

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

**EFEITOS BIOLÓGICOS E ECONÔMICOS DE
TRATAMENTOS SILVICULTURAIS EM PLANTIOS
DE *Pinus taeda* L. NO NORDESTE ARGENTINO**

TESE DE DOUTORADO

Raúl Vicente Pezzutti

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**EFEITOS BIOLÓGICOS E ECONÔMICOS DE
TRATAMENTOS SILVICULTURAIS EM PLANTIOS
DE *Pinus taeda* L. NO NORDESTE ARGENTINO**

por

Raúl Vicente Pezzutti

Tese apresentada ao Curso de Doutorado 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 **Doutor em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal**

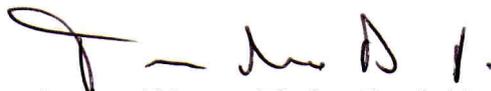
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**EFEITOS BIOLÓGICOS E ECONÔMICOS DE
TRATAMENTOS SILVICULTURAIS EM PLANTIOS
DE *Pinus taeda* L. NO NORDESTE ARGENTINO**

elaborada por
Raúl Vicente Pezzutti

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:



Frederico Dimas Fleig, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Rinaldo Luis Caraciolo Ferreira, Dr. (UFRPE)



Fabio Abel Moscovich, Dr. (INTA)



Nereu Augusto Streck Dr. (UFSM)



Eduardo Pagez Floriano, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 18 de março de 2011.

Dedico...

A minha esposa, Silvana e a meus
filhos Lucio e Giuliano....

A meus pais, Omar e Aurélia....

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig, meu orientador, pelo apoio, dedicação e disponibilidade permanente para intercambiar ideias sobre as metodologias e resultados da presente pesquisa.

- Aos professores Paulo R. Schneider e César G. Finger, meus co-orientadores, pelo apoio e atenção dispendidas durante a realização do curso.

- Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFSM, pelo acolhimento e ensino na UFSM.

- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela colaboração na realização do curso de Doutorado.

- Ao Gerente da empresa Forestal Bosques del Plata S.A. do grupo CMPC, Sr. Sergio Alvarez e, aos diretores, Sres. Daniel Contesse e Hernán Rodríguez, pelo apoio para a realização do curso.

- Aos colegas e amigos, Rute Berger, Rafael Trujillo e Raúl Schenone, pela colaboração e ajuda recebida durante a realização do curso.

- Ao Eng. Hugo Fassola do Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA) - Montecarlo, pela colaboração na discussão de diferentes aspectos abordados neste trabalho.

- Ao grupo da Camcore da North Carolina State University (NCSU), pela colaboração nas análises das propriedades da madeira, especialmente ao Eng. William Woodbridge, pela colaboração nas análises das amostras de madeira no laboratório, interpretação dos dados e geração de gráficos.

- Aos Professores Harold Burkhart e Thomas Fox da Virginia Polytechnic Institute and State University, pela colaboração no envio de publicações relacionadas ao estudo e comentários.

- À empresa Forestal Bosques del Plata S.A. e ao Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, pelos dados e informações recebidas para a realização desta tese.

- Ao Eng. Florestal Arturo Hernández e sua equipe de trabalho e ao Sr. Sebastián Boilini, pelas medições realizadas no experimento avaliado.

- Aos meus colegas do curso, pelas experiências compartilhadas durante o período de estudante do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal.

- A minha esposa Silvana, pelo apoio na tomada de decisões para a realização do curso, pela compreensão, amizade e aportes profissionais, por seu amor.

- A meus pais, pela constante motivação para realizar o curso de doutorado e o trabalho de tese.

Muito obrigado,

Raúl V. Pezzutti

Santa Maria, 18 de março de 2011

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

EFEITOS BIOLÓGICOS E ECONÔMICOS DE TRATAMENTOS SILVICULTURAIS EM PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. NO NORDESTE ARGENTINO

AUTOR: Raúl Vicente Pezzutti
ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 18 de março de 2011

A presente tese foi realizada com o objetivo de estudar o efeito dos desbastes pré-comerciais e das podas no crescimento, produção, qualidade da madeira e resultado econômico, em um povoamento de *Pinus taeda* L. de 15 anos de idade, no Nordeste da Argentina. O estudo localizou-se em solo vermelho argiloso profundo com um delineamento sistemático de faixas para intensidades de desbastes e subfaixas para intensidades de podas. Os tratamentos de desbaste, realizados aos 3 anos de idade, foram: 1666 (sem desbaste); 833; 416 e 208 árvores ha⁻¹. As podas foram realizadas a partir dos 3 anos e com frequência anual por 2, 3 ou 4 anos consecutivos, com remoção de 30, 50 e 70 % da copa viva, respectivamente. O modelo geral obtido por regressão linear permitiu estimar o diâmetro da árvore de área basal média (dg) em função da idade com boa precisão (e%=5,9), sendo as variáveis: árvores remanescentes, copa remanescente e número de podas consideradas nos modelos estimadores dos coeficientes da função geral. Aos 15 anos de idade, os diâmetros variaram entre 25,6 e 41,5 cm, para as densidades de 1666 e 208 árvores ha⁻¹, respectivamente, sem poda. O dg foi afetado negativamente pelas podas e positivamente pelos desbastes. A altura não foi afetada pelos desbastes e as podas. O povoamento apresentou uma altura de 23,8 metros. A distribuição normal foi a que melhor representou os dados do dg. Na densidade de 1666 árvores ha⁻¹, o número de árvores vivas começou a diminuir aos 6 anos. O IDR foi de 1181 árvores ha⁻¹. As árvores apresentaram-se mais cônicas quando o desbaste foi mais intenso. A área basal variou entre 56,3 e 27 m² ha⁻¹ para os 1666 e 208 árvores ha⁻¹ respectivamente, sem poda. Os volumes foram maiores nas maiores densidades de árvores ha⁻¹, variando entre 679,9 e 327,4 m³ ha⁻¹, com 833 e 208 árvores ha⁻¹ respectivamente. Quando as árvores foram podadas, o volume ha⁻¹ apresentou diminuições entre 1,6 e 10,4 %, conforme a densidade. A densidade de 416 árvores ha⁻¹ apresentou a maior produção de produtos de valor. A proporção de copa viva foi afetada negativamente pela poda e positivamente pelos desbastes; valores estimados de 59,1 e de 22,7 % foram obtidos para 208 e 1666 árvores ha⁻¹ respectivamente. A densidade da madeira foi afetada pelos desbastes, apresentando maiores valores estimados quando estes foram mais intensos, variando entre 404 e 342,8 kg m⁻³ para 208 e 1100 árvores ha⁻¹. A % de lenho tardio apresentou o mesmo comportamento que a densidade e os valores estimados variaram entre 40,2 e 29,3 % para 208 e 1200 árvores ha⁻¹, respectivamente. Em geral, o número de anéis por polegada foi menor que 2 nas áreas próximas à medula e superior a 4 nas próximas à casca. Os valores máximos de VPL, TIR, B/C e VAE foram de 1055,6 US\$ ha⁻¹; 11,9 %; 1,43; e 123,3 US\$ ha⁻¹ para o plantio de 833 árvores ha⁻¹ desbastado a 416 árvores ha⁻¹ com poda, em 15 anos. Os melhores resultados econômicos foram obtidos com tratamentos desbastados e com poda.

Palavras-chave: crescimento, produção, qualidade da madeira, análise econômica, desbaste, desrama.

