

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
ENGENHARIA FLORESTAL**

**DENDROGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE  
PARA POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii* Engelm NA  
REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Cláudio Thomas**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**DENDROGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE PARA  
POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii* Engelm NA REGIÃO  
CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**por**

**Cláudio Thomas**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**Orientador: Prof. Frederico Dimas Fleig**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**Thomas, Cláudio, 1980-**

**T455d**

Dendrograma de manejo da densidade para povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm na região central do Rio Grande do Sul / por Cláudio Thomas ; orientador Frederico Dimas Fleig. - Santa Maria, 2009.  
60 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2009.

1. Engenharia florestal 2. Dendrograma 3. Densidade de povoamento 4. Desbaste de árvores I. Fleig, Frederico Dimas, orient. II. Título

CDU: 630-049.2

Ficha catalográfica elaborada por  
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

---

© 2009

É permitida a reprodução de partes ou do todo deste trabalho com a devida citação da fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA FLORESTAL**

A Comissão Examinadora abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**DENDROGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE PARA  
POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii* Engelm NA REGIÃO  
CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por  
**Cláudio Thomas**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Frederico Dimas Fleig, Dr**  
(Orientador/Presidente)

**Ivanor Müller, Dr (UFSM)**

**Elodio Sebem, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 04 de Março de 2009.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-graduação do Curso de Engenharia Florestal e quadro de professores, pelo conhecimento que me foi disponibilizado.

Ao meu orientador, Professor Dr. Frederico Dimas Fleig, pelas orientações durante todo o período que estive na pós-graduação, não apenas contribuindo com o desenvolvimento da Dissertação, mas também pelo conhecimento em diferentes áreas.

Aos Professores Co-orientadores Dr. Paulo Renato Schneider, Dr. César Augusto Guimarães Finger, pela contribuição com o trabalho, apoio e amizade.

Aos professores, Dr. Ivanor Müller e Elodio Sebem, pela disponibilidade em contribuir com este trabalho e formação da banca de defesa para obtenção do título de Mestre.

Sra. Cerlene Machado, secretária do PPGEF.

À meus pais, Valter Afonso Thomas, Lili Inês Thomas e meus irmãos, Anselmo Thomas, Edmar Thomas, Cerlene Thomas, pela educação, confiança e apoio, sentimentos e estímulos que nunca foram poupados.

À minha namorada, Jozana Klein, pelo carinho, compreensão e apoio.

Aos meus amigos, que considero demais, por estarem sempre comigo, pois foi nestes que encontrei força para sempre seguir em frente.

## RESUMO

**Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil**

### **DENDROGRAMAS DE MANEJO DA DENSIDADE PARA POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii* Engelm PARA A REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL.**

Autor: Cláudio Thomas  
Orientador: Frederico Dimas Fleig

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 04 de Março de 2009.

Este trabalho teve como objetivos construir um dendrograma de manejo e determinar a densidade adequada para manejo de povoamentos de *Pinus elliottii* para a região Central do Rio Grande do Sul. Para tanto, foram utilizados povoamentos em estoque máximo, em diferentes idades, localizados no campus da Universidade Federal de Santa Maria e proximidades. As variáveis dendrométricas foram obtidas de unidades amostrais de caráter temporário pelo método de determinação da densidade pontual proposto por Spurr, e de árvores isoladas, com copa em crescimento livre. A máxima densidade populacional foi estimada pelo modelo de Reineke, com um coeficiente angular de -1,92009. A densidade em número de árvores para o início da ocupação total do dossel foi obtida através de um modelo linear estimador de diâmetro de copas em função do dap, ajustado com variáveis obtidas de árvores em crescimento livre. O dendrograma foi construído em função da área basal, do número de árvores por hectare e do diâmetro da árvore de área basal média. Os níveis de densidade foram determinados, proporcionalmente, à máxima densidade por índice de densidade do povoamento (IDP), em classes de índice 200, desde o IDP máximo, 1200, até o mínimo, 400. A densidade adequada para manejo foi ajustada por processo de cálculo e pela observação de dois povoamentos. Os resultados obtidos indicam a manutenção da densidade entre o IDP 600 e 840 para a produção de madeira de grandes dimensões. Foram elaborados planos de manejo com diferentes densidades iniciais e número de intervenções de desbaste, demonstrando que o dendrograma é uma ferramenta eficiente, capaz de auxiliar na elaboração de planos de manejo, com estimativas de produção para desbastes e corte final.

**Palavras-chave:** Densidade, Desbaste, Dendrograma.

## **ABSTRACT**

**Master's dissertation  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil**

### **DENSITY MANAGEMENT DENDROGRAM FOR STANDS OF *Pinus elliottii* Engelm TO THE CENTRAL REGION OF RIO GRANDE DO SUL**

**Author: Cláudio Thomas  
Advisor: Dr. Frederico Dimas Fleig**

**Date and Place of the Defense: Santa Maria, March 04, 2009.**

This work aimed at building a management dendrogram and determining the appropriate density for management of stands of *Pinus elliottii* in central region of the Rio Grande do Sul. To do that, stands in maximum stock, in different ages, located in the campus of Universidade Federal de Santa Maria and neighborhoods, were used. The dendrometric variables used in the calculation process were obtained from sample units with temporary characteristic, considering the method of determination of the punctual density proposed by Spurr, and isolated trees, with crowns in free growth. The maximum population density was estimated by the Reineke method, with an angular coefficient of -1,92009. The density in number of trees for the beginning of the total occupation of the dossal was estimated taking into account the crown areas, which were obtained from a lineal model estimator of crown diameter in function of the dap, fit for variables from trees in free growth. The construction of the dendrogram was in function of the basal area, the number of trees per hectare and the tree diameter with medium basal area. The density levels were determined proportionally to the maximum density for stands density index (IDP), in clusters of index 200, from the maximum IDP, 1200, to the minimum, 400. The appropriate density for management was found by calculation process and adjusted by the observation of two stands. Results indicate the maintenance of the density between IDP 600 and 840 for the production of wood of great dimensions. Plans of management with different initial densities and number of self-thinning interventions were elaborated, showing that the dendrogram is an efficient tool, able to assist the elaboration of the management plan, with production estimates for self-thinning and final cut.

**Keywords:** Density, Self-thinning, Dendrogram.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Locais de coleta de dados, marcados com linhas amarelas, imagem obtida do Google Earth mostrando parte do <i>campus</i> da UFSM. ....	23
FIGURA 2 – Distribuição dos resíduos relativos ao número de árvores por dg. ....	36
FIGURA 3 – Tendência do número de árvores por hectare em função do dg. ....	37
FIGURA 4 – Representação da densidade por hectare em função do dg em escala logarítmica. ....	38
FIGURA 5 - Tendência linear do DC em função do DAP. ....	39
FIGURA 6 - Distribuição dos resíduos de DCL em função do DAP. ....	40
FIGURA 7-Tendência das densidades mínima e máxima em função do dg. ....	42
FIGURA 8 – Representação da tendência das curvas de Índice de densidade do povoamento em função do dg. ....	44
FIGURA 9 – Representação da tendência do índice de densidade do povoamento em área basal em função do dg. ....	46
FIGURA 10 - Definição da densidade superior de manejo. ....	47
FIGURA 11 – Faixa de manejo com amplitude de 20%. ....	50
FIGURA 12 – Dendrograma de manejo da densidade para povoamentos de <i>Pinus elliotii</i> , Engelm. ....	51
FIGURA 13 - Planos de desbaste para densidades diferentes no mesmo dendrograma. ....	54



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Fator de Competição de Copa por povoamento analisado.....	32
TABELA 2 – Área basal por hectare, e por povoamento analisado. ....	33
TABELA 3 - Número de árvore por hectare, e por povoamento analisado.....	34
TABELA 4 - Densidade populacional para o mínimo e máximo estoque.....	41
TABELA 5 – Índices de densidade do povoamento em número de árvores por hectare. ....	43
TABELA 6. – Índices de densidade do povoamento em área basal (G).....	45
TABELA 7 - Densidade populacional para o início da ocupação total, para o máximo estoque e os limites superior e inferior da faixa de manejo.....	49
TABELA 8 - Plano de desbaste para condução de povoamento com densidade inicial de 1666 árvores. ....	53
TABELA 9 - Plano de desbaste para condução de povoamento com densidade inicial de 1111 árvores. ....	54

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
2.1 Objetivo geral .....	11
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>11</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Efeito da densidade sobre as árvores e o povoamento.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Copa .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Dendrogramas de manejo da densidade.....</b>	<b>18</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 Descrição da espécie.....</b>	<b>22</b>
4.1.2 <i>Pinus elliottii</i> Engelm. ....	22
<b>4.2 Caracterização e localização da área de estudo .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3 Determinação da densidade.....</b>	<b>24</b>
4.3.1 Área basal por hectare (G) .....	24
4.3.2 Número de árvores por hectare (N).....	25
<b>4.4 Variáveis mensuradas.....</b>	<b>25</b>
4.4.1 Medição do DAP .....	25
4.4.2 Medição da distância entre a árvore pontual e a árvore concorrente.....	26
4.4.3 Medição da altura total (h).....	26
4.4.4 Variáveis de copa.....	26
<b>4.5 Verificação do nível de competição dos povoamentos .....</b>	<b>27</b>
4.5.1 Fator de Competição de Copa (FCC).....	27
<b>4.6 Construção do dendrograma .....</b>	<b>28</b>
4.6.1 Linha de máxima densidade.....	28
4.6.2 Linha de fechamento do dossel.....	29
4.6.3 Índice de densidade do povoamento (IDP) .....	29

4.6.4 Faixa de manejo .....	30
<b>5 RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Avaliação do nível de competição dos povoamentos.....</b>	<b>32</b>
5.1.1 Fator de competição de copa (FCC) .....	32
<b>5.2 Determinação da Densidade Pontual .....</b>	<b>33</b>
5.2.1 Cálculo da área basal (G).....	33
5.2.2 Número de árvores por hectare (N).....	34
<b>5.3 Dendrograma de manejo da densidade.....</b>	<b>35</b>
5.3.1 Linha de máxima densidade.....	35
5.3.2 Linha de início da ocupação total do dossel.....	39
<b>5.4 Índice de Densidade do Povoamento (IDP).....</b>	<b>42</b>
5.4.1 Em número de árvores (N) .....	42
5.4.2 Em área basal (G) .....	44
<b>5.5 Faixa de manejo .....</b>	<b>46</b>
5.5.1 Linha superior de manejo .....	46
5.5.2 Linha inferior de manejo .....	48
<b>5.6 Dendrograma .....</b>	<b>50</b>
<b>5.7 Planos de desbastes formados com auxílio do dendrograma de manejo ...</b>	<b>53</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Espécies do gênero *Pinus* vem sendo introduzidas no Brasil há mais de um século, para variadas finalidades, como produção de celulose, resina e movelaria. Nos últimos anos, a demanda de madeira de alta qualidade tem aumentado. Com isso, espécies do gênero *Pinus* tem se destacado, por produzirem madeira que atendem as exigências do mercado. A produção de madeira, com boas características, depende da elaboração de planos de manejo adequado, os quais necessitam, para a sua elaboração, o conhecimento sobre a dinâmica de crescimento e a interação entre indivíduos no povoamento.

A qualidade da madeira a ser produzida depende, em grande parte, da densidade em que o povoamento florestal se encontra. Resulta disso a grande importância de planos de manejo, com desbastes bem planejados. Existem várias formas de se trabalhar com estimativas de densidade de povoamentos. Estas podem ser estimativas para curtos períodos de tempo, servindo para determinar pesos de desbaste para intervenção naquele momento. E, também, para longos períodos, o que oferece suporte para a elaboração de plano de desbaste para toda a rotação do povoamento.

Estudos de controle da densidade para longos períodos de tempo, que venham servir como base para planos de desbaste, exigem técnicas precisas de trabalho. Um dos métodos que dão suporte para controle da densidade são os dendrogramas de manejo, que descrevem, graficamente, a relação existente entre área basal, número de árvores por hectare e o diâmetro da árvore de área basal média. O uso dos dendrogramas permite monitorar o povoamento, quanto a sua densidade, e orientam intervenções de desbaste de maneira fácil e rápida, maximizando a utilização do sítio, mediante um controle adequado dos níveis de competição.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem por objetivo geral o estudo da densidade de povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm, e a construção de um dendrograma de manejo da densidade.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Avaliar o nível de densidade dos povoamentos utilizados na obtenção das variáveis dendrométricas;
- b) Determinar o coeficiente angular para a relação entre densidade máxima em número de árvores por hectare e o diâmetro de área basal média;
- c) Determinar a densidade populacional no início da ocupação total do dossel;
- d) Determinar índices de densidade do povoamento (IDP), desde o início da ocupação total do dossel até a densidade máxima;
- e) Estabelecer a variação de densidade adequada, ou faixa de manejo, para condução de povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm, a ser demarcada no dendrograma.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Efeito da densidade sobre as árvores e o povoamento**

O crescimento das árvores pode ser definido como o resultado da interação entre dois componentes opostos: um componente positivo, que manifesta a expansão de um organismo e representa a tendência natural de multiplicação, e outro negativo, que representa as restrições impostas por fatores externos, como a competição, e internos como envelhecimento (ZEIDE, 1993).

Segundo Schneider (2008) o crescimento em altura é pouco influenciado pela densidade, a menos que, a densidade seja tão elevada que produza a estagnação do crescimento ou, o povoamento seja tão ralo que as árvores estejam expostas às tensões excessivas no fuste por ocasião do vento, o que transfere o crescimento mais para a parte inferior do fuste e raízes, para que as árvores possam alcançar maior estabilidade.

