

# ÍNDICE DE DENSIDADE DO POVOAMENTO PARA BRACATINGAIS NATIVOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA, PR

Saulo Jorge Téó<sup>1</sup>, Sebastião do Amaral Machado<sup>2</sup>, Luís César Rodrigues da Silva<sup>3</sup>, Marco Aurélio Figura<sup>3</sup>

(recebido: 5 de setembro de 2007; aceito 19 de dezembro de 2007)

**RESUMO:** Objetivou-se neste trabalho desenvolver e testar o índice de densidade do povoamento de Reineke (1933) como medida da densidade dos povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). Os dados utilizados provieram da medição de diâmetros em 225 parcelas com áreas variando de 100 a 400 m<sup>2</sup> e idades de 3 a 18 anos, instaladas em bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba, Paraná. Primeiramente, foi utilizado um teste de detecção de observações atípicas (“outliers”), o qual indicou a conveniência de eliminar 14 parcelas, para então fazer o ajuste do modelo proposto por Reineke (1933), resultando assim a equação que expressa o índice de densidade do povoamento. Os índices de densidade do povoamento médio, máximo e mínimo encontrados para bracatingais da Região Metropolitana de Curitiba foram respectivamente de 202, 541 e 73 árvores por hectare. De acordo com os resultados encontrados nesta pesquisa o coeficiente  $b_1$  do modelo proposto por Reineke (1933) deve ser estimado para cada espécie.

Palavras-chave: Índice de Reineke, diâmetro médio quadrático, *Mimosa scabrella*.

## STAND DENSITY INDEX FOR *Mimosa scabrella* STANDS IN CURITIBA METROPOLITAN REGION

**ABSTRACT:** This research developed and tested the Reineke's (1933) stand density index as a density measurement of the *Mimosa scabrella* Benth. stands. The used data came from dbh measurements in sampling plots with area ranging from 100 to 400 m<sup>2</sup> and ages from 3 to 18 years, installed in native *Mimosa scabrella* stands of the Curitiba Metropolitan Region, Paraná State, Brazil. Initially, it was used a test for outlier detection, which indicated the convenience to reject out 14 sampling plots, for then proceed the fitting of the Reineke's (1933) model, resulting the regression equation which expresses the stand density index. The average, maximum and minimum stand density index for *Mimosa scabrella* stands of the Curitiba Metropolitan Region were respectively 202, 541 and 73 trees per hectare. In agreement with the results founded in this research the coefficient proposed by Reineke (1933) have to be estimated by species.

Key word: Reineke's stand density index, quadratic mean dbh, *Mimosa scabrella*.

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de manejo da bracatinga possui características que a tornam uma espécie ideal para ser cultivada em pequenas propriedades rurais da Região Metropolitana de Curitiba, PR. Como algumas dessas características podem ser citadas o rápido crescimento e rotação relativamente curta, a possibilidade de associação com espécies agrícolas, a regeneração natural induzida pelo fogo, a proximidade de centros consumidores de lenha, o recente desenvolvimento de usos alternativos para a madeira de bracatinga, a simplicidade nos processos de corte, extração e carregamento da madeira, e de modo geral não demandar tecnologias sofisticadas, entre outras. Essas características fazem com que a bracatinga possa ser inserida no contexto produtivo da pequena propriedade rural, além de vir de encontro com a realidade do pequeno

produtor rural. Esse fato pode ser comprovado pelo cultivo tradicional da bracatinga na região, que data do início do século XX.

O índice de densidade do povoamento de Reineke (*IDR*) possui características, como: simplicidade, ser livre de correlação com a idade e índice de sítio e possuir aplicabilidade geral (REINEKE, 1933). Em outras palavras, o índice de densidade do povoamento usa variáveis de fácil obtenção, pode ser comparado entre povoamentos de diferentes idades e classes de sítios, pode ser utilizado para toda uma região ou somente para as florestas de uma empresa, para uma determinada espécie ou povoamentos mistos. A equação desenvolvida por Reineke (1933) expressa a relação entre o número de árvores por unidade de área ( $N$ ) e diâmetro médio quadrático ( $dg$ ).