ABSTRACT

Doctor's Thesis
Post-Graduation Program in Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

GROWTH AND WOOD QUALITY OF *Pinus taeda* L. PLANTATIONS IN RESPONSES TO PRUNING AND UNCOMMERCIAL THINNING

AUTHOR: Raúl Vicente Pezzutti
ADVISOR: Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig
Date and Place of Defense: Santa Maria, march 18th, 2011.

The aim of this thesis was to study the effect of pre-commercial thinning and pruning on growth, yield, wood quality and economic results, on a 15th year old stand of *Pinus taeda* L. in the Argentinean northeast. The study was established in a deep red clay soil, with a systematic design of blocks for thinning intensity and sub-blocks for pruning intensity. The thinning treatments, performed at 3 year old were: 1666 (without thinning); 833; 416 and 208 trees ha⁻¹. The pruning were done annually, starting at 3 year old, and applied by 2, 3 or 4 consecutive years removing 30, 50 and 70 % of the living crown respectively. The general model obtained by linear regression allowed to estimate, with good precision ($e\%=5,9$), the quadratic mean diameter (dg) in function of age. The variable remnants trees, remnant crown, and number of prunings were considered to estimate the general function coefficients. At 15 year old, the dg varied from 25,6 to 41,5 cm to 1666 and 208 trees ha⁻¹ respectively without pruning. The dg was negatively affected by pruning and positively affected by thinning. The height was not affected by pruning and thinning. The height of the stand was 23,8 m. The normal distribution represented the dg data in a best way. With 1666 trees ha⁻¹ the number of live trees began to decline at age 6. The SDI was 1181 trees ha⁻¹. The trees showed more taper when thinning were more intensive. The basal area varied from 56,3 and 27 m² trees ha⁻¹ for 1666 and 208 trees ha⁻¹ respectively, without punning. The volumes were higher in the higher densities varying between 679,9 and 327,4 m³ ha⁻¹ with 833 and 208 trees ha⁻¹ respectively. When the trees were pruned the volume ha⁻¹ decreased between 1,6 and 10,4 % depending on the density. The production with more value was showed by 416 trees ha⁻¹. The crown ratio was negatively affected by pruning and positively affected by thinning; estimated values of 59,1 and 22,7 % were obtained with 208 and 1666 trees ha⁻¹ respectively. Wood density was affected by thinning showing highest estimated values when thinning were more intensive; varying between 404 and 342,8 Kg m⁻³ for 208 and 1100 trees ha⁻¹ respectively. The latewood % showed the same behavior than wood density the estimated values varied between 40,2 and 29,3 % for 208 and 1200 trees ha⁻¹ respectively. In general terms, the n° of rings by inch near the pith was lower than 2 and higher than 4 near the bark. The maximum values of NPV; IRR; B/C and AEV were 1055,6 US\$ ha⁻¹; 11,9 %; 1,43; e 123,3 US\$ ha⁻¹ planting 833 trees ha⁻¹ thinning to 416 trees ha⁻¹ and pruning, in a 15 years rotation. The best economical results were obtained with treatments of pruning and thinning.

Key words: growth, yield, wood quality, economical analyses, thinning, pruning.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Classes de densidade para peças de madeira estrutural de <i>Pinus sp.</i> nos Estados Unidos.....	41
TABELA 2 – Características das faixas de densidade de árvores por hectare avaliadas no experimento de <i>Pinus taeda</i> estabelecido na província de Corrientes, Argentina.....	46
TABELA 3 – Descrição dos tratamentos de desbaste e poda avaliados em um experimento estabelecido em um plantio de <i>Pinus taeda</i> no Nordeste da província de Corrientes, Argentina.....	47
TABELA 4 – Categorias de produtos comerciais e sua caracterização para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	56
TABELA 5 – Caracterização dos tratamentos avaliados (combinações de intensidade de desbaste pré-comercial e poda) economicamente para <i>Pinus taeda</i> , no nordeste de Corrientes, Argentina.....	62
TABELA 6 – Custos das atividades associadas aos tratamentos (combinações de intensidade de desbaste pré comercial e poda) considerados na análise econômica, para <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino, com densidade inicial 1666 árvores/ha.....	64
TABELA 7 – Custos das atividades associadas aos tratamentos (combinações de intensidade de desbaste pré comercial e poda), com densidade inicial variável, considerados na análise econômica para <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	65
TABELA 8 – Categorias de produtos e preços considerados nas análises econômicas correspondentes a <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	66
TABELA 9 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever o diâmetro da árvore de área basal média (dg) em função da idade (t) para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	67

TABELA 10 – Análise da covariância da função $\text{Indg} = B_0 + B_1 t^{-1}$, em função do número de árvores remanescentes após desbaste pré-comercial, número de podas e percentagem de copa remanescente para <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	68
TABELA 11 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos obtidos para estimar os coeficientes B_0 e B_1 do modelo geral para estimar o dg (cm) para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	69
TABELA 12 – Resultados dos testes de validação do modelo geral ($\text{Indg} = B_0 + B_1 t^{-1}$) para estimação do dg (cm) em três cenários de manejo para plantios de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes.....	78
TABELA 13 – Coeficientes e estatísticas do modelo $\log N = b_0 + b_1 \log dg$ para as densidades de 1666 e 833 árvores/ha para <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	79
TABELA 14 – Estatísticas do modelo $\text{Indp} = b_0 + b_1 \text{Int} + b_2 N^2 + b_3 dg$ para estimação do desvio padrão do diâmetro para <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	83
TABELA 15 – Estatísticas do modelo $\log N = b_0 + b_1 \log dg$ para estimação do número de árvores por ha em função do dg para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	86
TABELA 16 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a altura média (m) em função da idade (anos) para <i>Pinus taeda</i> no nordeste da Argentina.....	90
TABELA 17 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a proporção de copa em função da idade para <i>Pinus taeda</i> no nordeste da Argentina.	94
TABELA 18 – Coeficientes b_0 e b_1 do modelo $\text{ARCpc} = b_0 + b_1 t$ estimados para os tratamentos com diferentes densidades de árvores/ha, sem poda, para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	95
TABELA 19 – Estatísticas do modelo obtidas para descrever (di/DAP) em função de (hi/h) para um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	98
TABELA 20 – Modelo de regressão e parâmetros estatísticos para	

descrever o diâmetro relativo (d_i/DAP) em função da altura relativa (h_i/h) para diferentes densidades de árvores/ha em um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	99
TABELA 21 – Volume com casca (m^3) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> de 1666 árvores/ha, não desramados, no nordeste Argentino.....	102
TABELA 22 – Volume com casca (m^3) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de 1666 árvores/ha, desramados durante 3 anos com remoção do 50 % da copa, no nordeste Argentino.....	102
TABELA 23 – Volume com casca (m^3) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> de 833 árvores/ha, não desramados, no nordeste Argentino.....	103
TABELA 24 – Volume com casca (m^3) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de 833 árvores/ha, desramados durante 3 anos com remoção do 50 % da copa, no nordeste Argentino.....	104
TABELA 25 – Volume com casca (m^3) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> de 416 árvores/ha, não desramados, no nordeste Argentino.....	104
TABELA 26 – Volume com casca (m^3) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de 416 árvores/ha, desramados durante 3 anos com remoção do 50 % da copa, no nordeste Argentino.....	105
TABELA 27 – Volume com casca (m^3) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> de 208 árvores/ha, não desramados, no nordeste Argentino.....	105
TABELA 28 – Volume com casca (m^3) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de 208 árvores/ha, desramados durante 3 anos com remoção do 50 % da copa, no nordeste Argentino.....	106
TABELA 29 – Volume com casca dos sortimentos de madeira para 1666, 833, 416 e 208 árvores/ha sem e com desrama nas idades de 15, 18 e 21 anos, para um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	108
TABELA 30 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a densidade da madeira em função do número de árvores	

remanescentes por ha, após o desbaste realizado aos 3 anos de idade em um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	114
TABELA 31 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever o arcosseno da raiz quadrada da proporção de lenho tardio em função do número de árvores remanescentes por ha após o desbaste aos 3 anos de idade em um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	119
TABELA 32 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a densidade da madeira em função do número do anel para um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	122
TABELA 33 – Resultados da análise econômica dos tratamentos do Grupo 1 (densidade inicial 1666 árvores/ha) com corte raso aos 15, 18 e 21 anos para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	127
TABELA 34 – Resultados da análise econômica dos tratamentos do Grupo 2 (densidade inicial variável árvores/ha) com corte raso aos 15, 18 e 21 anos para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	128