No processo de desenvolvimento de um povoamento, à medida que cada árvore cresce, ela necessita de mais espaço para que sua copa possa se desenvolver para alimentar o fuste que é cada vez maior. A taxa de crescimento em diâmetro será determinada pelo espaço de crescimento de que a árvore dispõe. Em um povoamento, o espaço de cada árvore pode ser limitado pelas árvores vizinhas, levando a competição ao nível das copas e ao nível das raízes. Para um desenvolvimento mais homogêneo é desejado que as árvores estejam distribuídas uniformemente no povoamento, facilitando, desta forma, a busca por espaço (HILEY 1959).

A competição entre indivíduos no povoamento atua diretamente sobre o incremento individual, que é muito diferente quando corresponde a árvores de

grandes ou pequenas dimensões. Pode existir um incremento total elevado em povoamento, formado por um grande número de árvores pequenas e de pouco valor agregado ao indivíduo e, em outro caso, um incremento igual ou menor, mas concentrado em um número menor de árvores de maior tamanho, que possuem maior valor agregado. Isso se baseia na norma de que o valor por unidade de volume aumenta com o tamanho da árvore, tamanho do povoamento, qualidade da madeira, grau de nodosidade, entre outros elementos (SCHNEIDER, 2008).

A densidade pode aumentar até provocar a mortalidade de alguns indivíduos, processo denominado de autodesbaste, este é o resultado da competição por água, luz e nutrientes entre os indivíduos da população. Assim, o autodesbaste provoca uma perturbação no povoamento com o decréscimo exponencial da densidade de árvores e promove o incremento em tamanho dos indivíduos. É de fundamental importância conhecer as inter-relações entre a densidade e o desenvolvimento do diâmetro no tempo em um povoamento conduzido em sistema de alto fuste. Isto porque, à medida que o povoamento vai envelhecendo, a mortalidade vai aumentando. A mortalidade deve ser evitada com a antecipação de intervenções de desbaste, aplicados com intensidade adequada, dependendo da capacidade produtiva do sítio e da espécie que se está a manejar. (SCHNEIDER, 2008).

Tang et al. (1994) estenderam a lei do autodesbaste para povoamentos em densidade completa e subestocados e, com isso, constataram que o autodesbaste inicia antes do povoamento atingir a máxima densidade e que se intensifica com o aumento da densidade, atingindo o máximo na densidade máxima.

O desbaste como ferramenta de manejo, se baseia no processo natural do povoamento, em relação a diminuição do número de indivíduos por unidade de área, por consequência da competição.

Schulz;; Rodriguez (1967) destacam que o desbaste tem a finalidade de manipular a competição, e que a competição é o fator ecológico mais importante para o silvicultor, que pode usar do desbaste para evitar as consequências da competição excessiva e a permanência na floresta de indivíduos com má formação do fuste.

O desbaste consiste na manutenção da classe desejada de árvores e a densidade apropriada durante o desenvolvimento do povoamento mediante a eliminação das demais. Isso inclui a seleção de árvores, segundo suas

características de desenvolvimento, e formação de um dossel uniforme por um espaçamento mais ou menos uniforme, (SINGH 1968).

Segundo Hiley (1959), em experimentos que avaliam a competição por água e sais minerais se observa que, para uma produção mais econômica de madeira, as árvores devem estar em maior espaçamento, quer dizer, espaçamento inicial maior e desbastes pesados.

Devido a isso, Schneider (2004) ressalta que esses fatores influenciam de maneira tão decisiva que, em muitos casos, se produz madeira a custos maiores que o tolerável, devido a desbastes mal conduzidos. O desbaste pode reduzir os custos de produção significativamente pela redução da duração da rotação ou produção de material de maiores dimensões.

Em se tratando de produzir madeiras de grandes dimensões, Grosse ; Quiroz (1998) recomendam para cada desbaste um rebaixamento da área basal em torno de 30 e 40%, de modo que as intensidades maiores devem ser realizadas em povoamentos jovens.

Com desbastes muito pesados pode-se obter o crescimento acelerado, que se refere ao incremento depois da liberação das árvores da concorrência, sendo a resposta de um desbaste realizado tardiamente. Este efeito é observado no caso de populações muito densas, em que os indivíduos remanescentes ainda têm a capacidade de responder à liberação (ASSMANN 1970).

Daniel et al (1982), se refere aos casos extremos, em que a resposta de aceleração não é imediata. Isso porque a árvore precisa de um tempo para a formação de superfície foliar e radicular, suficiente para produzir a resposta de aumento na espessura dos anéis. Nem todas as árvores respondem à liberação, devido à falta de capacidade de ocupar o espaço disponível por ser dominante ou ter restrita a área foliar e radicular. A capacidade de crescimento acelerado tende a declinar com o aumento da idade. Algumas espécies como o *Pinus ponderosa* e outros *Pinus*, que podem apresentar boa resposta ao crescimento mesmo em idade avançada. A duração do período de crescimento acelerado depende da velocidade de que as árvores vizinhas voltam a concorrer com o indivíduo em questão.

O desbaste tem efeito sobre os indivíduos em relação a sua forma e densidade, e também causa efeitos significativos sobre a produção da floresta. Áreas manejadas com desbastes pesados produzem menos volume que áreas



manejadas com desbastes leves, mesmo que algumas vezes fosse possível produzir maior área basal. (ASSMANN 1970).

Daniel et al. (1982), concluíram que, após realizar o desbaste inicial, remoções de 35 a 40% da área basal máxima não influenciaram a taxa de crescimento em área basal das árvores remanescentes. Todavia, desbastes superiores a 40% da área basal máxima ocasionaram um marcante declínio da área basal remanescente.

O número de árvores por unidade de superfície indica o espaço médio ocupado por cada indivíduo no povoamento. Em povoamentos artificiais, onde os espaçamentos são mais ou menos regulares, este índice tem um significado maior, porque retrata a distribuição das árvores no terreno. Os arranjos mais usados são o retangular e o hexagonal, onde o arranjo hexagonal é resultado da aplicação de desbaste e é formado a partir de uma organização regular (SCHNEIDER, 2008).

Segundo Assmann (1970), a comparação dos dois arranjos mostra que, no arranjo hexagonal, cabem 15% a mais de árvores por hectare. Constata-se, também, que a área não aproveitada pelas árvores é nitidamente maior no arranjo retangular. No arranjo retangular, 22% da área não são utilizados pelas copas e, no arranjo hexagonal, somente 9%. Essa comparação é válida, supondo-se que a projeção das copas tenha exatamente a forma de um círculo.

Spurr (1952) comenta que o número de árvores por unidade de área poderia ser usado para expressar a densidade dos povoamentos de maneira mais efetiva, quando combinado com uma variável que indicasse a idade do povoamento como, por exemplo, o diâmetro médio ou a altura dominante.

O método proposto por Spurr (1962) não é indicado para estimar a densidade média em um inventário florestal, mas é muito indicado para a medição da densidade em pontos individuais para investigações silviculturais ou ecológicas.

No método de densidade pontual proposto por Spurr (1962), todos os indivíduos próximos da árvore escolhida como central são avaliados para verificar a sua inclusão, ou não, na unidade amostral. Essa avaliação é baseada no Fator de Área Basal (FAB) de 2,3, proposto por Daniels (1974), para identificar árvores competidoras.

A precisão na medição da densidade pontual é muito importante na pesquisa silvicultural ou ecológica, para o estudo da capacidade de estoque. Em tais

aplicações, este método é naturalmente mais preciso que qualquer outro método de estimação de área basal, por ser pontual (SPURR, 1962).

Spurr (1962) ainda ressalta, em seu trabalho, que o método de somatório angular requer medir, ao invés de apenas contar, todas as árvores encontradas dentro de um ângulo limite, tornando o método muito mais trabalhoso. Por outro lado, sendo as medições mais precisas, é possível alcançar elevada precisão com um reduzido número de unidades amostrais.

A escolha do método de Spurr para a obtenção da densidade se justifica pelo fato de que é muito difícil encontrar uma floresta que esteja em alta densidade de maneira homogênea e em toda a sua extensão. Sendo possível identificar no interior da floresta os locais que apresentam mortalidade induzida pela competição, por este método é possível estimar a densidade a partir de uma situação localizada.

A área total da uma boa idéia da densidade do povoamento, mas não indica se o total é formado por um grande número de árvores pequenas ou, um menor número de árvores grandes. A informação sobre o tamanho das árvores que compõe o povoamento pode ser obtida desmembrando a área basal em número de árvores por unidade de área e diâmetro da árvore de área basal média (SPURR 1962).

Segundo Reineke (1933), para povoamentos que apresentam mortalidade devido à competição entre indivíduos, ou seja, com densidade máxima, existe uma relação linear em escala de duplo logaritmo, entre o diâmetro de área basal média das árvores ( $d_g$ ) e o número de árvores por hectare (N), com um valor constante do coeficiente angular de -1,605, para todas as espécies.

Reineke (1933), ainda diz que os parâmetros da equação são independentes da idade e qualidade de sítio. Por isso, essa equação é usada para estimar a densidade populacional como uma função do diâmetro de área basal média. E outros autores, como Chapmann; Meyer (1949), afirmam que o melhor método para determinar a densidade em povoamentos equiâneos é pelo índice de densidade do povoamento, por ser independente da idade e qualidade de sítio.

Porém, estudos realizados por Del Rio et al. (2001) sobre o coeficiente angular, constataram uma variação por espécie e, muitas vezes, com a idade, para valores entre -2,33 e -1,54.

Com o coeficiente angular da equação de Reineke é possível determinar o Índice de Densidade do Povoamento (IDP).

Este índice é um indicador que pode ser calculado a partir de uma relação de tamanho-densidade, que permite ser utilizado como indicador do estoque atual de um local. Este índice corresponde ao número de árvores por hectare que um povoamento pode alcançar, caso seu diâmetro quadrático for de 25 cm.

Segundo Schneider (2008), o Índice de Densidade do Povoamento corresponde à relação entre o número de árvores observadas no povoamento e a de um normal, porém ambos com o mesmo diâmetro de área basal média. Esse é o número de árvores por unidade de área que um povoamento pode ter para alcançar um diâmetro de área basal média, fixada convencionalmente como objetivo. Povoamentos de uma mesma espécie, em habitats diferentes, tendem a limites de densidade diferentes, mas a tendência será sempre semelhante. Por este motivo, são gerados índices de densidade do povoamento com limites paralelos, para diferentes níveis de densidade de árvores por unidade de área.

A partir da área basal máxima que o povoamento pode atingir pode-se obter o número de árvores por hectare e o diâmetro da árvore de área basal média para construir a curva de densidade máxima. Esta corresponde a uma relação teórica, que descreve a trajetória seguida pelo número de indivíduos daqueles povoamentos que se encontram em completa ocupação do sítio. Este é o nível máximo de concorrência, que é utilizado como indicador do limite superior de estoque do povoamento (GEZAN et al., 2007).

### **3.2 Copa**

O diâmetro da copa, na maioria dos casos, é estimado por medições de raios da copa, e quanto mais raios são medidos, maior é a precisão da medição, se aproximando mais do verdadeiro diâmetro da copa. Todavia, também, deve ser considerado o trabalho adicional ao se medir um maior número de raios (NUTTO et al. 2001).

Nutto et al. (2001), em estudo sobre a precisão nas medições do diâmetro da copa, comparou o método da medição de oito raios com ângulos variáveis e quatro raios com ângulos fixos. Constatou que um dos grandes problemas, ao se optar pelo método dos ângulos fixos, ocorre quando existe grande excentricidade da copa em

relação à posição do troco e, outro problema, é a subestimativa do diâmetro da copa, caso os raios não sejam adaptados à forma real da copa. Segundo o autor, quando quatro raios fixos são medidos, apenas 77% do diâmetro real da copa são obtidos. Isso quer dizer que a produtividade da copa, por unidade de área ocupada é superestimada e, conseqüentemente, o diâmetro de copa estimado para atingir um certo crescimento em diâmetro é menor, aumentando o número de árvores por hectare, distorcendo os demais parâmetros calculados como o volume e a área basal. Segundo o autor, o método dos oito raios por ângulos variáveis é mais preciso.

Segundo Durlo et al. (2004), a pesquisa das relações interdimensionais das árvores solitárias é importante, pois permite prever o espaço exigido pela árvore ao longo do seu desenvolvimento, calcular a concorrência a que está submetida além de possibilitar inferências sobre a estabilidade, vitalidade e produtividade a que o indivíduo está submetido.

Para verificar a concorrência pela área de copas a que os indivíduos de um povoamento estão submetidos, o Fator de Competição de Copas (FCC) é uma ferramenta de grande importância. Este fator é uma relação entre o diâmetro da copa e o diâmetro do tronco, desenvolvida por Krajicek (1961), para medir a densidade de um povoamento, independente da idade e da qualidade de sítio.

A competição entre as árvores de um povoamento ao nível das copas inicia quando todo o espaço a esse nível fica ocupado e a copa de cada árvore que forma o povoamento possui uma área igual a área da copa de árvores com o mesmo diâmetro, desenvolvidas em espaço aberto (KRAJICEK, J.E.; BRINKMAN, H. A.; GUNGRICH, S. F., 1961, p. 35).

Segundo Krajicek et al. (1961) o Fator de Competição de Copa é definido como a soma das áreas máximas de copa de todas as árvores, dividido pela área em hectares. Esse valor é uma expressão da densidade do povoamento.

### **3.3 Dendrogramas de manejo da densidade**

Os dendrogramas de manejo da densidade foram desenvolvidos, inicialmente, para várias espécies de coníferas e latifoliadas do hemisfério norte (GUNGRICH, 1967).