O *IDR* é o número de árvores por unidade de área que um povoamento deveria ter com um determinado

<sup>1</sup>Mestrando em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná/UFPR – Bolsista CAPES – Av. Lothário Meissner, 632 – Jardim Botânico – 80210-170 – Curitiba, PR – sauloteo@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Professor Sênior do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná/UFPR – Pesquisador 1A do CNPq – Av. Lothário Meissner, 632 – Jardim Botânico – 80210-170 – Curitiba, PR. – samachado@ufpr.br

<sup>3</sup>Graduandos em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná/UFPR – Bolsista IC/CNPq – Av. Lothário Meissner, 632 – Jardim Botânico – 80210-170 – Curitiba, PR – nabravomova@hotmail.com; figura\_floresta@hotmail.com

diâmetro médio quadrático. O *IDR* é obtido consultando um gráfico de índice de densidade para uma determinada espécie (HUSCH, 1982). Para facilitar a comparação do *IDR*, é usado o número de árvores com base no diâmetro médio quadrático de 25 cm, equivalente a 10 polegadas no sistema inglês de medidas.

De acordo com Reineke (1933), para determinar a densidade de povoamentos é necessário ter uma curva mostrando o número de árvores por unidade de área, para todos os diâmetros médios quadráticos. Os dados para o ajuste dessa curva devem provir de unidades amostrais com povoamentos florestais super-estocados. Essa curva do número máximo de árvores por unidade de área sobre o diâmetro médio quadrático, quando representada num gráfico, assume a forma típica de uma exponencial negativa (côncava), caindo rapidamente nos diâmetros pequenos e aplainando quando os diâmetros maiores são alcançados. Quando representada em escala logarítmica, assume a forma de uma linha reta. Essa curva foi representada pelo modelo matemático,

$$\log N = -1,605 \log dg + k \quad (\text{modelo 01})$$

onde:

$\log$  = logaritmo base 10;

$N$  = número de árvores por unidade de área;

$dg$  = diâmetro médio quadrático;

$k$  = constante que varia com a espécie.

Aparentemente, não há correlação significativa entre idade ou qualidade de sítio e o número de árvores por unidade de área para um dado diâmetro médio quadrático. É então seguro usar a curva do número de árvores com o diâmetro médio quadrático como um padrão, para o qual valores similares de um povoamento individual podem ser comparados para determinar suas densidades (DAVIS & JOHNSON, 1986; REINEKE, 1933). Povoamentos da mesma idade e que estão no mesmo sítio podem ter números de árvores e diâmetros médios diferentes. Essa qualidade de independência da idade ou do sítio faz do índice de densidade do povoamento um parâmetro adicional para descrever o povoamento, especialmente na construção de tabelas de produção (HUSCH, 1982).

Em sua pesquisa, Reineke (1933) encontrou que um modelo linear, com o coeficiente angular fixado em 1,605, expressou a relação entre o número de árvores por unidade de área e o diâmetro médio quadrático de 12 das 14 espécies investigadas. Entre as espécies estudadas por Reineke (1933), em que o modelo foi satisfatório estão: *Abies magnifica*, *Abies concolor*, *Pseudotsuga taxifolia*, *Pinus*

*ponderosa*, *Pinus taeda*, *Pinus palustris*, entre outras. Já para *Pinus elliottii* e *Pinus echinata*, o modelo desenvolvido não foi satisfatório.

Outros estudos notaram que a relação linear expressa pela equação verifica-se para muitas espécies e que a inclinação difere pouco, porém a constante  $k$  (modelo 01) varia consideravelmente (HUSCH, 1982).

O desenvolvimento de uma estimativa para o índice de densidade do povoamento máximo em povoamentos mistos, para avaliação da densidade em escala estratégica foi estudado por Woodall et al. (2005). O *IDR* máximo por espécie variou de acordo com a composição de espécies dos povoamentos estudados. A taxa de aumento do *IDR* máximo por espécie estudada, de composições de espécies heterogêneas para povoamentos puros, parece ser maior para espécies pioneiras quando comparado às espécies mais tolerantes à sombra.

Sterba & Monserud (1993) aplicaram o *IDR* para descrever a variação no potencial de densidade em um dado índice de sítio, sendo esse potencial entendido como a capacidade de diferentes locais dentro de um mesmo índice de sítio para suportar árvores.