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Dendrômetro Criterion RD 1000 utilizado para medir diâmetros e alturas em diferentes posições do fuste.....	49
FIGURA 2 – Amostras de madeira de <i>Pinus taeda</i> de 8 tratamentos (combinações de desbastes e podas) selecionados num experimento localizado no nordeste de Corrientes, Argentina, preparadas para serem analisadas no densitômetro de raios X.....	60
FIGURA 3 – Crescimento diamétrico em função da idade do número de árvores/ha e da intensidade da poda (número de podas e % de copa removida) para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	70
FIGURA 4 – Diferenças em diâmetro da árvore de área basal média (cm) entre os tratamentos com diversas podas e a testemunha sem poda, em quatro densidades (árvores/ha), aos 15 anos de idade em um plantio de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	71
FIGURA 5 – Simulação do crescimento em dg (cm) em função da idade (anos) para diferentes densidades de árvores/ha originadas pela realização de um desbaste pré-comercial, aos 3 anos de idade, sem podas, para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	73
FIGURA 6 – Diâmetro da árvore de área basal média observado vs estimado para 1296 árvores/ha, 30 % de copa remanescente (CR30) e 2 anos de poda (NP2) para <i>Pinus taeda</i> , num período de 3 a 15 anos, Corrientes, Argentina.....	76
FIGURA 7 – Diâmetro da árvore de área basal média observado vs estimado para 926 árvores/ha, 30 % de copa remanescente (CR30) e 2 anos de poda (NP2) para <i>Pinus taeda</i> , num período de 3 a 15 anos, Corrientes, Argentina.....	77
FIGURA 8 – Diâmetro da árvore de área basal média observado vs	

estimado para 1323 árvores/ha, sem poda (CR100) para <i>Pinus taeda</i> , num período de 3 a 15 anos, Corrientes, Argentina.....	77
FIGURA 9 – Número de árvores por hectare em função da idade para as quatro densidades de árvores/ha estudadas num experimento de <i>Pinus taeda</i> localizado no nordeste de Corrientes, Argentina, com desbaste pré-comercial realizado aos 3 anos de idade, e densidade inicial de 1666 árvores/ha.....	79
FIGURA 10 – Área basal em função da idade para 30 combinações provenientes do número de árvores/ha (AR), número de podas (NP) e % de copa remanescente, após a poda (CR) em plantio de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	81
FIGURA 11 – Distribuição de diâmetros para diferentes densidades de árvores/ha e idades para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	85
FIGURA 12 – Valores observados dos pares de valores (N, dg) com transformação logarítmica e modelagem para estimar o logaritmo do número de árvores por hectare em função do logaritmo do diâmetro da árvore de área basal média para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	86
FIGURA 13 – Representação gráfica do logaritmo do número de árvores por hectare em função do logaritmo do dg para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	87
FIGURA 14 – Diagrama de densidade determinado para plantios de <i>Pinus taeda</i> no Nordeste da Argentina.....	88
FIGURA 15 – Modelagem da altura total (h) em função da idade (t) para <i>Pinus taeda</i> na região Nordeste da província de Corrientes, Argentina.....	91
FIGURA 16 – Valores observados de proporção de copa (%) em função da idade para 30 combinações provenientes do número de árvores/ha (AR), número de podas (NP) e % de copa remanescente, após a poda (CR) em plantio de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	93
FIGURA 17 – Proporção de copa percentual no tempo para as testemunhas sem poda das diferentes densidades de árvores/ha após o	

desbaste pré-comercial em plantio de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	96
FIGURA 18 – Comprimento do fuste sem galhos vivos desde a base da árvore no tempo para as testemunhas sem poda das diferentes densidades de árvores/ha após o desbaste pré-comercial em plantio de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	96
FIGURA 19 – Comprimento da copa no tempo para as testemunhas sem poda das diferentes densidades de árvores/ha após o desbaste pré-comercial em plantio de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	97
FIGURA 20 – Modelagem do diâmetro relativo (d_i/DAP) em função da altura relativa (h_i/h) para diferentes densidades (árvores/ha) avaliadas num experimento de <i>Pinus taeda</i> com 16 anos de idade, no nordeste de Corrientes, Argentina.....	100
FIGURA 21 – Volume total (colunas) e dg (linhas) estimados aos 15, 18 e 21 anos de idade para diferentes densidades de árvores/ha com e sem poda (sp = sem poda; cp = com poda) em plantio de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	110
FIGURA 22 – Volumes/ha estimados de produtos <i>clear</i> e não <i>clear</i> obtidos com os tratamentos desramados em diferentes densidades de árvores/ha nas idades de 15, 18 e 21 anos em plantio de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	111
FIGURA 23 – Somatório do volume de produtos para laminação e serraria classes 1 e 2 para os tratamentos com diferentes densidades de árvores/ha, com poda (cp) e sem poda (sp), em plantio de <i>Pinus taeda</i> de 15, 18 e 21 anos, no nordeste de Corrientes, Argentina.....	112
FIGURA 24 – Altura de poda estimada para diversas combinações de percentagem de remoção de copa e número de podas para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	113
FIGURA 25 – Distribuição dos valores observados de densidade da madeira para os tratamentos com diferentes densidades de árvores/ha, com e sem poda, e os estimados pelo modelo para um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	115
FIGURA 26 – Distribuição dos valores observados de percentagem de	

lenho tardio para os tratamentos com diferentes densidades de árvores/ha, com e sem poda, e os estimados pelo modelo para um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	120
FIGURA 27 – Densidade da madeira por número do anel para os tratamentos sem poda (marcadores vazios) e com poda (marcadores cheios) nas diferentes densidades de árvores/ha avaliadas num povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	123
FIGURA 28 – Número de anéis por polegada a partir da medula para os tratamentos sem poda (colunas vazias) e com poda (colunas cheias) nas densidades de: a) 1666; b) 833; c) 416; d) 208 árvores/ha para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	125

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Ajuste da equação de regressão do diâmetro da árvore de área basal média (dg) em função da idade para <i>Pinus taeda</i> no norte de Corrientes, Argentina.....	148
APÊNDICE B – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do logaritmo neperiano do diâmetro da árvore de área basal media (dg).....	148
APÊNDICE C – Análise das inclinações da função $\text{Indg} = b_0 + b_1 t^{-1}$ correspondentes às combinações de árvores remanescentes/ha (AR); Número de podas (NP) e percentagem de copa remanescente (CR) após a poda para <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	149
APÊNDICE D – ANACOVA para análise de interceptos da função $\text{Indg} = b_0 + b_1 t^{-1}$	150
APÊNDICE E – Matriz de coeficientes para o calculo dos coeficientes b_0 e b_1 do modelo único (geral) para estimativa do dg (cm) em função da inversa da idade para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	151
APÊNDICE F – Seleção das equações de probabilidade em função das idades no tratamento sem desbaste (1666 árvores por hectare) para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	152
APÊNDICE G – Seleção das equações de probabilidade em função das idades no tratamento com desbaste a 833 árvores/ha em plantios de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	155
APÊNDICE H – Seleção das equações de probabilidade em função das idades no tratamento com desbaste a 416 árvores/ha em plantios de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	158