Segundo Gezan et al. (2007), os dendrogramas de densidade descrevem, graficamente, a relação existente entre a área basal, o número de árvores por hectare e o diâmetro médio e, ainda, incluem uma série de curvas de referência para diferentes níveis de ocupação do sítio. Seu uso permite descobrir a situação atual de um povoamento e compará-lo com condições predeterminadas, de acordo com o objetivo de manejo previamente especificado (ROGERS, 1983). Por este motivo, o dendrograma de manejo é considerado uma ferramenta valiosa, que facilita as intervenções silviculturais, maximizando a utilização do sítio mediante um controle adequado dos níveis de concorrência do povoamento.

O dendrograma é construído com base na relação linear (em escala logarítmica) tamanho-densidade. A lei do autodesbaste é considerada independente de idade e qualidade de sítio (REINEKE, 1933).

Segundo Gezan et al. (2007), os dendrogramas são baseados na curva de área basal máxima e, em relação a esta, são calculados níveis de densidade por proporção. A curva de área basal máxima corresponde à curva de máxima ocupação do local, situação em que o IDP é máximo. A área basal é calculada a partir do número máximo de árvores por hectare e um diâmetro quadrático de referência.

Se o desenvolvimento de povoamentos naturais, com a mesma densidade inicial e que crescem em qualidades de sítios diferentes, forem graficados em Dendrogramas de Manejo da Densidade (DMDs), ambos seguirão a mesma trajetória de densidade. Porém, o povoamento que cresce em sítio melhor, incrementa, em densidade, mais rapidamente que o povoamento que cresce em sítio de pior qualidade (SAUNDERS et al., 2000).

Gingrich (1967) organizou os dendrogramas de modo que a linha de estoque de 100% representa a condição normal de máximo estoque para povoamentos de folhosas sem intervenções. A importância desta linha, por ter sido formada a partir de povoamentos sem desbastes, ou qualquer outra intervenção, é que ela descreve a tendência de estoque do povoamento. Os povoamentos podem apresentar estoques acima ou abaixo desta linha. Caso apresentar acima, o povoamento é considerado com estoque excessivo.

O limite inferior de ocupação total da área, que gira em torno de 55 a 58% de ocupação, tendo como referência a ocupação máxima de 100%, é encontrado na área da copa de árvores em crescimento livre. Todo o espaço entre a linha de estoque máximo e a linha de mínimo, ou de ocupação total, é considerada de

estoque completo, pois todo o espaço está sendo ocupado. Abaixo da linha de início de ocupação total estão os povoamentos com estoque muito baixo, em que o espaço ao nível do dossel ainda não foi todo ocupado (GINGRICH, 1967).

Segundo Gezan et al. (2007), os dendrogramas estão baseados na curva de máxima densidade e neles são incluídas várias linhas paralelas, proporcionais ao nível de densidade máxima de sítio. Para isso, modifica-se a equação que gera a máxima densidade, multiplicando esta por uma constante que varia entre 0 e 1. E, ainda, incluem-se retas como referências, para indicar os diferentes diâmetros quadráticos.

Outro método para representar linhas de densidade no Dendrograma é o Índice de Densidade do Povoamento (IDP). A densidade de árvores por hectare, por diâmetro médio, é gerada por proporção, tendo como base a densidade de árvores por hectare no diâmetro padrão de 25 cm. As linhas são geradas para intervalos fixos em número de árvores, podendo ser, por exemplo, a cada 200 árvores (SCHNEIDER, 2008).

Saunders et al. (2000) determinaram uma faixa de manejo na construção de um Dendrograma de Manejo da Densidade (DMD), que tem como limites o início da mortalidade e o início da produção máxima. Essas densidades são determinadas algebricamente e, de forma proporcional, a partir da densidade máxima, que recebe valor 1 ou 100%. As proporções teóricas de 0,55 para o início da mortalidade e 0,40 para a máxima produção do povoamento são utilizadas para definir a amplitude em que deve o povoamento deve ser conduzido.

Segundo Zeide,(s.d) a área basal é a medida da densidade mais comum e, dependendo do tamanho das árvores, a interpretação do estoque total muda, de modo que a mesma área basal pode ser encontrada em povoamentos com material estocado diferente. Assim, de acordo com a popular guia de densidade de Gingrich (1967), um estoque com 17 m<sup>2</sup>/ha é considerado sub-estocado quando o diâmetro médio for grande (38 cm). Quando o diâmetro for pequeno (8 cm), um estoque com a mesma área basal é considerado super-estocado.

Para o controle da densidade, por linhas de manejo, muitos autores (CHAPMAN, 1953; ; SCHULTZ, 1997) recomendam reduzir a área basal em povoamentos adultos de *Pinus taeda*, quando estes alcançam 27 a 28 m<sup>2</sup>/ha, para 18 m<sup>2</sup>/ha, o que equivale em índice de densidade do povoamento (IDP) a 350. Para povoamentos em idade média, a área basal de 22 a 23 m<sup>2</sup>/ha é considerada ótima e

equivalem em IDP a 450 e 540. Estes valores remanescentes em área basal, são para povoamentos em idade média, considerando o diâmetro médio de 25,4 cm.

Para evitar que ocorra a mortalidade, Dean et al. (1993) recomendam a intervenção de desbaste quando o índice de densidade se aproxima de 550. A escolha mais correta é rebaixar o índice para 330, acreditando que, desta forma, as árvores podem fechar completamente o espaço ao nível de dossel e ocupar completamente o sítio. Os mesmos autores, ainda, argumentaram que, dentro destes limites, as árvores estão com espaço de crescimento mais eficiente e não atingem níveis de competição que induzem à mortalidade.

Para *Pinus taeda*, Stahelin (1949) encontrou o índice de densidade de 730, e Chapman (1953) encontrou para um diâmetro médio de 25,4 o índice de 702. Já Wahlenberg (1960), encontrou o valor de 680.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Descrição da espécie

#### 4.1.2 *Pinus elliottii* Engelm.

Originário do sudeste dos Estados Unidos, onde é conhecido como “slach pine”, este pinheiro cresce em terras de baixa altitude (até 150 m), nos estados de Mississippi, Alabama, Geórgia, Carolina do Sul e Florida. Em razão do excelente crescimento em zonas de clima subtropical úmido, é largamente cultivado no sul do Brasil (MARCHIORI, 1996).

As árvores alcançam de 25 a 30 metros de altura, com DAP de 60 a 90 cm. A casca, acinzentada e sulcada em indivíduos jovens, modifica-se com o passar do tempo, apresentando placas espessas de 2 a 4 cm, marrom avermelhada em indivíduos adultos (MARCHIORI, 1996).

É espécie heliófila, de rápido crescimento e alta competitividade em relação a gramíneas e arbustos. O *Pinus elliottii* é tido como sensível ao fogo, em sua área de ocorrência natural.



## 4.2 Caracterização e localização da área de estudo

As medições foram realizadas no município de Santa Maria, no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e área adjacente. O *Campus* da UFSM está localizado nas coordenadas geográficas de 29<sup>o</sup>43' de latitude sul e 53<sup>o</sup>43' de longitude oeste, na Depressão Central Gaúcha, próximo à borda do Planalto (ALMEIDA et al.,s.d.).

Na Figura 1 podem ser identificados os locais de coleta de dados, demarcados com círculos. Os dados foram obtidos em quatro povoaamentos no *Campus* da UFSM, sendo uma regeneração, e os demais originados de plantios.

Para melhor ajuste do modelo de Reineke, foram realizadas medições em um quinto povoamento, uma regeneração na área da Base Aérea de Santa Maria, localizada próximo ao *Campus* da UFSM.



**FIGURA 1 - Locais de coleta de dados, marcados com linhas amarelas, imagem obtida do Google Earth mostrando parte do *campus* da UFSM.**

O clima da região é do tipo Cfa (subtropical úmido), de acordo com a classificação climática de Köppen (MORENO, 1961).

O solo na área do *Campus* da UFSM, e proximidades, constitui-se da formação Santa Maria, com predominância da classe Argissolo Vermelho e suas variações, (ALMEIDA et al.,s.d).

### 4.3 Determinação da densidade

A densidade pontual foi estimada pelo método proposto por Spurr (1962). Este método é designado para determinar a densidade no ponto de amostragem, não sendo indicado para estimar a densidade populacional por unidade de área em um inventário.

No método de densidade pontual proposto por Spurr, cada indivíduo próximo da árvore central é avaliado utilizando o FAB de 2,3, proposto por Daniels (1974) para identificar árvores competidoras. A distância de inclusão da árvore em análise é feita com base no seu DAP e calculado com a Equação 1.

$$L = \frac{0,5 \cdot DAP}{\sqrt{2,3}} \quad (1)$$

Em que: L = Distância calculada através do DAP da árvore vizinha para verificar a inclusão ou não na unidade amostral; DAP = Diâmetro a altura do peito da árvore com suspeita de ser concorrente.

#### 4.3.1 Área basal por hectare (G)

O processo de cálculo para a obtenção da área basal por hectare (G), com base na densidade pontual, segue o método proposto por Spurr (1962), demonstrado na Equação 2.

$$G_{pontual} = \sum_{i=1}^n \left[ \left( n - \frac{1}{2} \right) \cdot \left( 0,25 \cdot \left( \frac{Dn}{Ln} \right)^2 \right) \right] \quad (2)$$

Em que: G = Área basal por hectare estimado no ponto de amostragem; n = Número da árvore por ordem de rankiamento na unidade amostral; Dn = Diâmetro da árvore integrante na parcela; Ln = Distância da árvore integrante na parcela até a árvore central da parcela.

#### 4.3.2 Número de árvores por hectare (N)

O número de árvores por hectare é estimado com base no método de Bitterlich, onde cada árvore inclusa na unidade amostral representa um número de árvores por hectare.

$$N_i = \frac{FAB}{g_i}$$

Em que:  $N_i$  = número de árvores por hectare naquele ponto que a  $i$ -ésima árvore representa,  $g_i$  = área da  $i$ -ésima árvore medida na unidade amostral.

O número de árvores por hectare, estimado com base na densidade pontual, é obtido pelo somatório do inverso das áreas basais das árvores incluídas na unidade amostral, multiplicado pelo Fator de Área Basal utilizado ( $FAB = 2,3$ ), demonstrado na Equação 3.

$$N / ha = \sum_{i=1}^m N_i = FAB \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{g_i} \quad (3)$$

#### 4.4 Variáveis mensuradas

As variáveis a serem medidas, nas árvores que compõem as unidades amostrais, são o DAP e a altura total. Nas árvores isoladas, além do DAP e altura, também são medidos oito raios por copa.

##### 4.4.1 Medição do DAP

A medição do DAP foi realizada com Suta Dendrométrica. O diâmetro é obtido pelo resultado da média da medição de dois diâmetros cruzados, em centímetros

#### 4.4.2 Medição da distância entre a árvore pontual e a árvore concorrente

Esta medição foi realizada com o hipsômetro Vertex III, do centro da árvore pontual até o centro da árvore que está sendo analisada. Para que esta medição seja correta o transponder e o hipsômetro devem ser colocado na lateral das árvores.

#### 4.4.3 Medição da altura total (h)

A medição da altura total foi realizada com o conjunto, transponder e hipsômetro Vertex III, em decímetros.

#### 4.4.4 Variáveis de copa

Todas as variáveis de copa foram calculadas com base nos raios de copa, que foram obtidos com o auxílio de balizas e trena. Todas as árvores isoladas tiveram a sua copa projetada no solo por oito raios, marcados por balizas distanciadas a aproximadamente 45<sup>o</sup> umas das outras. Os raios foram medidos com trena, da baliza até o centro do tronco.

O diâmetro de copa foi obtido pelo dobro da média dos seus oito raios, como pode ser verificado na Equação 4.

$$dc = raiomédio \cdot 2 \quad (4)$$

Em que: dc = diâmetro de copa.

A área da copa é obtida facilmente por cálculo, utilizando a variável diâmetro de copa, Equação 5.

$$Área.copa = \frac{\pi \times dc^2}{4} \quad (5)$$

Em que: dc = diâmetro de copa.

#### 4.5 Verificação do nível de competição dos povoamentos

##### 4.5.1 Fator de Competição de Copa (FCC).

O FCC é calculado pelo somatório das estimativas das áreas de copa das árvores que compõe o povoamento, se estas tivessem o mesmo diâmetro das copas de árvores crescendo na ausência de qualquer tipo de competição. O diâmetro de Copa Livre de competição (DCL) é obtido através do modelo linear que tem como variável independente o DAP.

O modelo 6 é utilizado para estimar diâmetro de copa de árvores crescendo livre de competição.

$$DCL = \beta_0 + \beta_1 \cdot dap \quad (6)$$

Em que: DCL = Diâmetro de copa livre; dap = diâmetro a altura do peito.

Após ter estimado o diâmetro da copa livre em função do DAP, se calcula a área da copa pela Equação 7.

$$ACL = \frac{\pi \times DCL^2}{4} \quad (7)$$

Em que: ACL = Área de copa livre; DCL = Diâmetro de copa livre.

Tendo conhecimento da área de copa livre, se calcula o FCC conforme a Equação 8.

$$FCC = \frac{\sum ACL}{S} \times 100 \quad (8)$$

Em que: FCC = Fator de competição de copa; S = área da unidade amostral; ACL = área de copa livre na unidade amostral.

## 4.6 Construção do dendrograma

### 4.6.1 Linha de máxima densidade

A linha de máxima densidade foi construída com dados oriundos de 46 parcelas de cinco povoamentos, em estoque máximo e apresentando mortalidade natural, desde florestas jovens até florestas adultas. Os dados necessários são: número máximo de árvores por hectare ( $N_m$ ) e diâmetro da árvore de área basal média ( $d_g$ ).

Os povoamentos utilizados para o ajuste do modelo de máxima densidade de Reineke possuem  $d_g$  de 5,15 cm até 38 cm, sendo duas regenerações e três plantios, porém o dendrograma de manejo da densidade terá início aos 15 cm de  $d_g$ .