O *IDR* foi utilizado para definir o espaçamento de plantio em 3 sítios diferentes e duas rotações para Eucalipto (LACERDA & COUTO, 1993). Os autores se basearam no princípio de que o *IDR* representaria o número de árvores por hectare que se deve plantar para que as árvores do povoamento atinjam um determinado diâmetro médio quadrático, numa idade de corte pré-estabelecida, antes de atingir o autodesbaste.

A chamada Lei do Autodesbaste, ou Lei da Potência  $-3/2$  de Autodesbaste, como o *IDR*, é baseada no conceito de uma máxima relação tamanho-desbaste. No caso da Lei do Autodesbaste, o logaritmo do volume ou do peso médio da árvore é plotado sobre o logaritmo do número de árvores por unidade de área. Para povoamentos puros e equiâneos, que estão suficientemente estocados ocorrendo competição e mortalidade, a inclinação da linha do logaritmo do volume médio versus o logaritmo do número de árvores por unidade de área é de aproximadamente  $-3/2$ , mas o intercepto varia conforme a espécie. Obviamente, a Lei do Autodesbaste é intimamente relacionada com o *IDR*. Na verdade, os dois são matematicamente equivalentes (AVERY & BURKHART, 1994).

Drew & Flewelling (1979) utilizaram a lei do autodesbaste no desenvolvimento de um diagrama de manejo da densidade para *Pseudotsuga menziesii*. O diagrama de manejo é uma ferramenta gráfica para relacionar

a densidade do povoamento, o tamanho da árvore e a produção do povoamento.

Segundo Avery & Burkhart (1994), devido considerações de mensuração e precedentes históricos, o *IDR* tem sido amplamente aplicado nas florestas, como pode se verificar pelos trabalhos de Dean & Baldwin Junior (1996), O'Hara & Valappil (1999), Sterba & Monserud (1993) e Woodall et al. (2005), entre outros.

Esse estudo visou utilizar o índice de densidade do povoamento de Reineke (1933) como medida da densidade, bem como testar o modelo matemático proposto por Reineke (1933) para expressar a estrutura horizontal dos bracingais nativos originados de regeneração induzida pelo fogo, na Região Metropolitana de Curitiba (*RMC*).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados para esse estudo provieram de bracingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba, PR., coletados principalmente na Porção norte, onde há maior ocorrência de bracingais. Os municípios incluídos foram os seguintes: Agudos do Sul, Almirante Tamandaré, Araucária, Balsa Nova, Bocaiúva do Sul, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Colombo, Contenda, Piraquara, Quatro Barras, Rio Branco do Sul, São José dos Pinhais e Tunas do Paraná.

Foram utilizadas 225 unidades amostrais, entre permanentes e temporárias, de 100 até 400 m<sup>2</sup>, englobando bracingais de 3 a 18 anos de idade. Em cada parcela foi medida a circunferência à altura do peito e a altura total de todas as bracingais.

Nesse estudo, foi ajustado o modelo proposto por Reineke (1933), porém o valor do coeficiente  $b_1$  do modelo matemático não foi fixado em 1,605:

$$\log N = b_0 + b_1 \log dg \quad (\text{modelo 02})$$

onde:

$\log$  = logaritmo na base 10;

$N$  = número de árvores por hectare;

$dg$  = diâmetro médio quadrático;

$b_0; b_1$  = coeficientes a serem estimados.

O ajuste do modelo matemático foi feito pelo método dos mínimos quadrados, utilizando a técnica de regressão linear com o "software Estatística version 5" (StatSoft, 1984-1996). No entanto, quando se trabalha com o *IDR*, é necessário mostrar a curva de máxima densidade do povoamento, com relação ao diâmetro médio quadrático e não somente a curva de densidade média, em número de árvores por hectare, representada pela equação ajustada.

Para construir a curva de densidade máxima é preciso ajustar a equação para o ponto de máxima densidade com relação ao diâmetro médio quadrático; esse ajuste é muito suscetível a observações atípicas, portanto, se fez necessário um teste estatístico para detecção dessas.

Observações atípicas são observações com uma combinação única de características identificáveis como sendo notavelmente diferentes das outras observações (HAIR JUNIOR et al., 2005). Segundo Draper & Smith (1966), uma observação atípica é uma peculiaridade e indica um ponto que não é típico do resto dos dados.