APÊNDICE I – Seleção das equações de probabilidade em função das idades no tratamento com desbaste a 208 árvores/ha em plantios de <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	161
APÊNDICE J – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do logaritmo neperiano do desvio padrão do diâmetro.....	164
APÊNDICE K – Resultado da análise da covariância para comprimento de copa em percentagem correspondente às combinações de árvores remanescentes/ha (AR); Número de podas (NP) e percentagem de copa remanescente (CR) após a poda para <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.	165
APÊNDICE L – Ajuste da equação de regressão da altura média em função da idade para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina....	166
APÊNDICE M – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do logaritmo neperiano da altura média.....	166
APÊNDICE N – Ajuste da equação de regressão da proporção de copa (%) em função da idade para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	167
APÊNDICE O – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do arcosseno raiz quadrada da proporção de copa.....	167
APÊNDICE P – Ajuste da equação de regressão do diâmetro relativo em função da altura relativa para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	168
APÊNDICE Q – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do diâmetro relativo.....	168
APÊNDICE R – Modelo hipsométrico para estimar a altura (h) em função do diâmetro à altura do peito (DAP) para quatro densidades de árvores/ha para plantios de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	169
APÊNDICE S – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da altura de poda.....	170
APÊNDICE T – Fotografia dos tratamentos estudados (16 anos de idade) com diferentes densidades de árvores por hectare após o desbaste pré comercial, realizado aos 3 anos de idade, no experimento de <i>Pinus taeda</i> estabelecido na província de Corrientes, Argentina.....	171
APÊNDICE U – Perfil de densidade da madeira do tratamento 1,	

repetição 2 (A) e do tratamento 27, repetição 3 (B). A imagem acima de cada perfil de densidade corresponde à amostra de madeira de <i>Pinus taeda</i> avaliada. A área de medição é a área compreendida entre as duas linhas horizontais brancas (2 mm entre linhas).....	172
APÊNDICE V – Ajuste da equação de regressão da densidade da madeira em função do número de árvores/ha após o desbaste pré-comercial realizado aos 3 anos de idade em um povoamento de <i>Pinus taeda</i> , com 16 anos de idade, no nordeste de Corrientes, Argentina.....	173
APÊNDICE W – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da densidade da madeira de <i>Pinus taeda</i>	173
APÊNDICE X – Análise da covariância para avaliação de interceptos da equação que estima densidade da madeira em função do número de árvores após o desbaste pré-comercial por hectare para um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	174
APÊNDICE Y – Ajuste da equação de regressão da percentagem de lenho tardio em função do número de árvores/ha após o desbaste pré-comercial para um povoamento de <i>Pinus taeda</i> no nordeste Argentino.....	175
APÊNDICE Z – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do arcosseno da raiz quadrada da proporção de lenho tardio.....	175
APÊNDICE ZA – Análise da covariância para avaliação de interceptos da equação que estima o Arcosseno da raiz quadrada da proporção de lenho tardio em função do número de árvores por hectare.....	176
APÊNDICE ZB – Ajuste da equação de regressão da densidade da madeira de em função do número do anel para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	177
APÊNDICE ZC – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da densidade da madeira de <i>Pinus taeda</i>	177
APÊNDICE ZD – Densidade populacional para as linhas A (máxima densidade), B (limite superior de manejo), C (limite inferior de manejo) e D (fechamento de copas) para <i>Pinus taeda</i> no nordeste de Corrientes, Argentina.....	178
APÊNDICE ZE – Diagrama de manejo de densidade para <i>Pinus taeda</i> no nordeste da Argentina. Diagrama inferior da figura: faixa de manejo.....	179

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 Objetivo geral.....	24
1.2 Objetivos específicos.....	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 A importância da espécie.....	26
2.2 Crescimento e produção.....	27
2.2.1 Efeito dos desbastes.....	28
2.2.1.1 Diagrama de manejo de densidade.....	32
2.2.2 Efeito das podas.....	34
2.3 Propriedades da madeira e manejo florestal.....	37
2.4 Rentabilidade florestal em função do manejo.....	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1 O experimento.....	44
3.1.1 Descrição dos tratamentos	45
3.2 Crescimento e produção	48
3.2.1 Medições anuais	48
3.2.2 Diâmetro em diferentes alturas das árvores	48
3.2.3 Análise dos dados.....	49
3.2.3.1 Modelagem do diâmetro da árvore de área basal média (dg).....	49
3.2.3.1.1 Análise da covariância (ANACOVA).....	50
3.2.3.1.2 Validação do modelo.....	51
3.2.3.2 Frequência por classe diamétrica.....	51
3.2.3.3 Desvio padrão do diâmetro a altura do peito.....	52
3.2.3.4 Número de árvores por hectare (N).....	52
3.2.3.5 Área Basal por hectare (G).....	53
3.2.3.6 Diagrama de manejo de densidade.....	53

3.2.3.7 Altura total (h).....	54
3.2.3.8 Comprimento de copa (CC) e proporção de copa (PC).....	54
3.2.3.9 Altura de poda	55
3.2.3.10 Forma das árvores	55
3.2.3.11 Sortimentos de madeira.....	56
3.2.4 Prognose da produção.....	57
3.2.5 Volumes estimados por tipo de produto e volume total.....	57
3.3 Qualidade da madeira.....	58
3.3.1 Amostragem para determinar as propriedades da madeira.....	58
3.3.2 Preparo da amostra e procedimento.....	59
3.3.3 Análise dos dados.....	60
3.4 Análise econômica dos regimes de manejo.....	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
4.1 Crescimento e produção.....	67
4.1.1 Diâmetro da árvore de área basal média (dg).....	67
4.1.1.1 Validação do modelo.....	76
4.1.2 N° de árvores por hectare.....	78
4.1.3 Área basal (G).....	80
4.1.4 Desvio padrão do diâmetro a altura do peito (dp).....	83
4.1.5 Frequência por classe diamétrica.....	84
4.1.6 Diagrama de manejo de densidade.....	85
4.1.7 Altura total.....	89
4.1.8 Proporção de copa viva.....	92
4.1.9 Forma das árvores.....	98
4.1.10 Volume (m ³) total e parcial por sortimento de madeira.....	101
4.1.11 Volumes finais por hectare conforme o tratamento.....	107
4.1.12 Altura de poda.....	112
4.2 Qualidade da madeira.....	114
4.2.1 Densidade da madeira.....	114
4.2.2 Densidade do lenho inicial e do lenho tardio.....	118
4.2.3 Percentagem de lenho tardio.....	118
4.2.4 Variação da densidade da madeira por número de anel.....	121
4.2.5 Número de anéis por polegada.....	124

4.3 Análise econômica.....	126
4.3.1 Análise econômica para diversos manejos.....	126
5 CONCLUSÕES	132
5.1 Crescimento e produção.....	132
5.2 Qualidade da madeira.....	133
5.3 Análise econômica.....	134
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
8 APÊNDICES.....	148

1 INTRODUÇÃO

No Mercosul, os plantios de *Pinus taeda* L. têm aumentado consideravelmente nas últimas décadas. No Sul do Brasil, Nordeste da Argentina, Uruguai e Paraguai, as áreas florestadas com *Pinus* sp. têm sido manejadas em geral para a produção de madeira como matéria-prima para produzir celulose, compensados e produtos de aparência ou estruturas de madeira sólida processados em serrarias. Os produtos florestais de menores diâmetros são utilizados em algumas ocasiões para gerar biocombustíveis e energia.