O número de árvores por hectare, existentes no momento da medição, foi estimado para cada parcela, de acordo com a Equação 3.

Para a construção da linha de máxima densidade populacional, se estimou o número máximo de árvores por hectare em função do  $d_g$ , pelo modelo de Reineke.

$$N_m = (\alpha \times d_g^\beta) \quad (10)$$

Em que:  $N_m$  = Número máximo de árvores que o local pode suportar (densidade máxima);  $d_g$  = Diâmetro da árvore de área basal média;  $\alpha$ ,  $\beta$  = coeficientes do modelo.

Utilizando um modelo de regressão, como o de Reineke, para estimar a máxima densidade populacional, se deve ter claro que o resultado de um modelo de regressão é a média estimada dos valores observados. Sendo assim, esse valor não expressa a densidade máxima, uma vez que existem valores acima e abaixo de uma média, de modo que os valores acima é que representam a densidade máxima. Então, tendo ajustado o modelo para a média, se altera o coeficiente de intercepto do modelo, elevando este até que o modelo cubra os dados observados, tendo como base um diâmetro padrão de 25 cm.

#### 4.6.2 Linha de fechamento do dossel

A linha de fechamento do dossel refere-se ao momento em que as copas ocupam todo o espaço disponível ao nível do dossel. No entanto, sem terem iniciado a competição. A fonte de dados para estes cálculos são árvores livres de competição em diferentes fases de desenvolvimento, desde jovens até adultas. O cálculo do número de árvores por hectare tem como base o Diâmetro de Copa Livre (DCL).

Tendo em vista a alta correlação do DAP com o diâmetro da copa (DC), por regressão linear, se estima o DCL em função do DAP com a Equação 6.

A partir do DCL estimado se obtém o número de árvores por hectare referentes a cada DAP de acordo com a Equação 11.

$$N_{dm} = \frac{10,000}{DCL^2 \times \left(\frac{\pi}{4}\right)} \quad (11)$$

Em que:  $N_{dm}$  = Número de árvores no início da ocupação completa do dossel; DCL = Diâmetro de Copa Livre.

#### 4.6.3 Índice de densidade do povoamento (IDP)

Os índices de densidade do povoamento, em número de árvores por unidade de área para diferentes níveis, são gerados com base no modelo de máxima densidade proposto por Reineke (1933). Este modelo permite gerar as densidades máximas para o diâmetro da árvore de área basal média e, com base nestas densidades máximas, se geram os índices de densidade, fixando-se o diâmetro padrão de 25 cm. Os índices são gerados de maneira gradual e por proporção, em intervalos de classes de índice 200 e vão desde um valor de máximo número de árvores até um valor mínimo. Com o coeficiente angular da equação de Reineke, é possível determinar o IDP, pela seguinte expressão;

$$IDP = N(t) \times \left[ \frac{d_g(t)}{d_0} \right]^\beta \quad (12)$$

Em que:  $d_0$  = diâmetro padrão básico do povoamento normalmente definido como 25 cm;  $d_g$  = diâmetro de área basal média no tempo  $t$ ;  $N(t)$  = número de árvores por hectare no tempo  $t$ ;  $\beta$  = coeficiente angular da equação de Reineke.

Os índices de densidade do povoamento em área basal por hectare (G) são gerados com base no índice de densidade do povoamento em número de árvores.

$$IDP_{(G)} = IDP_{(N)} \cdot g \quad (13)$$

Em que:  $IDP_{(G)}$  = Índice de Densidade do Povoamento em área basal por hectare;  $IDP_{(N)}$  = Índice de Densidade do Povoamento em número de árvores por hectare;  $g$  = área basal da classe.

#### 4.6.4 Faixa de manejo

Para a produção de torras não é necessário manejar florestas com densidade mínima, pois desta forma perde-se capacidade de produção. É possível aumentar a produção adensando a área até um limite ótimo. Também não é de interesse a densidade máxima, pois não é desejável a alta ocorrência e a presença de indivíduos suprimidos. Neste sentido, se propôs uma faixa de manejo localizada entre a linha de máxima e de mínima densidade, de modo que as intervenções de desbaste mantenham a área basal e o número de árvores por hectare adequados, para que o espaço seja ocupado de maneira eficiente.

A linha superior da faixa de manejo é a média entre a linha de máxima densidade, que recebe valor 100%, e a linha de início da ocupação total, que é um percentual da máxima densidade. A linha média é encontrada ao diâmetro padrão de 25 cm. O processo de cálculo para a obtenção da linha superior da faixa de manejo é expresso na Equação 14.

$$pm = \left( \frac{100\% - \% \text{ de mínimo}}{2} \right) \quad (14)$$

Em que:  $pm$  = Ponto médio entre a máxima e mínima densidade; % de máximo = 100% ou densidade máxima possível; % de mínimo = percentual calculado em relação ao máximo, representa o ponto em que ocorre a ocupação total do dossel.



A linha superior da faixa de manejo é um rebaixamento da linha de máxima densidade de forma proporcional e, com isso, conserva o coeficiente angular da máxima densidade, sendo alterado apenas o coeficiente de intercepto. A linha superior da faixa é calibrada com base em povoamentos com densidade elevada, mas aceitável para manejo.

O limite inferior da faixa de manejo é o resultado da definição do peso do desbaste no momento da intervenção, que deverá ocorrer quando a densidade (IDP), atingir o limite superior aceitável para manejo. O cálculo que define a amplitude da faixa de manejo, com base em intensidade de desbaste no momento da intervenção, é demonstrado na Equação 15.

$$AFM_{25cm} = \frac{\%_{Retirar} \times DA}{DM} \quad (15)$$

Em que:  $AFM_{25cm}$  = Amplitude da Faixa de Manejo no diâmetro padrão de 25 cm;  $\%_{Retirar}$  = Percentual de Densidade Atual a ser retirada no desbaste; DA = Densidade Atual; DM = Densidade Máxima possível de ser alcançada pelo povoamento.

## 5 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 5.1 Avaliação do nível de competição dos povoamentos

#### 5.1.1 Fator de competição de copa (FCC)

O fator de competição de copa foi utilizado como mais um índice para verificar a densidade a que o povoamento se encontra, ele foi calculado a partir da estimativa de área de copa livre pelo DAP de árvores com crescimento livre. Os cálculos foram realizados conforme a Equação 8 e os resultados apresentados na Tabela 1.

**TABELA 1 – Fator de Competição de Copa por povoamento analisado.**

U.A	Fator de Competição de Copas (FCC)				
	Povoamento 1	Povoamento 2	Povoamento 3 Regeneração	Povoamento 4	Povoamento 5 Regeneração
1	281,5	296,2	640,0	380,7	699,0
2	278,3	239,6	702,6	371,4	756,7
3	264,3	250,8	674,9	373,1	719,0
4	281,4	223,5	491,4	339,0	
5	352,6	228,1	511,9	307,5	
6	324,2	234,9	553,0	326,2	
7	348,3	248,1	514,3	339,0	
8	288,7	235,8	664,3	351,3	
9	272,3	203,3	695,5		
10	309,4	246,7			
11	269,5	246,6			
12	313,9	243,0			
13		260,2			
14		232,7			
Média	298,70	242,10	605,32	348,51	724,92

O cálculo foi realizado para todos os povoamentos utilizados nas medições e os valores demonstraram que as áreas estavam em alta competição por apresentar elevados FCC.

Segundo Schneider (2008), o FCC com valor 100 indica o momento que o povoamento apresenta indivíduos que possuem copas com crescimento livre e que fecharam completamente o dossel.

Quando o FCC é maior que 100 está indicando que o espaço ao nível de dossel não é suficiente para que as copas se desenvolvam livremente, ou seja, as copas dos indivíduos do povoamento estão menores que as de indivíduos de igual diâmetro crescendo livres de competição.

## 5.2 Determinação da Densidade Pontual

### 5.2.1 Cálculo da área basal (G)

Utilizando o Método de determinação da Densidade Pontual, proposto por Spurr (1962), obtém-se a área basal do ponto que está sendo analisado.

Os valores de área basal foram obtidos com base na Equação 2 e os valores encontrados são apresentados na Tabela 3.

**TABELA 2 – Área basal por hectare, e por povoamento analisado.**

U.A.	Área basal por hectare (G)				
	Povoamento 1	Povoamento 2	Povoamento 3 Regeneração	Povoamento 4	Povoamento 5 Regeneração
1	34,939	47,264	55,475	53,264	31,457
2	34,242	47,187	57,270	62,117	33,149
3	38,617	53,817	44,048	52,587	25,241
4	31,599	35,032	45,276	51,514	
5	36,586	40,085	59,558	57,265	
6	37,789	43,028	48,669	58,259	
7	38,529	47,382	65,689	57,876	
8	37,071	47,275	64,946	54,503	
9	36,670	37,581	59,251		
10	41,147	47,716			
11	30,837	50,008			
12	38,382	37,972			
13		50,559			
14		49,431			
Média	36,367	45,310	55,576	55,923	29,949

Observa-se que os povoamentos 2, 3, 4 estão em alta densidade, com dg de 38, 10,6, 24,4 cm. O povoamento 5 apresenta área basal menor, 29,949, mas encontra-se em alta densidade por tratar-se de regeneração com dg de 5,15 cm. Portanto, as florestas 2, 3, 4 e 5 são utilizadas para o ajuste do modelo de densidade máxima de Reineke.

A floresta 1, com dg de 17 cm, não apresenta mortalidade provocada por competição, portanto não será utilizada para o ajuste do modelo de densidade máxima de Reineke. A importância da floresta 1 está em servir como base para calibração da linha superior da faixa de manejo.

### 5.2.2 Número de árvores por hectare (N)

O número de árvores por hectare, foi calculado de acordo com a Equação 3 e os valores encontrados são apresentados na Tabela 4.

**TABELA 3 - Número de árvore por hectare, e por povoamento analisado.**

U.A.	Número de árvores por Hectare (N)				
	Povoamento 1	Povoamento 2	Povoamento 3 Regeneração	Povoamento 4	Povoamento 5 Regeneração
1	1579	617	6423	1255	13465
2	1531	462	7502	1322	15399
3	1504	478	7373	1237	14126
4	1567	462	5082	1211	
5	1928	471	5453	976	
6	1783	498	5857	1135	
7	1887	518	5507	1193	
8	1606	471	7117	1238	
9	1396	411	5903		
10	1686	486			
11	1467	481			
12	1682	485			
13		519			
14		466			
<b>Média</b>	<b>1635</b>	<b>487</b>	<b>6246</b>	<b>1196</b>	<b>14330</b>

A estimativa do número de árvores por hectare demonstra que os povoamentos 2, 3, 4, 5 estão em densidade elevada, levando em consideração as respectivas dg<sub>s</sub>, 38, 10,6, 24,4 e 5,15 cm. No povoamento 5 observa-se que a área

basal de 29,949 m<sup>2</sup>/ha é uma densidade elevada, o povoamento está em mortalidade natural. Se a área basal do povoamento 5 fosse encontrada em povoamentos com dg maior, este estaria subestocado.

### 5.3 Dendrograma de manejo da densidade

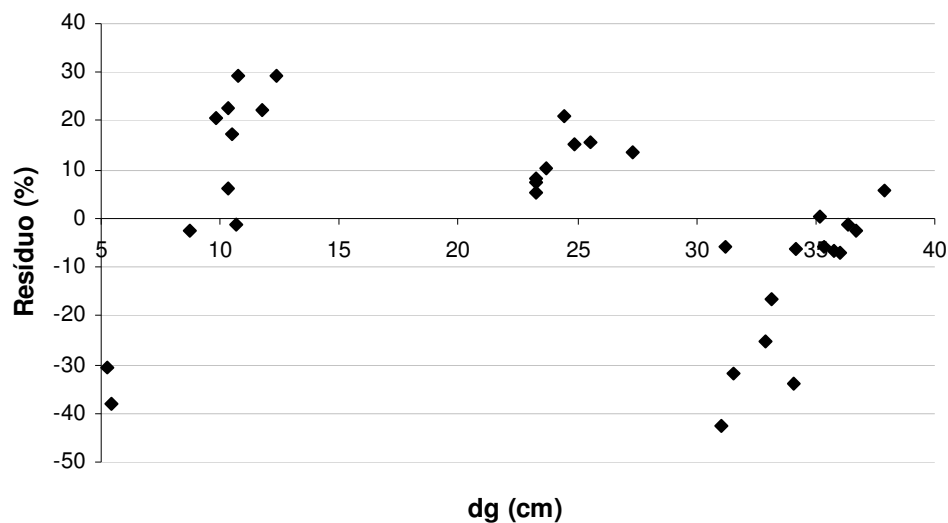
#### 5.3.1 Linha de máxima densidade

O primeiro passo para a construção do dendrograma é a obtenção da linha de máxima densidade populacional. O modelo matemático utilizado para a construção desta linha é o modelo de Reineke (Modelo 10). Abaixo segue o modelo ajustado, que descreve a linha que cruza pelo centro da nuvem de pontos de máxima densidade populacional.

$$N = 483210 \cdot dg^{-1,92009}$$

Esta equação apresenta um excelente ajuste, com um coeficiente de determinação igual a 0,9718, coeficiente de variação igual a 2,91% e é altamente significativo, com valor de F igual a 1104,58, para uma probabilidade inferior a 0,0001.

Na Figura 1 são apresentados os resíduos em percentual com distribuição de até 30% para mais, e 40% para menos. O modelo apresenta boa distribuição, indicando que o ajuste é satisfatório.