Para a detecção de observações atípicas foi utilizado um teste simples, aplicado após um primeiro ajuste do modelo matemático para o conjunto de dados, proposto por Werkema (1996). O teste considera que os resíduos padronizados ( $di$ ) que excederem ao intervalo de +2 e -2 desvios padrão podem ser resultado de observações atípicas.

Os resíduos padronizados são definidos por:

$$di = \frac{ei}{\sqrt{QMR}}$$

onde:

$di$  = resíduo padronizado;

$ei$  = resíduo;

$QMR$  = quadrado médio dos resíduos.

Foram detectadas 14 observações atípicas no conjunto de dados. Para avaliar o efeito das observações atípicas sobre o modelo matemático foi realizado o seguinte procedimento:

a) Eliminaram-se as observações atípicas detectadas pelo teste estatístico.

b) O modelo foi ajustado novamente ao novo conjunto de dados que foi obtido após a eliminação das observações atípicas.

c) Comparou-se, para os dois modelos (ajustados antes e depois da eliminação das observações atípicas), os valores dos coeficientes de ajuste,  $b_0$  e  $b_1$ ; e das estatísticas de ajuste e precisão  $F$ ,  $R^2$  e  $syx\%$ .

d) Se os valores comparados estiverem relativamente próximos, as observações atípicas exercem um pequeno efeito sobre o modelo de regressão.

As situações nas quais uma porcentagem muito pequena dos dados exerce um grande impacto sobre o modelo podem não ser aceitáveis para o usuário da análise de regressão. Uma equação desse tipo não refletirá o relacionamento entre as variáveis independente e dependente que está sendo indicado pela maioria (WERKEMA, 1996).

Desse modo, se o ajuste do modelo depois da detecção das observações atípicas for significativamente melhor, essas devem ser excluídas.

De posse do modelo 2 ajustado para os dados dos bracatingais, foi possível traçar a curva do *IDR*, a qual representa o número de árvores por unidade de área que um povoamento deveria ter, com um determinado diâmetro médio quadrático. A curva do *IDR* médio para o povoamento é representada pela equação ajustada para o conjunto dos dados, e pode ser traçada num gráfico plotando-se os resultados de *N*, para um dado diâmetro médio quadrático (*dg*). Para facilitar o ajuste das curvas de *IDR* máximo e mínimo, a curva de *IDR* médio foi definida como densidade relativa de 100%.

Para obter-se a curva de máximo *IDR*, primeiramente foi identificado o ponto com maior *IDR*. Então, com o auxílio da curva de *IDR* médio (densidade relativa de 100%) foi possível identificar a densidade relativa do ponto de máximo *IDR*; e assim, construir uma curva que passa por esse ponto. Procedeu-se da mesma forma para construir a curva de mínimo *IDR* e as curvas com *IDR* correspondente às densidades relativas de 50, 75, 150 e 200%. Foi traçada uma linha vertical na posição equivalente ao *dg* de 25 cm, para facilitar a leitura do *IDR* nos gráficos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes estimados e as estatísticas de ajuste e precisão do modelo ajustado para os dados das 225 parcelas, bem como os correspondentes valores para o modelo ajustado para os dados após a eliminação das possíveis observações atípicas, observam-se na Tabela 1. O teste de detecção de observações atípicas, conforme descrito anteriormente, apontou que os dados de 14, das 225 parcelas, podem ser resultado de observações atípicas.

Quando se compara os valores dos coeficientes estimados ( $b_0$  e  $b_1$ ) pelo ajuste do modelo, é possível notar somente pequenas diferenças, antes e depois da eliminação das possíveis observações atípicas. No entanto, quando as estatísticas de ajuste e precisão são comparadas é possível notar diferenças significativas.

Optou-se, então, pela eliminação das observações consideradas atípicas do conjunto de dados, pelas melhoras nas estatísticas de ajuste e precisão do modelo ajustado para os dados, após a eliminação dessas observações. Além disso, a construção das curvas de *IDR* máximo e mínimo é influenciada diretamente por observações atípicas.