Os produtores florestais, como os de outras culturas, procuram maximizar a rentabilidade. Países como Nova Zelândia e Chile são exemplos claros nos quais o manejo dos plantios tem permitido agregar valor à produção florestal. Nesse contexto, as podas e os desbastes pré-comerciais e comerciais estão sendo executados durante a rotação dos plantios de *Pinus* sp. no Sul do Brasil, no Nordeste argentino e em países vizinhos.

As podas e os desbastes geram, em geral, diferenças de crescimento das árvores e, conseqüentemente, afetam a quantidade e qualidade da madeira. Conforme a qualidade, a madeira é utilizada na geração de determinados produtos finais. Cada tora produzida normalmente é classificada pelo diâmetro na ponta fina, comprimento, forma e pelo fato de se foi ou não podada, sendo também considerada a qualidade da poda, em algumas ocasiões. Em geral, para cada categoria são definidos preços específicos.

De acordo com Larson et al. (2001), o efeito dos desbastes na qualidade da madeira é variável, dependendo do estoqueamento inicial, da idade das árvores, do momento do ano, do sitio e de muitas outras condições de crescimento. O principal objetivo do desbaste é aumentar a taxa de crescimento promovendo a expansão da copa. Por outro lado, a poda de galhos vivos assegura um tamanho de nó menor e um cilindro nodoso menor, mas a poda severa pode diminuir o crescimento, aumentar a proporção de lenho tardio e a densidade da madeira na parte inferior do fuste. Ambas práticas afetam a conicidade do fuste.

Costas et al. (2006) mencionam que, na província de Misiones e no Nordeste da província de Corrientes, na Argentina, nos últimos 15 anos, têm se difundido e implementado sistemas intensivos de manejo florestal em plantios de coníferas. O controle da densidade e a realização de podas para aperfeiçoar a quantidade e a qualidade da produção florestal têm mostrado serem ferramentas eficazes para satisfazer as demandas do mercado local e internacional.

No Nordeste da província de Corrientes, muitos produtores florestais, procurando produzir madeira de qualidade, estão realizando podas e desbastes sob diferentes modalidades. Nesse âmbito, existem muitas perguntas frequentes que devem ser respondidas tais como: Como é afetado o crescimento de um povoamento do *Pinus taeda* conforme a intensidade de podas e desbastes? Como influi o crescimento na densidade da madeira? Qual é a produção esperada para diferentes combinações de desbastes e podas? A forma das árvores é afetada pelas podas e desbastes? Qual é o retorno econômico esperado quando são aplicados diferentes manejos nos plantios?.

Entender e quantificar a resposta das árvores de *Pinus taeda* a tratamentos que podem reduzir a capacidade fotossintética, afetar os pontos de crescimento no fuste, comprometer o crescimento por competição, influir na densidade da madeira e na proporção do lenho tardio poderão contribuir para melhorar as tomadas de decisão pelos produtores florestais. Essas informações permitirão direcionar o manejo dos plantios para obter os produtos de interesse.

Assim, este trabalho foi concebido para atender os objetivos a seguir descritos.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o crescimento e a qualidade da madeira dos plantios de *Pinus taeda* sob diferentes regimes de manejo e analisar economicamente determinados tratamentos silviculturais.

1.2 Objetivos específicos

- 1 – Avaliar o crescimento de *Pinus taeda* sob diferentes intensidades de podas e desbastes pré-comerciais;
- 2 – compreender como os regimes de manejo afetam determinadas propriedades da madeira;
- 3 – determinar a produção obtida segundo diferentes regimes de manejo;
- 4 – avaliar economicamente determinados tratamentos silviculturais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são abordados aspectos relacionados à espécie e às respostas em crescimento, produção e qualidade da madeira das árvores em povoamentos submetidos a desbastes e podas, bem como são considerados os aspectos econômicos associados a diversos regimes de manejo.

2.1 A importância da espécie

No mundo, os plantios florestais representam 3,8 % da superfície com bosques, ou seja, 140 milhões de hectares, sendo 78 % dessas plantações florestais produtivas e orientadas à produção de madeira e fibra (FAO, 2006).

Conforme Schultz (1997), o *Pinus taeda* é uma espécie arbórea ideal para o estabelecimento e manejo em plantios florestais. A espécie é a mais rústica e versátil das espécies de *Pinus* do sul dos Estados Unidos, possuindo habilidade para se reproduzir e crescer em diversos sítios. Suas sementes germinam facilmente, produz grandes rendimentos de madeira por hectare e diversos produtos para o mercado em idades relativamente jovens. Também gera um habitat adequado para a vida silvestre quando talhões de diversas idades crescem próximos um do outro. *Pinus taeda* é a principal espécie para serraria nos Estados Unidos, predominando em mais de 13,4 milhões de hectares.

Conforme o autor indicado no parágrafo anterior, a espécie possui também importância internacional atingindo produtividades muito elevadas em rotações de 15 a 25 anos na América do Sul, sendo usada para produção de fibras e madeira sólida. Devido a seu rápido crescimento, tem alcançado muita importância no Brasil e Argentina para produção de polpa e papel, aglomerados, embalagens, madeira serrada e móveis.

Devido ao rápido crescimento e adaptação do *Pinus taeda*, a espécie tem sido cultivada em diversos países, como Argentina, Austrália, Brasil,

China, Nova Zelândia, África do Sul e no estado de Hawaii, no qual atinge valores extremos de produção e estoqueamento, chegando até 100 m² por hectare em área basal e 1585 árvores/ha com um DAP médio de 28,8 cm. (Harms et al., 2000).

A Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) (2008) divulgou, com base em dados do ano 2007, que a superfície plantada com *Pinus* sp. no Brasil era de 1.808.336 hectares. Essa área representava 32,5 % da superfície de plantios florestais no país, com sua maior proporção na região Sul, sendo os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul os que concentram, em conjunto, 79,2 % da superfície plantada com *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, principalmente.

De acordo com a FAO (2004) e considerando como referência o ano 2002, na Argentina, a superfície de plantios florestais era de 1,1 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 656 mil corresponderam a coníferas, com predominância do gênero *Pinus* sp., sendo as províncias de Misiones e Corrientes as de maior superfície plantada com coníferas.

Na Argentina, a espécie mais utilizada em plantios florestais é *Pinus taeda* L. Conforme Elizondo (2009), a superfície plantada com *Pinus* sp. na província de Corrientes, Argentina, atingiu 262.940 hectares de plantios.

Segundo Pezzutti (2008), a empresa Forestal Bosques del Plata S.A., localizada principalmente na província de Corrientes, possui 66.500 hectares plantados, dos quais a maior parte corresponde a plantios de *Pinus* sp. com predominância de *Pinus taeda*. As atividades operativas da empresa são a produção de mudas e sementes de alta qualidade genética, o plantio, as podas e desbastes, a colheita, a comercialização e o abastecimento de matéria-prima a indústrias da região.

2.2 Crescimento e produção

No presente sub-capítulo, são abordados os aspectos relacionados aos efeitos dos desbastes e das podas no crescimento das árvores e na produção florestal.

2.2.1 Efeito dos desbastes

Para Krajicek et al. (1961), uma medida de densidade de povoamento é planejada para determinar, por um lado, a relação da árvore média do talhão com o máximo espaço de crescimento que pode utilizar e, por outro, com o mínimo espaço necessário para viver. Dentro dessa amplitude é que os silvicultores devem manter a densidade, ocupando completamente o sítio e maximizando a produção de volume.