**FIGURA 2 – Distribuição dos resíduos relativos ao número de árvores por dg.**

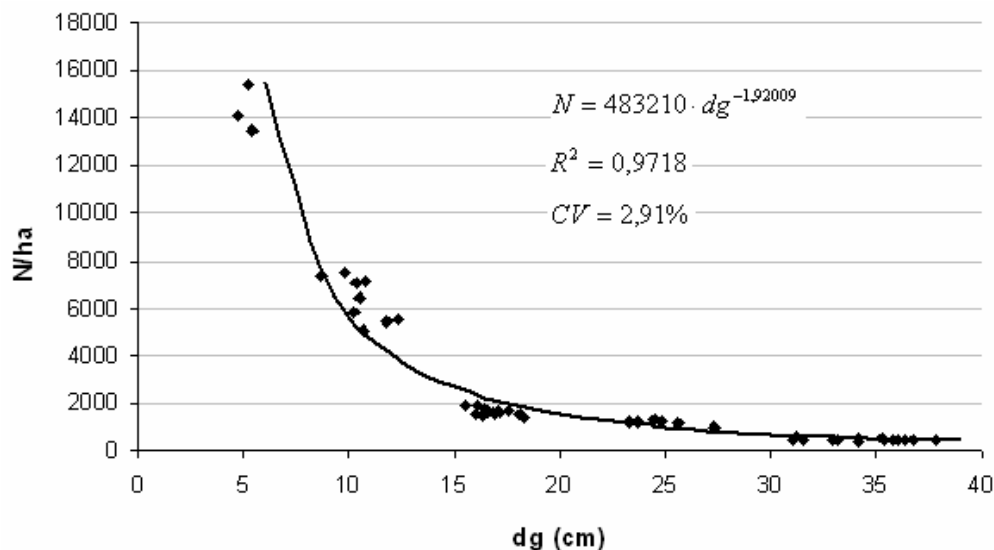
A linha estimativa do número de árvores se sobrepõe muito bem aos pontos de densidade, observados na Figura 3. Isso pode levar a uma falsa impressão de que a diferença entre o valor estimado e o observado é muito pequena, e isso acontece devido à escala gráfica. No entanto, observando-se conjuntamente o gráfico de resíduos, Figura 2, tem-se a real amplitude da diferença existente.

O número de árvores por hectare não é uma variável fácil de ser estimada, devido à grande influência causada pela inclusão ou não de árvores na parcela. A grande variação em diâmetro e a distribuição espacial heterogênea, existentes em povoamentos não manejados, gera diferenças nas estimativas por hectare, principalmente quando feitas com base na área basal individual das árvores incluídas nas parcelas.

Os parâmetros da equação são independentes da idade e da qualidade do sítio. Por isso, ela é usada para estimar a densidade populacional como uma função da área basal e diâmetro da árvore de área basal média. O coeficiente angular encontrado, -1,92009, difere do coeficiente angular -1,605, encontrado por Reineke, em 1933, para populações de densidade completa. Porém, em estudo realizado por (DEL RIO et al., 2001) sobre o coeficiente angular, constataram uma variação por espécie e, muitas vezes, por idade, para valores entre -2,33 e -1,54.

Por ser uma regressão, o modelo de Reineke ajustado descreve uma linha pela média dos dados. Desta forma, a curva passa pelo centro da dispersão de

pontos que representam a densidade populacional das florestas em estoque máximo, como mostra a Figura 3.



**FIGURA 3 – Tendência do número de árvores por hectare em função do dg.**

A linha que descreve a tendência do número de árvores em povoamentos super-estocados assume a forma típica de uma exponencial negativa, decrescendo rapidamente nos menores diâmetros e de forma mais lenta nos maiores diâmetros.

Segundo Gezan et al. (2007), o ajuste do modelo de Reineke (1933) descreve uma média dos dados, indicando que a curva passa pelo centro da nuvem de pontos. Sendo assim, a curva de densidade máxima corresponde ao limite superior dos pontos, de modo que na prática não se encontram povoamentos com densidade máxima constantemente, por motivo da mortalidade de indivíduos por autodesbaste. O autor complementa, ainda, dizendo que o nível máximo da densidade obtém-se aumentando o intercepto.

Para formar a linha de máxima densidade possível a equação de Reineke foi alterada. A densidade máxima foi obtida elevando o intercepto encontrado para a média, de 483210 para 580210. Deste modo, o nível da linha foi elevado, cobrindo os pontos no gráfico, ou seja, descrevendo, assim, a máxima densidade fisiologicamente possível para um povoamento com dg de 25 cm. A equação fica assim descrita:

$$Nm = 580210 \cdot dg^{-1,92009}$$

De acordo com Reineke (1933), em povoamentos com densidade máxima, a relação entre o diâmetro da árvore de área basal média e o número de árvores por hectare é linear, numa escala de duplo logaritmo, de acordo com a equação que segue.

$$\ln(N) = 13,2711 - 1,92009 \cdot \ln(dg)$$

Essa equação permitiu obter a linha de máxima densidade de árvores por hectare pelo diâmetro da árvore de área basal média (dg), que representa a máxima capacidade de tolerância fisiológica das árvores para se manterem vivas no povoamento.

A densidade do povoamento, para a média e para a máxima densidade possível, é demonstrada em unidade logarítmica na Figura 4, pelas linhas cheia e tracejada.

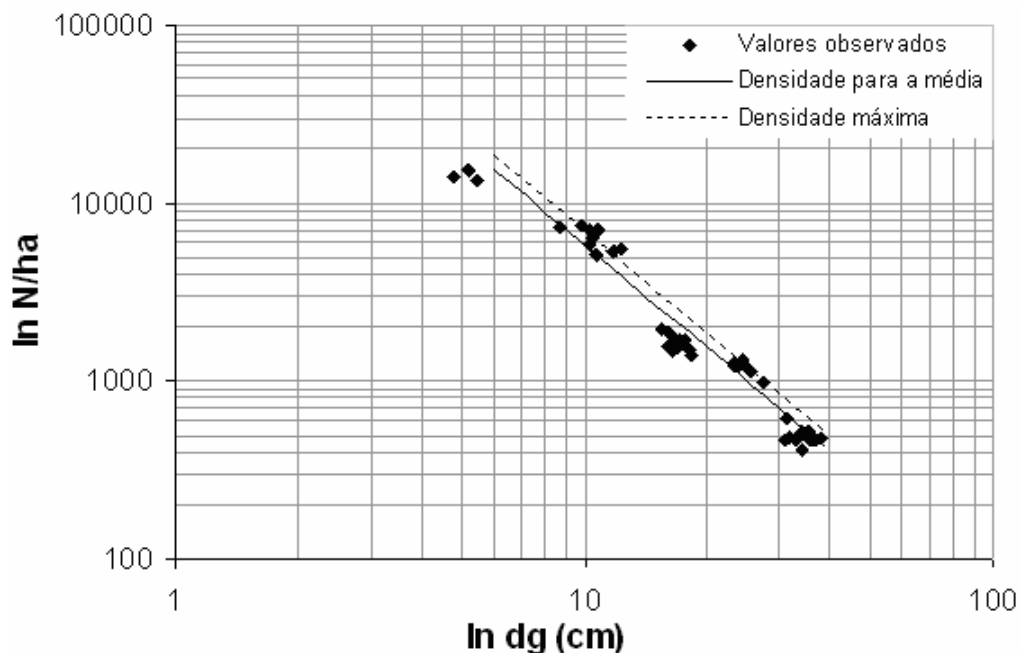


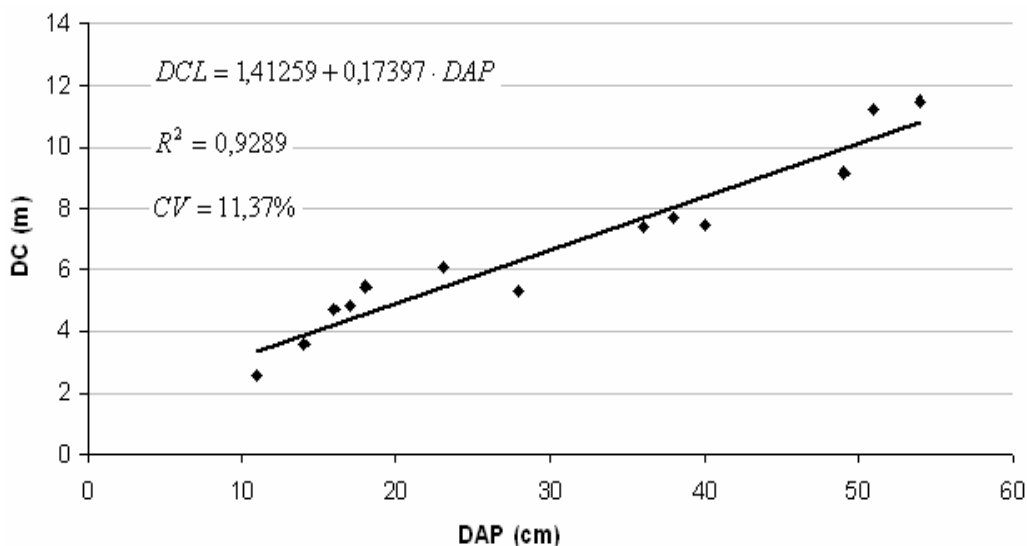
FIGURA 4 – Representação da densidade por hectare em função do dg em escala logarítmica.



### 5.3.2 Linha de início da ocupação total do dossel

Esta linha tem como base dados coletados em árvores livres de competição. As variáveis utilizadas são diâmetro à altura do peito (DAP) e diâmetro de copa (DC). Como se tem apenas dados de árvores isoladas, foi preciso simular um povoamento composto por árvores com tais características. Para isso se usou o DC, ou seja, calculou-se quantas copas com características de árvores com crescimento livre ocupariam o espaço de uma unidade de área, 1 (um) hectare.

Para estimar o número de árvores por hectare foi necessário antes estimar o diâmetro da copa em função de DAP (Equação 6). Antes de avançar no cálculo, realizou-se uma análise de correlação de Pearson entre o DAP e o DC. A análise revelou que a correlação entre as duas variáveis em árvores isoladas foi igual a 0,98065, altamente significativa (probabilidade inferior a 0,0001), indicando que a relação é diretamente proporcional, de modo que, havendo incremento de copa, também ocorre incremento em diâmetro de tronco. Na Figura 5 pode ser observada a correlação linear entre as variáveis.



**FIGURA 5 - Tendência linear do DC em função do DAP.**

Estes valores conferem com a literatura, em que outros autores também encontraram alta correlação entre o DC e o DAP. Segundo Weaver et al. (1979)

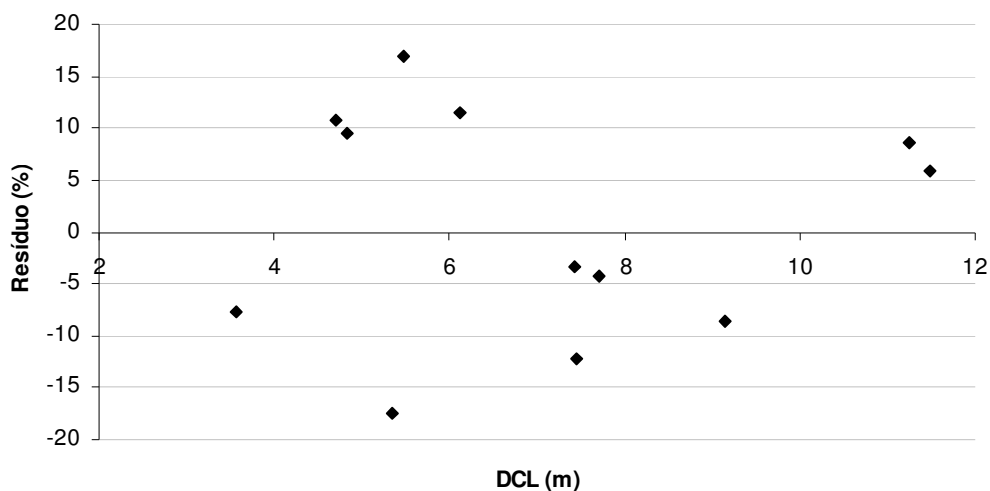
vários ensaios sobre a relação do DC com o DAP mostraram que existe alta correlação entre eles e que, na maioria dos casos, esta correlação é linear.

Utilizando a correlação existente entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito em indivíduos livres e sabendo que é uma correlação linear, se estimou o diâmetro de copa livre através do diâmetro do tronco. A equação ajustada é assim descrita:

$$DCL = 1,41259 + 0,17397 \cdot dap$$

Esta equação apresenta um excelente ajuste, com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,9289, um coeficiente de variação (CV%) igual a 11,37% e altamente significativo, com valor de F igual a 143,63, para uma probabilidade inferior a 0,0001.

Na Figura 6 são apresentados os resíduos, mostrando uma boa distribuição, a qual indica que o ajuste é satisfatório.



**FIGURA 6 - Distribuição dos resíduos de DCL em função do DAP.**

Tendo definida a equação, estimou-se o diâmetro da copa livre (DCL), para cada classe de DAP, desde 15 até 39 cm, por ser esta a amplitude em DAP que se tem interesse em manejar os povoamentos. Com o diâmetro da copa livre estimado, calculou-se o número de árvores que são necessárias para ocupar todo o espaço ao nível do dossel de uma unidade da área de acordo com a Equação 11.

A linha formada por dados de número de árvores por hectare, gerados pela Equação 11, representa o momento em que o povoamento ocupa todo o espaço ao nível do dossel. Esse é o ponto, a partir do qual, com um pequeno crescimento dos indivíduos, inicia-se a competição. Esta linha, que delimita o final do crescimento livre e o início da competição, representa 32% da densidade máxima.