Reineke (1933) baseou-se em observações de que, para uma determinada espécie florestal, a relação entre *N* e *dg* de quaisquer povoamentos superestocados dispõem-se em uma linha reta, quando plotada em um gráfico em escala logarítmica. Na Figura 1 apresenta-se o *N* versus o *dg* para as 211 parcelas do banco de dados, plotados num gráfico em escala logarítmica. A relação entre essas duas variáveis está representada por uma linha reta, a qual passa exatamente no meio da nuvem de pontos. Essa linha reta pode ser representada pela equação ajustada:

$$\log N = 5,34278 - 2,17300 \log dg \quad (\text{equação 1})$$

Nas Figuras 2 e 3 apresentam-se retas do número de árvores por unidade de área, para um determinado *dg*. Tais retas correspondem a um único *IDR*, sendo que todos os povoamentos cujo par *N* - *dg* se localizar sobre a curva, possuem o mesmo *IDR*. Nas duas Figuras, obtém-se o *IDR* pela intersecção das retas de *IDR* com a linha vertical, que indica o *dg* de 25 cm.

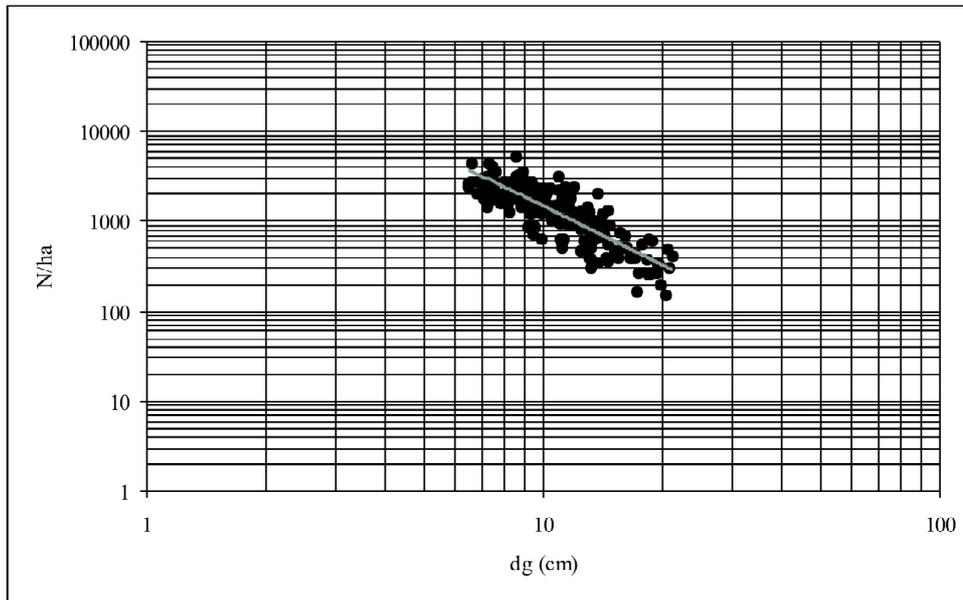
Na Figura 2 apresentam-se as retas de *IDR* máximo, médio e mínimo, para o conjunto de dados. A reta de *IDR* médio pode ser obtida através da equação 1, a qual passa exatamente no meio da nuvem de pontos. As retas de *IDR* máximo e mínimo foram obtidas ajustando-se a equação 1 para o ponto de maior e menor *IDR*, respectivamente.

De acordo com o gráfico da Figura 2, o *IDR* médio, máximo e mínimo para os bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba (*RMC*) é de 202, 541 e 73 árvores por hectare, respectivamente. Com o auxílio do gráfico da Figura 2 e de posse dos valores de *N* e *dg* de qualquer bracatingal da *RMC*, é possível obter o seu *IDR*. Por exemplo, para os valores de *dg* = 10 cm e *N* = 2000 árvores