De acordo com Gingrich (1967), num determinado sítio, o espaço de crescimento é o fator dominante que controla a taxa de crescimento de uma árvore individual. A regulação da densidade do povoamento por desbastes é a chave para uma boa silvicultura, em que a produção de madeira de alta qualidade é o objetivo principal.

Conforme Assmann (1970), as técnicas silviculturais à nossa disposição têm a capacidade de exercer uma considerável influência no volume da rotação e nos graus e tamanhos da produção. Uma comparação entre métodos silviculturais pode ser conclusiva quando são avaliados os diferentes sortimentos e examinada a análise financeira correspondente aos mesmos.

Segundo Tassisa e Burkhart (1997), muitos plantios de *Pinus taeda* nos Estados Unidos sofrem desbastes para aumentar o crescimento em diâmetro das árvores selecionadas, procurando obter produtos de qualidade no menor tempo possível. Os silvicultores normalmente usam simuladores de crescimento para avaliar cenários de produção e determinar a melhor prescrição técnica, por isso, é importante ter um claro entendimento do efeito dos desbastes na produção.

De acordo com Cabello (2005), o objetivo dos desbastes é concentrar o crescimento nas árvores de melhor qualidade que permanecerão no talhão. A decisão da realização dos desbastes corresponde aos silvicultores e deve estar condicionada pelos produtos que podem ser vendidos no mercado, aos ingressos procurados e à rentabilidade.

Para Schultz (1997), o desbaste artificial promove o crescimento vigoroso dos diâmetros das árvores selecionadas no primeiro e segundo ano

após o tratamento por redução de competição por luz, umidade e nutrientes. A necessidade de desbastes varia por sitio, talhão e uniformidade das alturas.

Os autores Avery e Burkhart (2002) indicam que os níveis de estoqueamento são de interesse fundamental para os silvicultores, porque as mudanças provocadas nesses níveis permitem diminuir ou prolongar a rotação, favorecer espécies desejadas e maximizar a produção dos produtos selecionados para a colheita.

Os desbastes podem aumentar a produção total do talhão por meio da comercialização de árvores que de outra maneira vão morrer, mantendo o rápido crescimento nas árvores individuais e minimizando a competição (DEAN e BALDWIN, 1993).

Para Larson et al. (2001), o principal propósito dos desbastes a qualquer idade é aumentar a taxa de crescimento ao promover a expansão da copa. Desbastes intensos, realizados em idades jovens e de maneira frequente promoverão o crescimento dos galhos inferiores, retardarão a desrama natural e incrementarão a conicidade.

Segundo Assmann (1970), os desbastes aumentam o espaço de crescimento de cada árvore no talhão e, depois de um período durante o qual este aumento de espaço se faz efetivo, também ocorre um aumento da dimensão da copa. De fato, a largura da copa e o comprimento absoluto e relativo da mesma são incrementados. Depois de desbastes intensos, a média do volume das árvores individuais, assim como o volume total de copa no talhão, aumentam consideravelmente.

Avery e Burkhart (2002) citaram que os povoamentos subestocados apresentam árvores com forma ruim, excessiva conicidade e elevada proporção de copa viva, enquanto os povoamentos superestocados podem apresentar uma condição de estagnação, com árvores de baixa proporção de copa viva e numerosas árvores mortas. Em ambas as condições, o resultado é a redução de incremento em volume líquido de produtos madeiráveis de interesse, quando comparado com o “estoqueamento ideal” .

Sayer et. al (2004) estudaram a resposta de *Pinus taeda* a desbastes aplicados aos 7 e 14 anos no estado de Louisiana, Estados Unidos. Encontraram que, aos 17 anos de idade, os desbastes aumentaram o comprimento de copa viva de 4,2 a 7,8 m e o diâmetro médio de 15 a 21,8 cm,

quando foram comparados com o tratamento sem desbaste. O índice de sítio definido foi de 21,3 m para uma idade base de 25 anos.

Os pesquisadores Crechi et. al. (2004) estudaram o efeito da intensidade e oportunidade dos desbastes em plantios de *Pinus taeda* de 17 anos de idade na região Nordeste da província de Misiones, Argentina, e concluíram que o volume total produzido foi o mesmo sob diversos regimes, destacando que o manejo florestal através dos desbastes estabelece meramente como e quando os volumes devem ser produzidos. Valores próximos a 500 m³/ha com casca foram produzidos, com uma área basal máxima de 54 m²/ha e 1026 árvores finais/ha.

Estudando o efeito dos desbastes em plantios de *Pinus taeda* de 21 anos de idade, Amateis e Burkhart (2005) concluíram que os desbastes apresentam seu maior impacto na distribuição de produtos nas classes de diâmetros maiores. Tratamentos intensos de desbastes levaram todas as árvores destinadas para produção de polpa para as classes de diâmetros maiores. Por outra parte, nas árvores de classes diamétricas intermédias, os desbastes tiveram uma pequena influência na distribuição dos produtos.

Conforme Maclaren (1993), os desbastes pré-comerciais são a escolha mais popular na Nova Zelândia, tomando conta de $\frac{3}{4}$ da área florestal plantada. Para o pequeno produtor, é a única opção prática, de baixo custo, devido às árvores serem pequenas e poderem ser cortadas facilmente. Desbastes pré-comerciais são realizados entre os 3 e 6 anos, e as árvores desbastadas permanecem na área após o corte. Na Nova Zelândia, existe a tendência de usar um estoqueamento inicial baixo, com um máximo de 1000 árvores por hectare.

Para Espinosa et al. (1994), no Chile têm-se utilizado regimes de manejo provenientes da Nova Zelândia, os quais descrevem desbastes pré-comerciais fortes em idades jovens e com diversas podas, quando o objetivo é produzir madeira limpa (*clear*). A perda de volume gerada por esses esquemas deve ser compensada com a qualidade e o valor dos produtos de grandes dimensões derivados dos mesmos.

De acordo com Schultz (1997), nos Estados Unidos os desbastes pré-comerciais são ocasionalmente praticados em plantios jovens com mais de 2500 árvores/ha. Com estes, as árvores-futuro são selecionadas inicialmente e

seu desenvolvimento é promovido mantendo uma alta relação de copa durante o período de máximo crescimento em altura (entre 5 e 15 anos). Quando esses desbastes são praticados, as rotações são curtas, são gerados acessos para controle de incêndios, desbastes comerciais e é estimulada a produção de alimento para a vida silvestre.

Schneider (2008) menciona que, numa população florestal, as árvores de plantios homogêneos tendem a expandir as copas, interceptando maior quantidade de energia e, conseqüentemente, crescendo e aumentando a competição entre os indivíduos até causar a morte das árvores dominadas. Essa supressão de indivíduos, causada pela competição, é chamada de autodesbaste.

Conforme Schultz (1997), o *Pinus taeda* expressa sua dominância tanto nos povoamentos naturais como artificiais, e isso leva à ocorrência de desbastes naturais. O autodesbaste ocorre quando um povoamento ocupa seu espaço de crescimento completamente. Nesse ponto, ocorre o fechamento completo de copas, e os galhos da base das copas, inclusive das árvores maiores, começam a morrer por falta de luz. Nessa condição, as árvores menores morrem porque não podem obter a quantidade suficiente de luz, umidade e nutrientes para sobreviver e crescer. O crescimento, a competição e a mortalidade formam um ciclo contínuo que controla o desenvolvimento do povoamento.