Saunders et al. (2000) encontrou para este ponto de desenvolvimento de um povoamento de White spruce (*Picea glauca* (Moench)Voss), o valor de 40% da densidade máxima possível, de modo que este ponto marca o início da ocupação completa do sítio e o início da produção máxima. Povoamentos em densidade menor que esta, são povoamentos sub-estocados.

Na Tabela 5 são encontrados os valores para a densidade no início da ocupação total e para a densidade máxima.

**TABELA 4 - Densidade populacional para o mínimo e máximo estoque.**

Densidade populacional (N)		
DAP	mínima	máxima
15	787	3202
18	617	2256
21	496	1678
24	408	1298
<b>25</b>	<b>384</b>	<b>1201</b>
27	341	1036
30	290	846
33	249	705
36	216	596
39	189	511

Na Figura 7 pode ser observado o percentual de ocupação da linha de início da competição, 32% aos 25 cm, em relação aos 100% da linha de máximo. A linha pontilhada descreve a densidade máxima e a linha contínua descreve o início da ocupação completa do dossel.

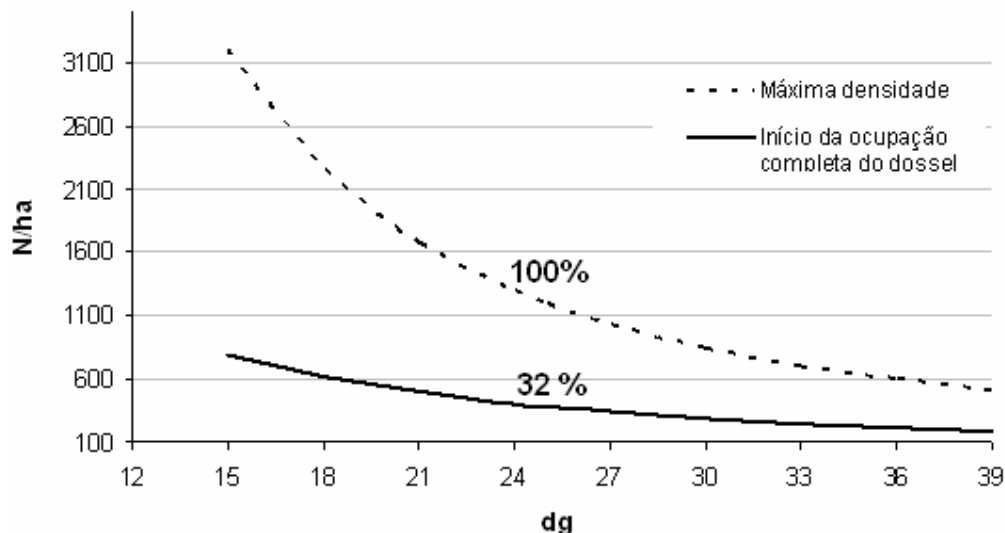


FIGURA 7-Tendência das densidades mínima e máxima em função do dg.

## 5.4 Índice de Densidade do Povoamento (IDP)

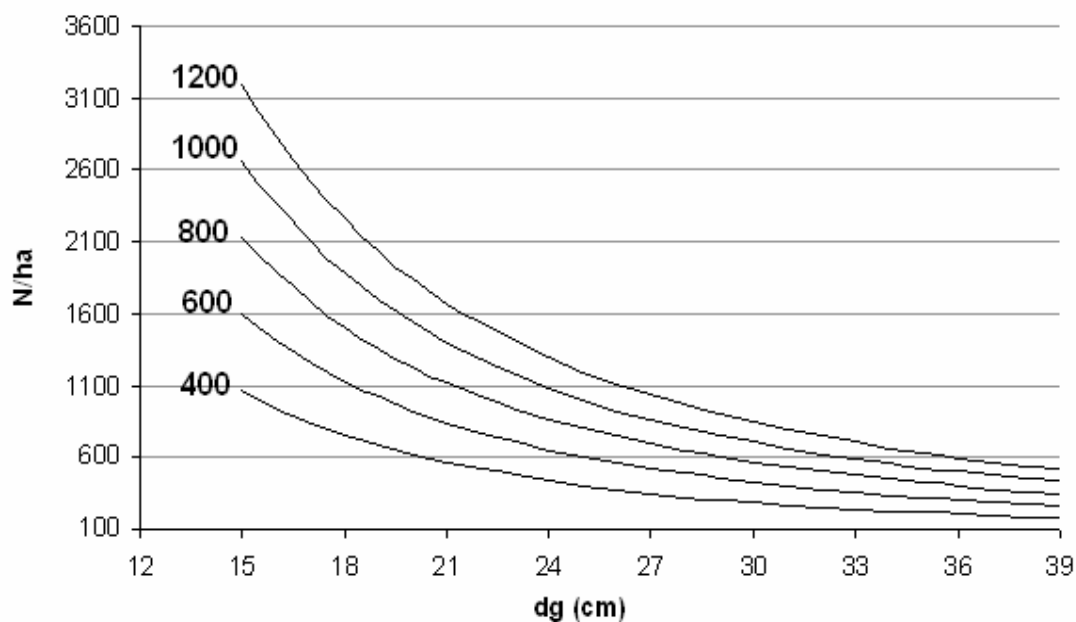
### 5.4.1 Em número de árvores (N)

Segundo Schneider (2008) este índice é o número de árvores por unidade de área que um povoamento pode ter para alcançar o diâmetro de área basal média de 25 cm, fixado, convencionalmente, como objetivo. Povoamentos da mesma espécie, em locais diferentes, tendem a limites de densidade específicos, mas a tendência será sempre semelhante e, devido a isto, são gerados índices de densidade do povoamento paralelos, para diferentes níveis de densidade em árvores por unidade de área (Equação 12). Os valores de IDP de 1200 a 400, em número de árvores por hectare, são apresentados na Tabela 6, tendo como referência o diâmetro padrão de 25 cm.

TABELA 5 – Índices de densidade do povoamento em número de árvores por hectare.

dg	Máx.	ÍNDICE DE DENSIDADE DO POVOAMENTO								
		1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400
15	3202	3200	2933	2667	2400	2133	1867	1600	1333	1067
16	2829	2827	2591	2356	2120	1885	1649	1414	1178	942
17	2518	2516	2307	2097	1887	1678	1468	1258	1048	839
18	2256	2255	2067	1879	1691	1503	1315	1127	940	752
19	2034	2032	1863	1694	1524	1355	1186	1016	847	677
20	1843	1842	1688	1535	1381	1228	1074	921	767	614
21	1678	1677	1537	1398	1258	1118	978	839	699	559
22	1535	1534	1406	1278	1150	1023	895	767	639	511
23	1409	1408	1291	1174	1056	939	822	704	587	469
24	1299	1298	1190	1082	973	865	757	649	541	433
25	<b>1201</b>	<b>1200</b>	<b>1100</b>	<b>1000</b>	<b>900</b>	<b>800</b>	<b>700</b>	<b>600</b>	<b>500</b>	<b>400</b>
26	1114	1113	1020	927	835	742	649	556	464	371
27	1036	1035	949	863	776	690	604	518	431	345
28	966	965	885	804	724	644	563	483	402	322
29	903	902	827	752	677	602	526	451	376	301
30	846	846	775	705	634	564	493	423	352	282
31	794	794	728	662	595	529	463	397	331	265
32	747	747	685	623	560	498	436	374	311	249
33	705	704	645	587	528	469	411	352	293	235
34	665	665	610	554	499	443	388	332	277	222
35	629	629	577	524	472	419	367	314	262	210
36	596	596	546	497	447	397	348	298	248	199
37	566	565	518	471	424	377	330	283	236	188
38	537	537	492	448	403	358	313	269	224	179
39	511	511	468	426	383	341	298	255	213	170

O comportamento dos índices, e suas tendências por número de árvores por hectare, em função da dg, podem ser observados na Figura 8. Os índices de densidade são apresentados em intervalos de classe de 200, de forma que a linha superior é IDP 1200 e a inferior 400.



**FIGURA 8 – Representação da tendência das curvas de Índice de densidade do povoamento em função do dg.**

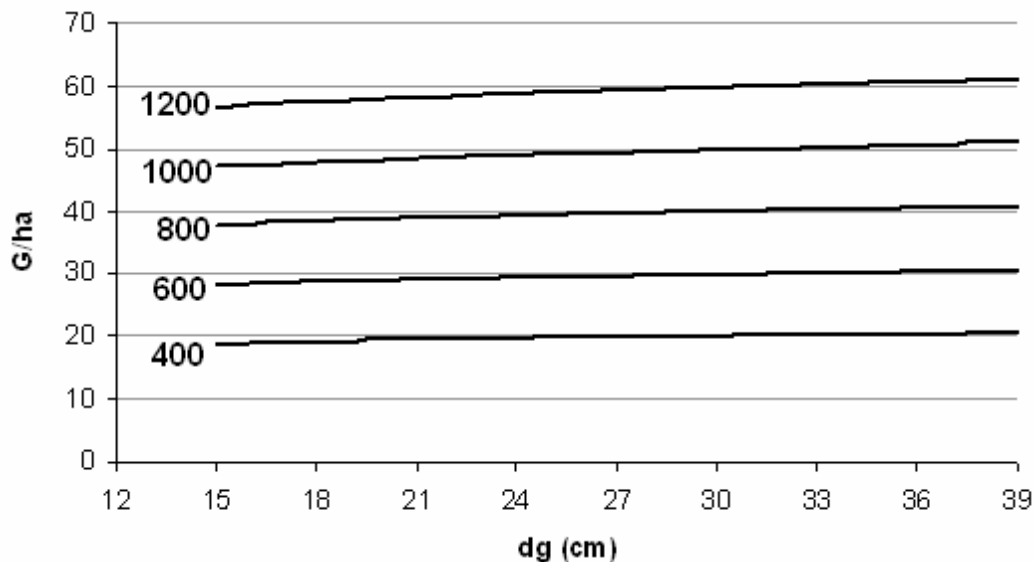
#### 5.4.2 Em área basal (G)

Os valores de densidade em área basal por hectare e, por diâmetro médio, para os índices de densidade do povoamento de 1200 a 400, são calculados com a Equação 13 e demonstrados de maneira decrescente em intervalo de classes de índice 100, na Tabela 7.

TABELA 6. – Índices de densidade do povoamento em área basal (G).

dg	ÍNDICE DE DENSIDADE DO POVOAMENTO EM ÁREA BASAL (G)								
	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400
15	56,549	51,836	47,124	42,412	37,699	32,987	28,274	23,562	18,850
16	56,841	52,104	47,368	42,631	37,894	33,157	28,421	23,684	18,947
17	57,117	52,357	47,598	42,838	38,078	33,318	28,559	23,799	19,039
18	57,379	52,597	47,816	43,034	38,252	33,471	28,689	23,908	19,126
19	57,627	52,825	48,023	43,220	38,418	33,616	28,814	24,011	19,209
20	57,864	53,042	48,220	43,398	38,576	33,754	28,932	24,110	19,288
21	58,090	53,249	48,408	43,567	38,727	33,886	29,045	24,204	19,363
22	58,306	53,447	48,589	43,730	38,871	34,012	29,153	24,294	19,435
23	58,514	53,638	48,761	43,885	39,009	34,133	29,257	24,381	19,505
24	58,713	53,820	48,928	44,035	39,142	34,249	29,357	24,464	19,571
25	<b>58,905</b>	<b>53,996</b>	<b>49,087</b>	<b>44,179</b>	<b>39,270</b>	<b>34,361</b>	<b>29,452</b>	<b>24,544</b>	<b>19,635</b>
26	59,090	54,166	49,241	44,317	39,393	34,469	29,545	24,621	19,697
27	59,268	54,329	49,390	44,451	39,512	34,573	29,634	24,695	19,756
28	59,441	54,487	49,534	44,581	39,627	34,674	29,720	24,767	19,814
29	59,608	54,640	49,673	44,706	39,738	34,771	29,804	24,837	19,869
30	59,769	54,789	49,808	44,827	39,846	34,865	29,885	24,904	19,923
31	59,926	54,932	49,938	44,945	39,951	34,957	29,963	24,969	19,975
32	60,078	55,072	50,065	45,059	40,052	35,046	30,039	25,033	20,026
33	60,226	55,207	50,189	45,170	40,151	35,132	30,113	25,094	20,075
34	60,370	55,339	50,308	45,278	40,247	35,216	30,185	25,154	20,123
35	60,510	55,468	50,425	45,383	40,340	35,298	30,255	25,213	20,170
36	60,647	55,593	50,539	45,485	40,431	35,377	30,323	25,269	20,216
37	60,779	55,714	50,650	45,585	40,520	35,455	30,390	25,325	20,260
38	60,909	55,833	50,758	45,682	40,606	35,530	30,455	25,379	20,303
39	61,036	55,949	50,863	45,777	40,690	35,604	30,518	25,432	20,345

A Figura 9 demonstra o comportamento da área basal por hectare em função do diâmetro. Observa-se a leve elevação da área basal com o aumento do diâmetro. E a inclinação é maior quanto maior o índice de densidade.