**Tabela 1** – Resultados do ajuste do modelo, antes (1) e depois (2) do teste de detecção de observações atípicas.

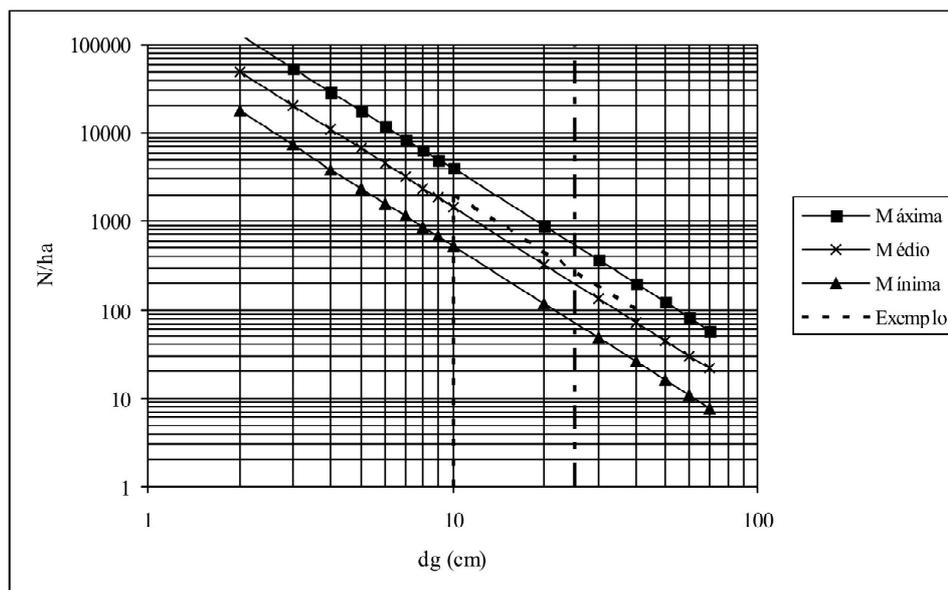
**Table 1** – Results of the fitted model, before (1) and after (2) the test for outlier detection.

Modelo de Reineke	$b_0$	$b_1$	<i>F</i>	$R^2$	<i>syx</i> %
(1) $\log N = b_0 + b_1 \log dg$	5,34643	-2,18197	316,02	0,58629	7,43
(2) $\log N = b_0 + b_1 \log dg$	5,34278	-2,17300	547,09	0,72358	5,33



**Figura 1** – Gráfico do número de árvores por hectare ( $N$ ) versus o diâmetro médio quadrático ( $dg$ ) para bracatingais nativos da RMC, plotados em escala logarítmica.

**Figure 1** – Number of trees per hectare ( $N$ ) versus the quadratic mean diameter ( $dg$ ) for *Mimosa scabrella* stands from the Curitiba Metropolitan Region (CMR), plotted on a log-log scale.



**Figura 2** – Retas do máximo, médio e mínimo  $IDR$ , para bracatingais nativos da RMC. Exemplo de obtenção do  $IDR$  para um bracatingal qualquer da RMC.

**Figure 2** – Maximum, average and minimum  $SDI$  lines, for *bracatinga* stands from the CMR. Exemple of  $SDI$  for a *Mimosa scabrella* stand from the CMR.

por hectare, o valor *IDR* é obtido traçando-se uma reta paralela às retas de *IDR*, passando pelo par de pontos (10, 2000) para *dg* e *N*, onde essa reta cruzar o *dg* de 25 cm faz-se a leitura do *IDR* de 273 árvores por hectare.

O *IDR* também pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$IDR = N \left( \frac{dg}{25} \right)^{b_1}$$

onde:

*N* = número de árvores por unidade de área;

*dg* = diâmetro médio quadrático;

*b<sub>1</sub>* = coeficiente estimado do modelo de Reineke.

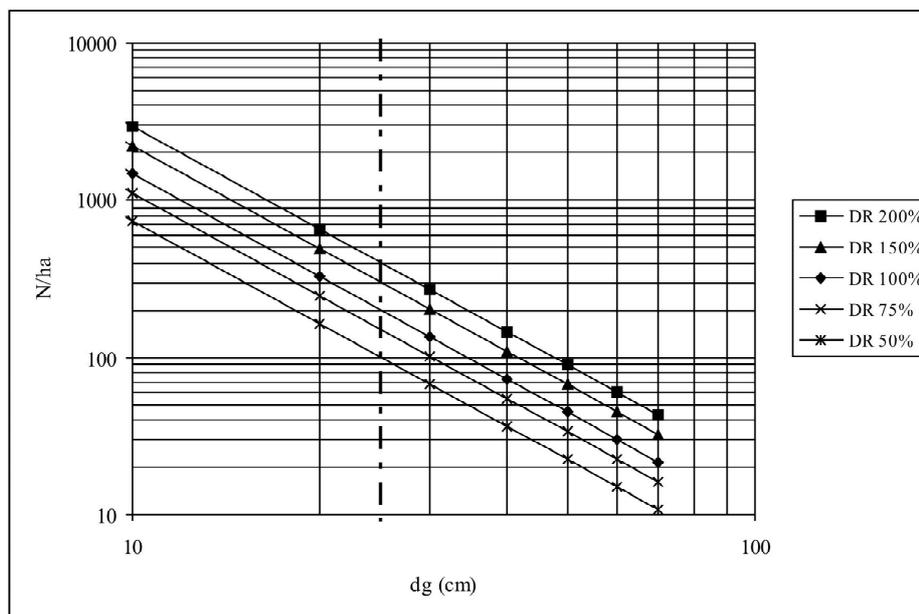
Na Figura 3 apresentam-se as retas de *IDR* médio (*DR* 100%) e para as densidades relativas de 50, 75, 150 e 200%. Os valores do *IDR* para as densidades relativas de 50, 75, 100, 150 e 200% são, 100, 151, 202, 303 e 404 árvores por hectare, respectivamente.