Os pesquisadores Liu et al. (1995) mencionam que o tamanho da copa é um indicador muito importante do vigor da árvore. O comprimento de copa, calculado como a diferença entre a altura total e a altura da base da copa, é um indicador do tamanho da copa e vigor. Outra variável comumente usada é a relação de copa definida como o comprimento da copa dividido pela altura total da árvore. Estudos têm demonstrado que, ao se reduzir a densidade do talhão com desbastes, diminui o incremento da altura da base da copa em *Pinus taeda*, assim como em outras coníferas não tolerantes ao sombreamento.

Respostas de *Pinus taeda* a diferentes espaçamentos foram estudadas por Sharma et al. (2002). Os autores concluíram que a altura, o diâmetro, as dimensões da copa e a sobrevivência são afetados pela densidade. O DAP (diâmetro a altura do peito medido a 1, 3 metros de altura), comprimento da

copa e largura da copa são afetados pela densidade logo depois do plantio, enquanto o efeito no crescimento em altura e na sobrevivência acontece vários anos após o plantio. Ainda mencionaram que das variáveis estudadas, o DAP foi afetado em maior medida pelos espaçamentos enquanto que a altura foi a menos afetada. Os efeitos foram aumentando com o desenvolvimento das árvores.

O uso de modelos para estimar a produção de madeira sob diferentes regimes de manejo é também de interesse para os produtores que utilizam sistemas combinados de produção florestal e pastagem para produção de carne, pois nesses sistemas, a densidade de árvores por hectare é baixa desde o início do plantio, procurando-se o sombreamento ideal para a produção de pasto e madeira de qualidade. Os autores Fassola et al. (2005b) apresentaram a importância da relação entre tratamentos de desbastes e podas e a produção de biomassa para pastagem.

2.2.1.1 Diagrama de manejo de densidade

De acordo com Amateis et al. (2004), o *Pinus taeda* L. é a espécie de produção de madeira mais importante no sul dos Estados Unidos. Grande parte da produção de *Pinus taeda* vem de plantios manejados intensivamente em curtas rotações para produção de fibra e polpa, e, de longas rotações, para produção de produtos de madeira sólida. Uma importante decisão no momento do plantio é a escolha da densidade inicial, uma vez que a mesma afeta a taxa de crescimento, a produção por unidade de área e o tamanho da árvore média no momento da rotação.

Segundo Dean e Baldwin (1993), embora os testes de campo sejam sem dúvida o melhor caminho para determinar o adequado momento do desbaste, estes apresentam grandes limitações, levam muitos anos e seus resultados não podem ser aplicados com precisão quando a qualidade do sítio e o objetivo do manejo diferem do teste. Uma abordagem mais teórica que pode ser usada para o manejo da densidade é a baseada no diagrama de densidade.

Os primeiros diagramas de manejo de densidade de árvores por hectare foram elaborados por Gingrich (1967). Nestes foram apresentadas 3 faixas de estocagem, sendo a primeira caracterizada por uma excessiva densidade (faixa superestocada). Uma segunda faixa é aquela em que as árvores possuem espaço para crescer, porém esse espaço é manejado para se obter o máximo de aproveitamento (faixa totalmente abastecida). E a terceira faixa é a de densidade baixa, onde o povoamento apresenta espaços disponíveis (faixa subestocada).

Thomas (2009), baseado em um estudo de densidade de povoamentos de *Pinus elliottii* no Rio Grande do Sul, concluiu 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.

Para Schneider (2008), mediante o emprego de relações dendrométricas, é possível construir os diagramas de manejo de densidade, que, em geral, são modelos paramétricos simples. Através desses modelos de diagrama de manejo de densidade, o silvicultor pode prever o rendimento futuro para diversas condições de manejo da densidade e também determinar as intensidades de corte para alcançar os objetivos de produção.

Segundo Newton (1997), o manejo da densidade do povoamento permite controlar a competição pelos recursos através da regulação da densidade em função dos objetivos específicos de manejo. O autor realizou uma revisão dos diagramas de manejo de densidade concluindo que essa ferramenta pode ser usada com o objetivo de determinar as densidades, em função do sítio com fins florestais, e para manejar a vegetação e a vida silvestre.

No trabalho apresentado por Saunders e Puettmann (2000), foi detalhada a metodologia para o desenvolvimento de um diagrama de manejo da densidade (DMD) de *Picea glauca* (Moench) Voss). Neste foram definidas as linhas de: máxima densidade; início da mortalidade; início da máxima produção e fechamento de copas. As linhas de início de mortalidade e começo da máxima produção teóricas são definidas com uma densidade relativa de 55 % e 40 %, respectivamente, com relação à linha de máxima densidade. Também, Harrington (1997) apresentou para *Pinus taeda* um DMD definindo a linha de fechamento do dossel em 25 % do índice de densidade do

povoamento; entre 50 e 55% a linha de início de mortalidade; e entre 45% e 30% a zona ótima de manejo de densidade.

2.2.2 Efeito das podas

De acordo com Seitz (1995), podar, desramar, derramar ou desgallar têm basicamente o mesmo significado na prática. O autor, comparando os termos e sua significação, menciona que a palavra poda é mais generalizada e abrangente. A poda representa a retirada dos galhos ou porções de um organismo vivo, a árvore. Todos os galhos, por menores que sejam, deixam uma marca dentro do tronco. Essa marca é devida à diferente orientação de células e vasos/traqueídeos, que devem desviar o fluxo vertical da seiva ascendente dentro do tronco para o fluxo horizontal dentro dos galhos.

Conforme Kozlowski (1963), a poda severa remove parte do mecanismo fotossintético e, eventualmente, influencia o suprimento de carboidratos disponíveis. A poda também remove os tecidos provedores de auxinas. A remoção dos galhos inferiores tem pouco efeito no crescimento, porque estes produzem poucas auxinas e carboidratos. Além disso, os galhos inferiores têm uma alta taxa de respiração devido à grande quantidade de superfície do galho em relação a sua pequena área foliar. De acordo com Taiz e Zeiger (2009) a auxina é um hormônio de crescimento vegetal e a fonte principal de auxinas na planta é o ápice caulinar; a auxina mais comum de ocorrência natural é o ácido indol-3-acético (AIA).

Conforme Assmann (1970), o ponto de intensidade lumínica, no qual os ganhos por assimilação durante o processo da fotossíntese e as perdas por respiração são iguais, é chamado de ponto de compensação. A perda de galhos natural é motivada ou por rejeição, devido à ineficiência assimilatória, ou por acidente, sendo o vento a causa principal desses acidentes. Em condições de povoamento denso, os galhos podem permanecer secos no tronco por muitos anos, uma vez quebrado o galho o toco restante será incorporado ao lenho (SEITZ, 1995).

Segundo Kurtz e Ferruchi (2004), na atualidade, não se discutem os benefícios que se obtêm da poda das árvores, pois maiores rendimentos industriais em madeira livre de nós são obtidos com as mesmas, levando a um aumento da rentabilidade e, por conseguinte, do valor da madeira em pé. Atualmente, as perguntas frequentes são sobre quando e como realizar a poda das árvores.

Maclaren (1993) relatou que, na Nova Zelândia os produtores sabem que as podas reduzem o crescimento do *Pinus radiata*, mas escolhem essa opção, sacrificando quantidade de madeira por qualidade superior e, conseqüentemente, obtêm maiores retornos financeiros. Os preços de toras podadas melhoram em 133 % com relação ao preço das não podadas. A recomendação moderna da poda é podar cada árvore mantendo e deixando o mesmo comprimento de copa em cada árvore do talhão. Usualmente, esse comprimento varia entre 3 e 4 m.