**FIGURA 9** – Representação da tendência do índice de densidade do povoamento em área basal em função do dg.

## 5.5 Faixa de manejo

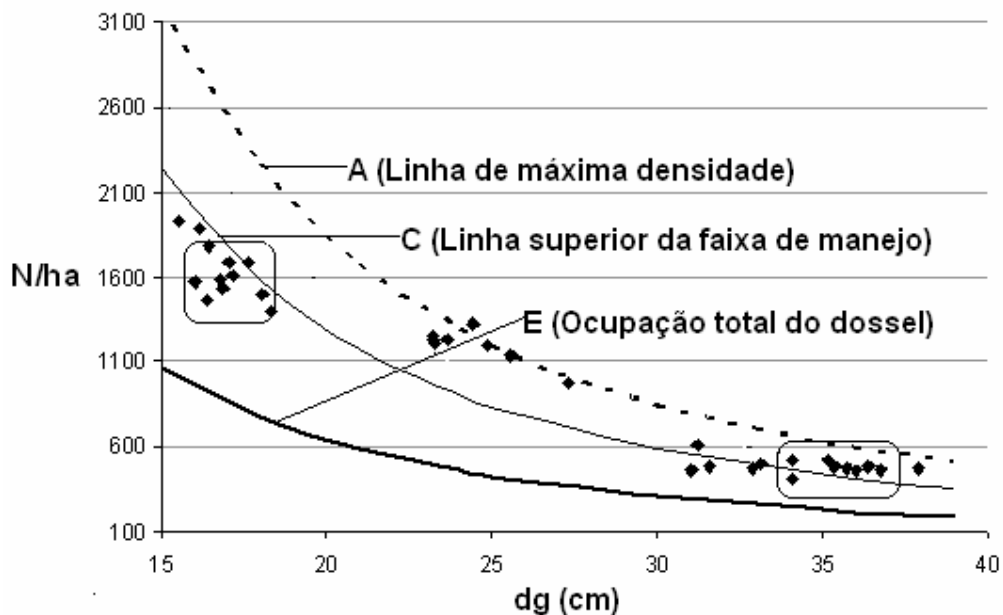
### 5.5.1 Linha superior de manejo

Utilizando os valores encontrados para povoamentos em densidade máxima, e no povoamento em início da ocupação total, realizou-se o cálculo para definir o primeiro critério, a fim de estabelecer a máxima densidade de manejo, com base na Equação 14.

$$C = \left( \frac{100\% - 36\%}{2} \right) + 36\% = 68\%$$

A densidade máxima de manejo é estabelecida com base no processo de cálculo, descrito acima, e na análise de densidade real de dois povoamentos, que embora não tenham sido instalados e conduzidos para servir de fonte de análise para este estudo, são de fundamental importância para a comprovação e calibração da densidade máxima de manejo, como foi representado na Figura 10.





**FIGURA 10 - Definição da densidade superior de manejo.**

Os povoamentos utilizados para definir a linha superior de manejo estão marcados por retângulos. O primeiro povoamento, utilizado para calibrar a linha máxima de manejo, possui dg de 17 cm. É possível observar que a linha C passa acima. E, muito próxima do povoamento, esta população está no limite de manejo, pois apresenta dossel completamente ocupado, com árvores dominantes, médias e dominadas, mas ainda não se observa mortalidade provocada por competição. Outro povoamento utilizado para calibrar a linha máxima de manejo possui dg de 35 cm. Este povoamento encontra-se acima da linha C. A floresta apresenta árvores dominantes, intermediárias, dominadas e mortalidade por autodesbaste, além de um estoque elevado, características de floresta em densidade excessivamente elevada.

A linha B, linha da regressão gerada com os dados originais, representa o nível de densidade do povoamento em que ocorre a mortalidade dos indivíduos suprimidos e ocorrência de muitos indivíduo dominados.

O resultado do cálculo indica que a densidade máxima de manejo deve ser 68% da densidade máxima que o povoamento pode atingir. Entretanto, observando os dois povoamentos utilizados como referência, percebe-se que a densidade máxima de manejo pode ser elevada para 70%.

Este valor está acima do encontrado por Saunders et al. (2000), segundo o qual a linha superior de manejo se localiza a 55% da linha de máxima densidade. Já Nyland (2002) sustenta que níveis de até 80% poderiam ser justificáveis, mas com ocorrência de mortalidade em indivíduos dominados e intermediários. Por outro lado Rogers (1983), diz que densidades menores que 30% favorecem o desenvolvimento de sub-bosque e regeneração natural e, densidades superiores a 60%, inibem o surgimento de sub-bosque e regeneração natural.

A linha C indica a densidade do povoamento em que o efeito da competição faz com que existam indivíduos dominados, sem mortalidade, ou seja, é o limite máximo aceitável para manejo.

### 5.5.2 Linha inferior de manejo

A linha inferior de manejo é obtida após definir-se a amplitude da faixa de manejo, que é proporcional à máxima densidade e obtida com base no diâmetro padrão de 25 cm. Como o desbaste é realizado antes que o povoamento atinja a máxima densidade, o peso da intervenção é definido sobre o limite superior de manejo, IDP de 840 (Linha C). A amplitude da faixa de manejo foi calculada após ter sido definido retirar, no desbaste, em torno de 30% da área basal disponível, no diâmetro de 25 cm.

Grosse ; Quiroz (1998) recomendam a retirada de 30 a 40% da área basal nas intervenções de desbaste, sendo este peso adequado para causar uma boa liberação no povoamento, criando condições adequadas para o desenvolvimento dos indivíduos remanescentes.

Para obter a amplitude da faixa de manejo, com base no peso de desbaste de 30% sobre o IDP de 840, procede-se de acordo com a Equação 15.

$$AFM_{25cm} = \frac{30 \cdot 840}{1200} = 21$$

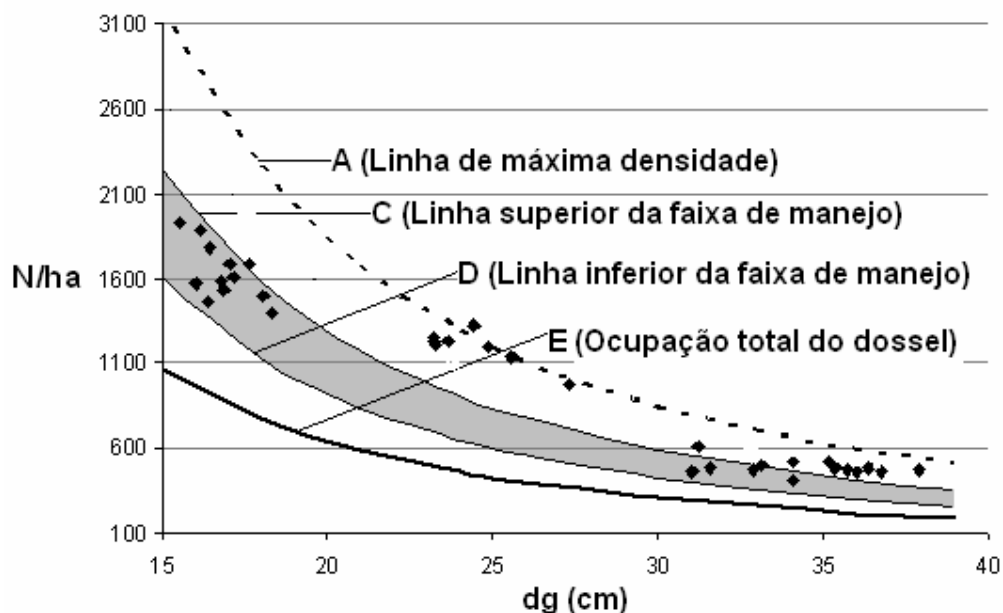
Onde:  $AFM_{25cm}$  = Amplitude da Faixa de Manejo no diâmetro padrão de 25 cm.

O processo de cálculo resultou em uma amplitude de 21%, mas por critério de arredondamento se utilizou 20%. Então, a linha inferior da faixa de manejo está localizada a 50% da densidade máxima possível (linha D), uma vez que a linha superior de manejo ocupa 70% da densidade máxima.

**TABELA 7 - Densidade populacional para o início da ocupação total, para o máximo estoque e os limites superior e inferior da faixa de manejo.**

DAP	Densidade populacional (N/ha)			
	mínima	Lim. Inf.	Lim. Sup.	máxima
15	1074	1601	2241	3202
18	781	1128	1579	2256
21	593	839	1175	1678
24	466	649	909	1298
<b>25</b>	<b>433</b>	<b>600</b>	<b>840</b>	<b>1201</b>
27	376	518	725	1036
30	309	423	592	846
33	259	352	493	705
36	220	298	417	596
39	189	256	358	511

A faixa de manejo possui amplitude de 20%, valor este 5% maior que o utilizado por Saunders et al. (2000), que usou amplitude de 15% para a faixa de manejo. Este autor utilizou variáveis mensuradas em plantios de White spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) distribuídos ao norte da América do Norte. A amplitude maior, utilizada para este trabalho, pode ser justificada pelo fato de que as florestas da região central do Rio Grande do Sul apresentam crescimento mais acelerado, justificando intervenções mais pesadas. As densidades mínima e máxima e da faixa de manejo estão demonstradas na Tabela 8. A localização da faixa de manejo pode ser observada na Figura 11.



**FIGURA 11 – Faixa de manejo com amplitude de 20%.**

Povoamentos manejados próximos da linha C apresentam alta densidade populacional, com desenvolvimento limitado em DAP em alguns indivíduos, muitas árvores cilíndricas, com relação hipsométrica elevada, características tecnológicas de madeira estrutural e ausência total de sub-bosque.

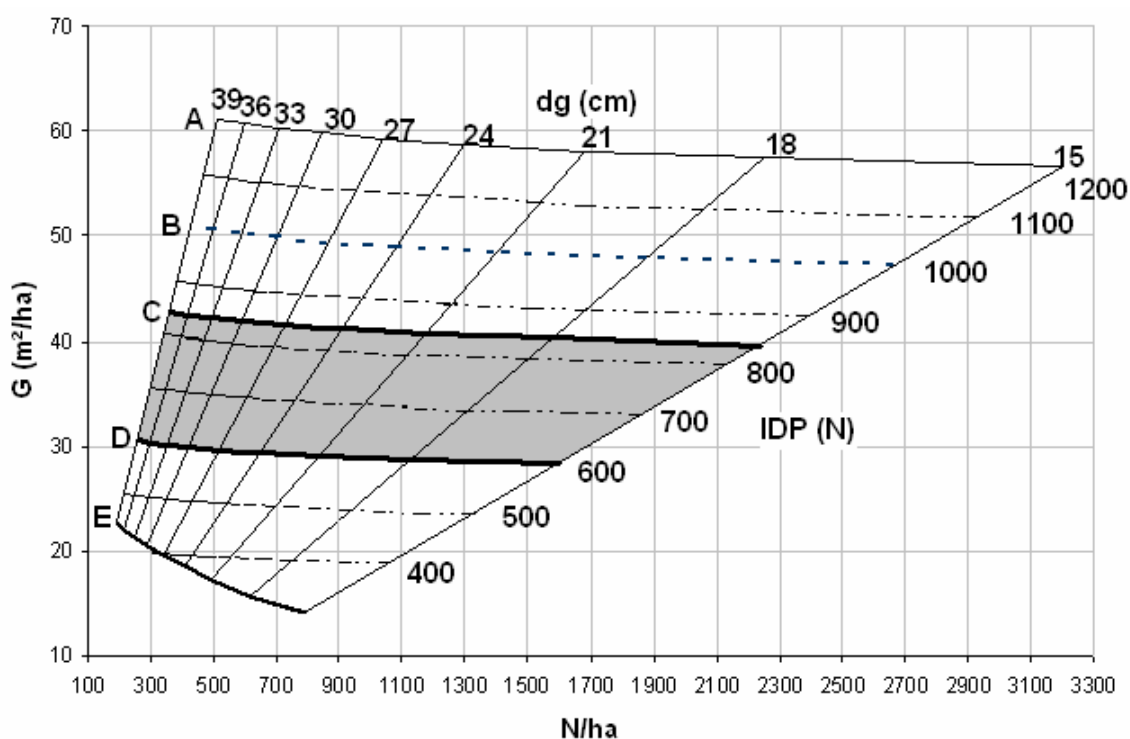
O limite inferior da faixa de manejo (linha D), é a densidade em que as árvores apresentam características de indivíduos dominantes, menor número de indivíduos e menor produção total. O povoamento conduzido próximo desta densidade prioriza o maior desenvolvimento em dimensão do indivíduo.

## 5.6 Dendrograma

O dendrograma é uma forma prática e eficiente de demonstrar a densidade populacional e, também, é de grande importância na orientação para intervenções de desbaste. O mesmo é de fácil entendimento e a densidade pode ser lida tanto em área basal, quanto em número de árvores.

O dendrograma é construído com duas variáveis de entrada, sendo no eixo X do plano cartesiano, o número de árvores por hectare (N); no eixo Y a área basal por hectare (G). O diâmetro da árvore de área basal média (dg) é representado pelas linhas na orientação vertical inclinada a direita.

No dendrograma apresentado na Figura 12, a amplitude de abrangência é desde 15 até 39 cm de dg, em classes de 3 cm. O início é aos 15 cm por ser aproximadamente o momento em que se inicia o manejo de populações de Pinus.



**FIGURA 12 – Dendrograma de manejo da densidade para povoamentos de *Pinus elliottii*, Engelm.**

As linhas cheias, na orientação horizontal, representam o percentual de estoque e são formadas pelas coordenadas de número de árvores e área basal por hectare. Portanto, podem orientar desbastes tanto por N quanto por G. As linhas horizontais pontilhadas representam o Índice de Densidade do Povoamento (IDP). As linhas verticais inclinadas para a direita indicam as  $dg_s$ , desde 15 até 39 cm.

O povoamento encontra-se em ocupação total, e com densidades manejáveis, entre as linhas B e E.

Acima da linha B o povoamento se encontra em auto-desbaste, ocorrendo a mortalidade de indivíduos dominados e, próximo da linha A, o povoamento apresenta mortalidade contínua, inclusive de indivíduos intermediários. Na linha B, a densidade em IDP é de 1000, e estoque de 83% da máxima densidade possível de ser alcançada. Nenhum tipo de manejo é indicado acima desta linha por ocorrer perda de crescimento por competição excessiva. Abaixo da linha E, o povoamento encontra-se em densidade excessivamente baixa, de modo que as árvores, mesmo estando em crescimento livre, não possuem copas capazes de ocupar todo o espaço. Densidades tão baixas não são de interesse por se desperdiçar capacidade de sítio. A densidade na linha E é de 36% da máxima densidade possível de ser alcançada.