Utilizando-se a Figura 3, da mesma maneira que a Figura 2, é possível determinar o *IDR* de um bracatingal qualquer da *RMC*, conhecendo o seu *N* e *dg*. Além do mais, é possível comparar o valor do *IDR* encontrado, com os valores do *IDR* médio e dos *IDR*'s para as diferentes densidades relativas encontrados para os dados dessa pesquisa.

É possível notar que o coeficiente *b<sub>1</sub>* resultante do ajuste do modelo de Reineke (1933) para os dados dos bracatingais nativos da *RMC* foi de -2,173, diferente do valor de -1,605, encontrado por Reineke (1933) para 12 espécies florestais. Esse coeficiente de -2,173 indica que há uma maior taxa de decréscimo do *N* com o aumento do *dg*, quando se compara os povoamentos de bracatinga com os povoamentos das 12 espécies estudadas por Reineke (1933).

Segundo Reineke (1933), o modelo 1, citado anteriormente, representa a relação *N/dg* para a maioria das espécies florestais; devendo ser utilizado com o valor de -1,605 para o coeficiente angular do modelo e somente a constante *k* deve mudar de acordo com a espécie florestal. No entanto, 2 das 14 espécies estudadas por Reineke (1933) não apresentaram conformidade com o modelo 1. Reineke (1933) atribuiu esta não-conformidade das espécies *Pinus elliottii* e *Pinus echinata* à influência do fogo. Há grandes chances de povoamentos maiores e mais velhos terem sofrido danos pelo fogo, apresentando menos árvores por unidade de área.

A bracatinga é conhecida por constituir grupamentos puros, uma vez que nas áreas de cultivo, a cobertura superior é exclusivamente formada pelas copas



**Figura 3** – Retas de *IDR* médio (*DR* de 100%) e para as densidades relativas de 50, 75, 150 e 200%, para bracatingais nativos da *RMC*.

**Figure 3** – *SDI* average lines (Relative Density of the 100%) and for 50, 75, 150 and 200% of relative density, for *Mimosa scabrella* stands from the *CMR*.

da mesma (CARVALHO, 2003; LAURENT et al., 1990). No entanto, em povoamentos mais velhos há acentuada morte de bracatingas a cada ano, mostrando que, pelo aparecimento de sub-bosque constituído por plantas mais exigentes, o povoamento natural passa por intenso processo sucessional (CARVALHO, 2003).

Meyer (1953), citado por Husch et al. (1982) propôs um modelo exponencial para a distribuição diamétrica de florestas multiâneas. Segundo esse trabalho, altas taxas de redução do número de árvores com o aumento do diâmetro, geralmente, são associadas com valores altos para a constante  $k$  do modelo, a qual indica o valor de  $N$  quando o diâmetro é igual a zero. Ou seja, quanto maior a constante  $k$  maior será a taxa de diminuição do  $N$  em relação ao diâmetro.

Em seu trabalho utilizando a Lei do autodesbaste, Zeide (1987) afirmou que as propriedades das espécies, em particular a tolerância à sombra, também afetam a inclinação da curva  $N/dg$ .

