	0,26	0,23	0,19	0,16
750	0,33	0,28	0,25	0,21	0,18	0,15
800	0,31	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14
850	0,29	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13
900	0,27	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12
950	0,26	0,22	0,19	0,17	0,14	0,12
1000	0,25	0,21	0,18	0,16	0,13	0,11

Pelo geral os DMD em forma de tabela são mais simples de interpretar, já que se podem fazer as prescrições de desbaste em função do IDPR ou IDY com diâmetro quadrático, volumem médio e numero de arvores por hectare.

Dados referentes ao cultivo e crescimento em plantações puras e coetâneas de *S. amara* na América do Sul são registrados por vários autores.

Bendezú (2011) reporta que o dap aos 20 anos foi de 16.2 cm sendo baixo para esta espécie considerada de rápido crescimento. Para esta espécie em plantações em Peru, Revoredó (1999) registro 24.3 cm aos 11 anos e 26 cm aos 15 anos a campo aberto, porem a fonte bibliográfica não indica a densidade da plantação, Baluarte (1999) no Chocó (Colômbia) em plantações realizadas em linhas de enriquecimento registrou um dap de 21.4 cm aos 12.5 anos.

Na tabela 5 se resume a área basal ($G \cdot ha^{-1}$) a qual foi definida a partir do Dq e o número de árvores por hectare para os IDP considerados nas linhas do DMD. A $G \cdot ha^{-1}$ equivalente na linha de mortalidade e de $18,44m^2$, os desbastes poderiam aplicar-se antes de cruzar a linha de mortalidade iminente para evitar perder área basal por competição intraespecífica, sendo assim a prescrição dos desbastes pode ser estimada em função da $G \cdot ha^{-1}$ e com a relação do volume-área basal (Vta/G) se pode converter a volume.

No âmbito internacional, o manejo da densidade baseado no IDR tem sido amplamente utilizado para espécies florestais, no Japão, na América e na Europa, porém, os estudos em espécies latifoliadas tropicais são escassos. Em Costa Rica, o Índice de Densidade do Povoamento (IDPR) foi desenvolvido para as espécies mais utilizadas nos programas de reforestation, Vargas, 1986; Ortiz, (1989) para *Pinus caribaea*, Arias & Campos, (1987) em *Gmelina arborea*, Méndez (1990) para *Alnus acuminata*, Pineda, (1990) para *Bombacopsis quinatum* e *Tectona grandis*.

Tabela 5. Diagrama de manejo da densidade (DMD) para área basal baseado no modelo de Yoda

Dq	100%	85%	75%	65%	55%	45%	35%
10	21,49	18,27	16,12	13,97	11,82	9,67	7,52
15	21,58	18,34	16,19	14,03	11,87	9,71	7,55
20	21,64	18,40	16,23	14,07	11,90	9,74	7,58
25	21,69	18,44	16,27	14,10	11,93	9,76	7,59
30	21,73	18,47	16,30	14,13	11,95	9,78	7,61
35	21,77	18,50	16,32	14,15	11,97	9,79	7,62
40	21,79	18,53	16,35	14,17	11,99	9,81	7,63
45	21,82	18,55	16,37	14,18	12,00	9,82	7,64
50	21,84	18,57	16,38	14,20	12,01	9,83	7,65
55	21,86	18,58	16,40	14,21	12,03	9,84	7,65

Conclusões

O modelo de fator de competição de copas descreveu satisfatoriamente grau de densidade do povoamento.

O método de regressão de mínimos quadrados ordinários oferece uma alternativa para estimar de forma eficiente o limite superior do autodesbaste, sendo coerente com o sugerido pela teoria sobre o povoamento florestal em densidade máxima.

O modelo de densidade de Reineke descreveu satisfatoriamente a linha de máxima densidade em função do dg.

Os Diagramas de Manejo da Densidade - DMD da população, elaborados para as variáveis dendrométricas: diâmetro médio, área basal e volume por hectare, por IDP, apresentaram uma boa eficiência com baixo erro na estimativa dos valores destas variáveis.

As guias de densidade construídas constituem uma ferramenta de ajuda para o manejo da densidade de povoamentos regulares de *Simarouba amara*.

Agradecimentos.

O autor agradece a empresa Madenorte-Sinop, pela ajuda nas medições de dados de campo.

Referencias

ARIAS, D., CAMPOS, N. Evaluación de tres métodos para prescribir aclareos en plantaciones forestales de *Pinus caribaea* y *Gmelina arborea* en Pueblo Nuevo, Sarapiquí. Práctica de especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 95 p.1987.

Baluart, VJ. Experiencias silviculturales en Jenaro Herrera: mantenimiento y manejo de especies forestales promisorias. In Reunión Técnica Experiencias Silviculturales y Agroforestales en la Amazonia (1999, Puerto Maldonado, PE). Memorias. s.p.1999.

Bendezú, YF. Crecimiento y Productividad de Plantaciones Forestales en la amazonia peruana. Instituto Nacional de Innovación Agraria. 64p. 2011.

Cavalcante, LC. Avaliação de novas espécies madeireiras na fabricação do cajón. Monografia, Universidade de Brasília, Brasília. 35 p.2006

Chauchard, LM. Aplicación de leyes fundamentales de la densidad a bosques de *Nothofagus*: I. Regla de los -3/2 o ley del auto rraleo. Bosque, v. 20: 79-94, 1999.

- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pineaar, L.V., Brister, G.H., Bailey, R.L. Timber management: A quantitative approach. Published by John Wiley & Sons Inc, 334 p. 1983.
- Costa, LCB., Rocha, EA., Silva, LAM., Jardim, JG., Silva, DC., Gaião, LO., Moreira, RCT. Levantamento preliminar das espécies vegetais com potencial econômico no Parque Municipal da Boa Esperança, Ilhéus, Bahia, Brasil. Acta Farmacéutica Bonaerense, 25: 184-91. 2006
- Del Rio, M., Montero, G., Bravo, F. Analysis of diameter-density relationships and self-thinning in nonthinned even-aged Scots pine stands. Forest Ecology and Management, n. 142:79-87, 2001.
- Drew, T J., Flewelling, J W. Stand density management: and alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. Forst Science. 25: 518-532. 1979.
- Flores, Y. B. Crecimiento y Productividad de Plantaciones Forestales. Corporación Grafica Andina SAC. 44p. 2011.
- Gingrich, SF. Growth and yield in uneven aged silviculture and management in the United States. USDA Forest Service. Washington, DC. USA. pp. 115-124. 1967.
- Husch, B., Miller, C., Beers, T. Forest mensuration. Krieger Publishing Co. Malabar, FL USA. 410 p.1993.
- KRAJICEK, J., BRINKMAN, KA., GINGRICH, SF. Crown competition: A measure of density. For. Sci. 7(1): 53-42.1961.
- Marques, MHB., Martins, VA., Souza, MR., Marcus, VSA. Efeito da secagem nas propriedades acústicas da madeira de marupá (*Simarouba amara* Aubl.). Floresta & Ambiente, 12: 57-64.2006.
- Méndez, AJ. Determinación del Índice de Densidad del Rodal (IDR) para prescribir raleos en plantaciones de *Alnus acuminata* en las Nubes de Coronado. Práctica de especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 102 p.1990
- Mitchell, HC. Regulation of farm woodlands by rule of thumb. Journal Forestry. v. 41: 243-248.1943.
- Montero, MM., H. M. Santos-Posadas, H., Kanninen, M. *Hyeronima alchorneoides*: ecología y silvicultura en Costa Rica. Serie técnica. Informe técnico/CATIE no. 354. Turrialba. Costa Rica. 50 p.2007.
- Müller-Using, B., Rodríguez, R., Gajardo, O. Desarrollo de una guía de manejo de la densidad en bosques de segundo crecimiento de roble (*Nothofagus obliqua*) en la región del Biobío. BOSQUE 34(2): 201-209.2013.
- Ortiz, E. Utilización del IDR en el manejo de la densidad de plantaciones forestales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 10 p. 1986.
- Pineda, NM. Métodos de raleo cuantitativo para determinar la intensidad de raleo en plantaciones de *Bombacopsis quinatum* (Jacq) Dugan y *Tectona grandis* Linn. Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 56 p.1990.
- Pretzsch, H. Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany. 664 p. 2009.
- REINEKE, LH. Perfecting a stand density index for even-aged forest. J.Agr. Res. 46: 627-638.1933
- Revoredo, N. Evaluación de plantaciones forestales "Barbara D'Achille" y "El Paraíso" en la Carretera Iquitos-Nauta, Perú. In Reunión Técnica Experiencias Silviculturales y Agroforestales en la Amazonia . Puerto Maldonado, PE. 1999.
- Santiago-García, W., H. M. De Los Santos-Posadas, G. Ángeles-Pérez, J. R. Valdez-Lazalde, D. H. Del VALLE-PANIAGUA Y J. J. CORRAL-RIVAS. Auto-aclareo y guías de densidad para *Pinus patula* mediante enfoque de regresión de frontera estocástica. Agrociencia 47: 75-89. 2013.
- Schneider, P. SP., Fleig FD., Schneider, PR. Avaliação da relação densidade e diâmetro em povoamento de *Pinus taeda*. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 481-491.2008.
- Slooten, HJV., Souza, MR. Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para a manufatura de instrumentos musicais. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 123 p.1993.
- Souza, M. H. Madeiras tropicais brasileiras. IBAMA/LPF, Brasília, 152 pp. 1997.
- Téo, SJ., Machado, SA., Silva, LR., Figura. MA. Índice de densidade do povoamento para bracingais da região metropolitana de Curitiba, PR. Cerne, Lavras, v.14, n.1: 54-61.2008.
- Vargas, G. Análisis de cuatro métodos para determinar la intensidad de aclareo. Práctica de especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 128 p.1986.
- Wandelli, E V., Cavalcante, D A. Efeito do plantio agroflorestal adensado de espécies arbóreas na eliminação da vegetação secundária herbácea de

pastagens degradadas. IX Congresso Brasileiro de sistemas Agroflorestais. 2013.

Williams, R.A. Stand density index for loblolly pine plantations in north Louisiana. *South j. Appi.* 20: 110-113. 1996.

Wilson, F.G. Numerical expression of stocking in terms of height. *Journal Forestry.* V. 44: 758-761. 1946.

Yoda, K., Kira, TH. Ogawa,, Hozumi, K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants XI). *J. Institute Polytech. Osaka City University, Series D.* 14: 107-129. 1963.

Zeide, B. Analysis of the 3/2 power law of self-thinning. *For. Sci.* 33: 517-537. 1987.

Zepeda, BEM. Ejemplificación de tres procedimientos para caracterizar rodales por su densidad. Serie de Apoyos Académicos No. 34, Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Bosques. Chapingo, Edo. de Mex. México. 57 p.1984