A faixa de manejo está locada dentro dos limites de estoque completo, de modo que o limite inferior está em densidade de 50% do estoque máximo e o limite superior está em densidade de 70% do estoque máximo, produzindo uma amplitude para manejo de 20%. Mantendo a densidade dentro destes limites se produzirá florestas com indivíduos de fuste bem formado, boa produção final e indivíduos de média a grandes dimensões. A faixa de manejo inicia quando o povoamento atinge o IDP 600 e termina quando atinge o limite superior, IDP 840. No entanto, se o objetivo for produzir madeira mais densa, com incremento limitado e regular, madeira estrutural, o povoamento deve ser conduzido em densidade mais elevada.

As florestas analisadas para a realização deste trabalho apresentaram IDP máximo de 1200. Todavia, Borzone; Bardy (1992) encontraram um IDP de 1450, e Rebottaro et al. (2007) encontrou um IDP de 1600. Este último autor, em 2003, mostrou que em plantações de *Pinus elliottii*, submetidos a regimes de desbaste, apresentaram valores de IDP de 600 e 800 e que povoamentos que apresentam valor de IDP de 900 estão em processo de autodesbaste.

Schneider (2008), após a fixação do diâmetro padrão de 25 cm, calculou os IDPs com intervalos de classe de 200, a partir de um valor máximo de 1400 até o mínimo de 600, com intervalos de classe de índice 200.

Segundo Rebottaro et al.(2007), assumindo um IDP máximo ao redor de 1500 para *Pinus elliottii*, sugere-se que as populações sejam manejadas entre os valores de 500 e 800 de IDP, de maneira que o limite adotado dependerá do objetivo de produção. Caso se queira produzir muito volume, em pouco tempo, admitindo pequenas taxas de incremento individual, devem ser utilizados IDPs mais elevados.

E, desejando-se incrementos individuais maiores se deve utilizar valores de IDP mais baixos.

### 5.7 Planos de desbastes formados com auxílio do dendrograma de manejo

O primeiro plano formado considera um povoamento com densidade inicial de 1666 árvores, em que o objetivo é manejar o povoamento até corte final com três desbastes, como demonstrado na Tabela 9.

**TABELA 8 - Plano de desbaste para condução de povoamento com densidade inicial de 1666 árvores.**

OPÇÃO DE MANEJO					
Povoamento Remanescente			Desbastes		
Dg (cm)	N	G (m <sup>2</sup> )	N	G (m <sup>2</sup> )	Peso (%G)
10,0	1666	13,085			
17,5	1666	40,072			
19,0	1000	28,353	666	11,719	29,245
23,0	1000	41,548			
25,0	600	29,452	400	12,096	29,112
30,0	600	42,412			
33,0	350	29,935	250	12,477	29,417
39,0	350	41,811			

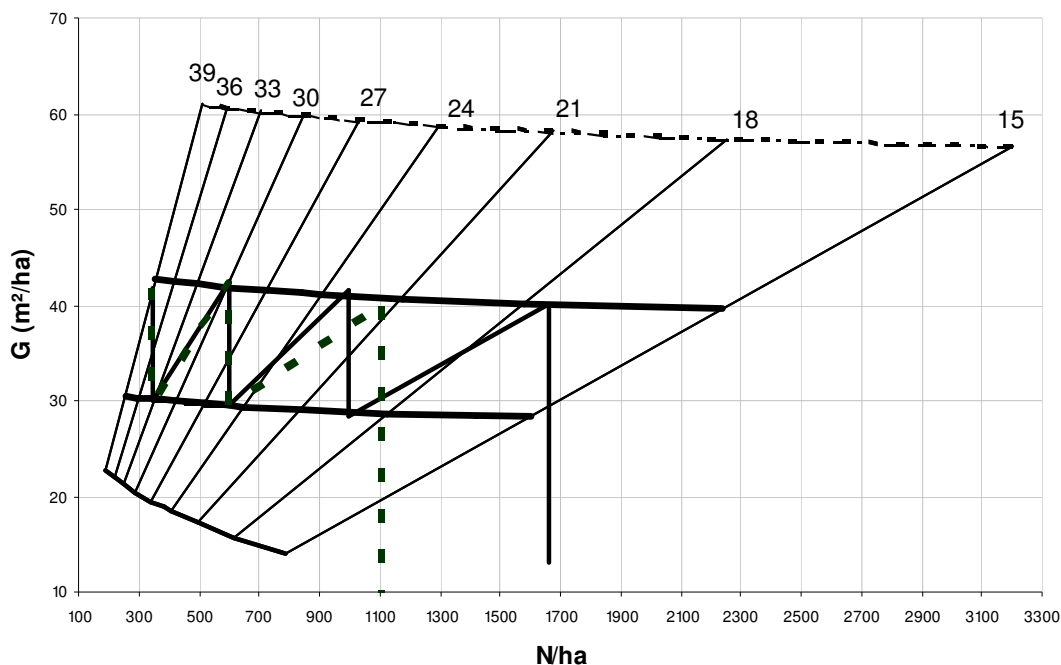
É possível conduzir o povoamento com três desbastes até corte raso, realizando-se três intervenções com peso em torno dos 30% da área basal, conforme o proposto. Como pode ser observado na Figura 13, a linha cheia oscilante dentro dos limites da faixa de manejo descreve a densidade do povoamento em número de árvores e área basal, além de demonstrar o dg no momento da intervenção, e estimar a elevação imediata do dg pelo efeito de desbastes realizados por baixo.

O dendrograma pode ser utilizado para diferentes opções de manejo, pra a área que ele foi construído. Na Tabela 10 pode ser observado um segundo plano de desbaste formado para uma densidade inicial de 1111 árvores, em que foi possível estimar o manejo do povoamento com duas intervenções, com pesos de desbaste em torno de 30%, como pode ser observado na linha oscilante tracejada dentro dos limites da faixa de manejo.

**TABELA 9 - Plano de desbaste para condução de povoamento com densidade inicial de 1111 árvores.**

OPÇÃO DE MANEJO					
Povoamento Remanescente			Desbastes		
dg (cm)	N	G (m <sup>2</sup> )	N	G(m <sup>2</sup> )	Peso (%G)
10	1111	8,726			
16	1111	22,338			
19,0	1111	31,500			
21,5	1111	40,335			
25,0	600	29,452	511	10,833	26,98
30,0	600	42,412			
33,0	350	29,935	250	12,477	29,42
39,0	350	41,811			

A visualização do plano de desbaste pode ser observada na figura 13.



**FIGURA 13 - Planos de desbaste para densidades diferentes no mesmo dendrograma.**

Na Figura 13, as linhas oscilantes indicam os planos de desbaste, sendo que a linha cheia representa o povoamento com densidade inicial de 1666 árvores e a linha tracejada representa o povoamento com densidade inicial de 1111 árvores. Como é de se esperar, o povoamento com densidade inicial maior, atinge o ponto de



desbaste mais cedo e é necessária a realização de três intervenções para conduzi-lo até 39 cm. A densidade inicial menor permite que a floresta se desenvolva sem intervenções por um período de tempo maior, por haver mais espaço a ser ocupado, e desta forma, dois desbastes são suficientes para conduzir o povoamento até atingir 39 cm de dg. É interessante verificar que a densidade dos povoamentos, em número de árvores e área basal se iguala as 25 cm de dg, o que ocorre após a aplicação do segundo desbaste no povoamento mais denso e após o primeiro desbaste no menos denso, e que a partir deste ponto o manejo segue o mesmo para os dois casos.

Levando em consideração que desbastes nivelam as árvores que compõe uma floresta, em dimensão e qualidade, o povoamento que apresenta 25cm de dg e sofreu dois desbastes deve estar mais homogêneo, se comparado com outro, com mesma dg, mas que recebeu apenas uma intervenção de desbaste.

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

Sobre a análise da densidade dos povoamentos, todos se apresentaram em densidade elevada.

O coeficiente angular, encontrado para a relação entre densidade máxima em número de árvores por hectare e o diâmetro de área basal média, foi de -1,92009.

A densidade populacional no início da ocupação total do dossel é de 36% do número máximo de árvores que o local pode suportar.

O índice de densidade do povoamento (IDP) para a densidade populacional máxima é de 1200 e, para o início da ocupação total do dossel, é de 400.

O estudo da densidade adequada para conduzir o povoamento resultou no estabelecimento de limites de IDP, entre os quais o povoamento deve ser conduzido. O valor de IDP 600 estabelece a densidade mínima e de 840 para a densidade máxima.

O estudo da densidade populacional realizado neste trabalho permitiu a construção do dendrograma de manejo da densidade, com amplitude de 15 cm a 39 cm de dg.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. S. G.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMP, E. **Características, classificação e relação solo-superfície-material de origem dos solos do campus da UFSM**. Santa Maria: Departamento de solos, 2009. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/ccr/solos>>. Acesso em: 20 jan.

ASSMANN, E. **Principles of forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970. 506 p.

BORZONE, H. A.; BARDI, J. F. Determinación del crecimiento de una parcela de *Pinus elliottii* de 10 años en Azul (Buenos Aires). In **Jornadas sobre pinus subtropicales**, 1992, Buenos Aires. **Actas...**, Buenos Aires, 1992. p.180-188.

CHAPMAN, H. H. Effects of thinning on yields of forest-grown longleaf and loblolly pines at Urania, LA. **Journal of forestry**, Washington, v. 51, p. 16-26, 1953.

CHAPMANN, H. H.; MEYER, W. H. **Forest mensuration**. New York: McGraw Hill, 1949. 522p.

DANIEL, T. W.; HELMS, J. A.; BAKER, F. S. **Principles de silvicultura**. 2. ed. Mexico: McGraw-Hill, 1982. 492 p.

DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal for Forest Research**, Montreal, v. 16, n. 6, p. 1230-1237, Dec. 1986.

DEAN, T. J.; BALDWIN, V. C. **Using a stand density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations**. USDA Forest Service. 1993. (Research paper, SO 275).

DEL RIO, M.; MONTERO, G.; BRAVO, F. Analysis of diameter-density relationships and self-thinning in non-thinned even-aged Scots pine stands. **Forest Ecology and management**, Amsterdam, v.142, p. 79-87, 2001.

DURLO, M. A.; SUTILI, F.J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n.2, p. 79-89, jul./dez. 2004.

GEZAN, S. A.; ORTEGA, A.; ANDENMATTEN, E. Diagramas de manejo de densidad para renovales de roble, raulí y coigüe em Chile. **Bosque**, Valdivia, v. 28, n. 2, p. 97-105, Jul./Dic. 2007.

GOOGLE EARTH, **Software**, v.4.3.7191.6508, EUA. 2008. Acesso em 15 de Janeiro de 2009.

GINGRICH, S. R. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forests in the central states. **Forest Science**, Bethesda, v. 13, n. 1, p. 28-53, Feb. 1967.

GROSSE, H.; QUIROZ, I. **Silvicultura de los bosques de segundo crecimiento de Roble, Raulí y Coigüe en la Región Centro-Sul de Chile**. Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile, Santiago: Ed. Universitária, 1998, p. 95-128.

HILEY, W. E. **Conifers**: South African methods of cultivation. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.

KARAJICECK, J.; BRINKMAN, K.; GINGRICH, S. R. Crown-competition: a measure of density. **Forest Science**, Bethesda, v. 7, n. 1, p. 35-42. Feb. 1961.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas**. Santa Maria; Ed. UFSM, 1996.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961, 41 p.

NUTTO, L. et al. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 123-138, jan./jun. 2001.

REBOTTARO, S. L.; CABRELLI, D. A. Crecimiento y rendimiento de *Pinus elliottii* en plantación y en regeneración natural manejada con raleos en Entre Ríos, Argentina. **Bosque**, Valdivia n. 1 v. 28, p. 152-161, 2007.

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

ROGERS, R. **Guides for thinning shortleaf pine**. Forest Service. 1983 p. 217-225.

SAUNDERS, M. R.; PUETTMANN, K. J. **A preliminary white spruce density management diagram for the lake states**. University of Minnesota. Department of forest Research, 2000, p.13.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo florestal: planejamento da produção florestal**. Santa Maria, UFSM, 2004, 493 p.

SCHULTZ, R. P. **Loblolly pine. USDA Forest service**. 1997 (Agricultural handbook, 713).

SCHULZ, J.; RODRIGUEZ, P. E. Establecimiento de parcelas permanentes de rendimiento en plantaciones experimentales en *Cupressus lusitanica*, *Pinus radiata* y *Pinus pseudostrobus* en Los Andes Venezolanos. **Revista Forestal Venezolana**, Merida v. 10, n. 5, p. 21-46, 1967.

SINGH, P. Thinning, theory and method. **Indian Forester**, n. 7, p. 521-532, 1968.

SPURR, S. H. A measure of point density. **Forest Science**, Bethesda, v. 8, n. 1, p. 85-96. Feb. 1962.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press, 1952. 476 p.

STAHELIN, R. Thining even-aged loblolly end slash pine stands to specified densities. **Journal of Forestry**, Washington v. 47, p. 538-540, 1949.

TANG, S. et al. A growth and self-thinning model for purê even-aged stands: theory and applications. **Forest Ecology and Management**, St. Louis, v. 70, n. 1, p. 67-73, Jan. 1994.

WAHLENBERG, W. G. **Loblolly pine**. The School of Forestry, Duke University. 1960. 603 p.

ZEIDE, B. **In search of optimal density**. Disponível em <http://www.afrc.uamont.edu/zeideb/pdf/model/02optdensity.pdf>. Acesso em 15 de outubro de 2009.