A inconformidade da equação ajustada para os dados desse trabalho com relação ao modelo proposto por Reineke (1933) pode ser atribuída a algumas características da bracatinga, como: a grande densidade inicial dos povoamentos puros de bracatinga, podendo chegar a mais de cem mil mudas por hectare (LAURENT et al., 1990); o forte caráter heliófilo da espécie; a acentuada mortalidade nos povoamentos maduros e a pouca longevidade da espécie. Essas características podem explicar uma alta taxa de diminuição do  $dg$  com relação ao  $N$ , evidenciada pelo valor de -2,173 para o coeficiente  $b_1$  do modelo matemático ajustado para os dados dessa pesquisa.

Os valores de  $IDR$  máximo relatados por Reineke (1933), para diversas espécies de coníferas apresentaram valores em torno de 700 a 1000 árvores por acre, que equivalem a 1700 a 2500 árvores por hectare. Os valores de  $IDR$  máximo encontrados para *Pseudotsuga taxifolia*, *Eucalyptus globulus* ficaram em torno de 1500 e 1200 árvores por hectare. Já para *Pinus taeda* e *Pinus palustris* os valores de  $IDR$  máximo encontrados foram de 1000 árvores por hectare.

O  $IDR$  máximo encontrado para bracatinga, nesse trabalho, foi significativamente mais baixo do que os valores encontrados por Reineke (1933).

#### 4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados nessa pesquisa, o modelo proposto por Reineke (1933) para expressar a relação entre  $N$  e  $dg$  não deve ser utilizado com

o valor do coeficiente  $b_1$  fixado em -1,605, o qual deve ser ajustado para cada espécie. O coeficiente  $b_1$  ajustado para os dados dessa pesquisa foi de -2,173, o qual indica maior taxa de diminuição do  $N$  com relação ao  $dg$ .

A alta taxa de diminuição do  $N$  com relação ao  $dg$  pode ser explicada pelas características peculiares da espécie, como: altas densidades iniciais, ser fortemente heliófila, apresentar alto índice de mortalidade e baixa longevidade. O  $IDR$  constitui uma boa medida da densidade dos povoamentos, principalmente quando se deseja comparar densidades de povoamentos de diferentes idades e localização. O  $IDR$  médio, máximo e mínimo encontrado para os bracatingais da Região Metropolitana de Curitiba foram de 202, 541 e 73 árvores por hectare, respectivamente.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book, 1994. 400 p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa, 2003. v. 1, 1039 p.
- DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3. ed. New York: McGraw-Hill Book, 1986. 789 p.
- DEAN, T. J.; BALDWIN JUNIOR, V. C. The relationship between Reineke's stand-density index and physical stem mechanics. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 81, p. 25-34, 1996.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley & Sons, 1966. 407 p.
- DREW, T. J.; FLEWELLING, J. W. Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir Plantations. **Forest Science**, Bethesda, v. 25, n. 3, p. 518-532, 1979.
- HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 600 p.
- HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3. ed. New York: Ronald, 1982. 402 p.
- LACERDA, J. S. de; COUTO, H. T. Z. do. **O uso da Lei do Autodesbaste na definição do espaçamento para plantios de Eucalyptus**. Piracicaba: IPEF, 1993. (Circular técnica, 182).

LAURENT, J. E.; PEDREIRA, M. do R. R.; CARPANEZZI, O. T. B.; BITTENCOURT, S. M. de. **Melhoramento do sistema agroflorestal da bracatinga**. Curitiba: Projeto FAO-GCP/BRA/025/FRA, 1990. 128 p.

O'HARA, K. L.; VALAPPIL, N. I. Masam: a flexible stand density management model for meeting diverse structural objectives in multiaged stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 118, p. 57-71, 1999.

REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 46, n. 7, p. 627-638, 1933.

STERBA, H.; MONSERUD, R. A. The maximum density concept applied to uneven-aged mixed-species stands. **Forest Science**, Bethesda, v. 39, n. 3, p. 433-452, 1993.

WERKEMA, M. C. C. **Análise de regressão**: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni; UFMG, 1996. 311 p.

WOODALL, C. W.; MILES, P. D.; VISSAGE, J. S. Determining maximum stand density index in mixed species stands for strategic-scale stacking assessments. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 216, p. 367-377, 2005.

ZEIDE, B. Analysis of the  $3/2$  power law of self-thinning. **Forest Science**, Bethesda, v. 33, n. 2, p. 517-537, 1987.