Os autores Hoppe e Freddo (2003) demonstraram como a intensidade da desrama afeta o crescimento do plantio de *Pinus elliottii* no RS. Os autores indicaram que o diâmetro e a produção de madeira foram fortemente influenciados pela intensidade de desrama aos 13 anos de idade, recomendando utilizar desrama com intensidade inferior a 40 % da altura total das árvores.

Schoelzke (2003), avaliando o crescimento de *Pinus elliottii* no Nordeste Argentino, concluiu que o incremento das árvores é diminuído quando a poda supera um 50 % da copa verde, recomendando não realizar esse tratamento.

Para Crechi et al. (2000), quando as podas e os desbastes são realizados de maneira oportuna e adequada, estes condicionam em grande medida a qualidade e quantidade dos produtos florestais a serem obtidos do plantio e, em conseqüência, a rentabilidade.

De acordo com Schneider et al. (1999), é importante definir critérios que estabeleçam a altura de desrama adequada para cada espécie, região e tipo de povoamento, sem que exista perda no crescimento da floresta, bem como perda econômica.

Conforme Kozlowski et al. (1990) apud Schneider et al. (1999), a influência de remoção de galhos vivos na produção da madeira e na redução da forma do fuste é inversa ao efeito do desbaste. O desbaste estimula o

crescimento do câmbio na base das árvores, enquanto a desrama tende a inibir o crescimento nessa posição, concentrando-se na parte superior do tronco.

De acordo com Cabello (2005), para *Pinus radiata*, no Chile, a oportunidade das intervenções tem relação com o sítio, devendo-se, nos sítios mais produtivos, realizar as podas a idades menores e com menor tempo entre intervenções. É importante considerar que não devem ser extraídos mais de 30% do volume da copa verde para não afetar o crescimento. As toras podadas que são comercializadas têm diâmetros maiores a 28 cm na extremidade menor; por esse motivo é importante que tenham densidades e rotações adequadas. As toras são comercializadas com comprimentos que variam entre 2,35 e 5,1 m, portanto, deve-se podar até 6 m, pensando em perdas pela altura do toco.

Outra variável importante a considerar ao realizar as podas é o diâmetro máximo do núcleo enodado, o qual pode ser controlado. O diâmetro máximo sobre verticilo (dmsv) é uma variável que incide diretamente no tamanho do cilindro com defeitos. Fassola et al. (1999), estudando as variáveis indicadas no experimento apresentado neste trabalho de tese, obteve que o dmsv resultante das podas de 30 e 50 % da copa viva foi aumentando a cada ano de poda até o terceiro ano. Os valores finais de dmsv obtidos para os tratamentos avaliados variaram entre 13,5 e 17 cm. Segundo os autores, com o aumento da remoção de copa, os dmsv são menores.

Estudando a resposta de *Pinus elliottii* com 11 anos de idade a tratamentos de desrama da ordem de 40, 50 e 60 % da altura total da árvore, Schneider et al. (1999) encontraram que a produção volumétrica diminuiu em 12,1; 14,4 e 19,7 % respectivamente, em comparação ao tratamento sem desrama.

Montagna et al. (1993), avaliando tratamentos de desrama em *Pinus elliottii* var *elliottii*, obtiveram diferenças significativas de crescimento em altura e diâmetro, além da influência sobre a conicidade do fuste das árvores. Por outra parte, encontraram um leve aumento da densidade básica da madeira com a severidade da operação, porém, essa diferença não foi detectada como significativa. Os autores afirmaram que a poda mais indicada varia entre 45 e 60 % da altura total da árvore.

2.3 Propriedades da madeira e manejo florestal

A seguir serão abordados principalmente os efeitos dos desbastes e das podas na qualidade da madeira, também serão considerados alguns conceitos dos processos fisiológicos principais que incidem na formação da madeira e suas características.

Wort (1963) estudou as causas da mudança de lenho inicial para lenho tardio, indicando que duas fases de atividade das auxinas podem ser selecionadas: 1) seu efeito na expansão da célula; 2) seu efeito na deposição da celulose. A expansão da célula pode ser relativamente dependente da alta concentração de auxina, enquanto que uma baixa concentração relativa pode permitir deposição de celulose na parede da célula. A mudança de produção de lenho inicial para tardio pode ser a resposta à mudança no nível de auxinas alcançado no *cambium*, associada a uma resposta específica à diminuição de suprimento de hormônio.

A copa viva das árvores define a posição na qual são produzidos as auxinas e os carboidratos, e a presença e abundância relativa dessas substâncias exerce uma forte influência sobre a quantidade de madeira juvenil, sobre a proporção de madeira inicial e tardia e sobre a posição dentro do fuste da máxima espessura do anel e, portanto, no afilamento do fuste. A proporção de copa viva pode ser controlada por meio da poda ou pelo espaçamento entre as árvores. O espaçamento estreito provoca a morte dos galhos baixos, os quais permanecem unidos à árvore se os turnos não são longos (DANIEL, et al. 1982).

De acordo com Harding (1990) *apud* Zobel e Sprague (1998), uma sugestão comum para alterar a quantidade de madeira juvenil é a manipulação do espaçamento usado nos plantios. A redução significativa da rotação tem incrementado a percentagem de madeira juvenil de baixa qualidade. As tendências de plantar em espaçamentos mais amplos e de realizar desbastes pré-comerciais a idades jovens podem aumentar a quantidade de madeira juvenil em talhões maduros.

Conforme Larson (1963), numerosos estudos de forma do fuste têm mostrado que árvores com copas vigorosas e longas produzem uma forte

conicidade com uma elevada proporção de lenho inicial para lenho tardio. Quando a copa diminui devido à idade, fechamento ou poda artificial, os fustes tornam-se mais cilíndricos e a proporção de lenho inicial para lenho tardio diminui.

Os autores Larson et al. (2001) mostram que os desbastes intensos incrementam a proporção de madeira inicial no anel de crescimento, porém, em algumas ocasiões, os desbastes podem favorecer o processo de crescimento na estação tardia. Em adição ao aumento de massa foliar das copas, os desbastes podem também incrementar a eficiência das folhas e estender a duração da estação de formação de madeira. Essa última condição poderia resultar em anéis maiores, contudo sem diminuição na percentagem de madeira tardia e de peso específico.

Conforme Zobel e Jett (1995), a densidade da madeira é usualmente apresentada como a relação do peso seco da madeira com o volume verde e é medida em Kg/m^3 ou libras/pé cúbico (lbs/ft^3). Essa propriedade da madeira tem sido a mais estudada e é a mais importante.

Entre os fatores mais importantes que afetam a qualidade da madeira encontram-se o tamanho e a distribuição dos nós e a densidade da madeira. Muitos fatores de qualidade da madeira estão relacionados à densidade. A resistência, rigidez e o rendimento de polpa tendem a aumentar com a gravidade específica, conseqüentemente, em muitos estudos, a gravidade específica é usada como indicador de qualidade da madeira (TASSISA e BURKHART, 1998). No mesmo sentido, Jordan et al. (2008) indicaram que a densidade da madeira é a característica universalmente mais importante. Ao avaliarem a densidade na amplitude da distribuição natural do *Pinus taeda* nos Estados Unidos, obtiveram que, quando ocorreram as maiores densidades, as árvores apresentaram significativamente uma maior proporção de madeira tardia.

Conforme Guller (2007), a densidade da madeira é considerada um bom indicador de várias outras propriedades e é relativamente fácil de medir.

Para as diferentes espécies do gênero *Pinus* sp., a madeira mais densa resulta na produção de celulose com maior rendimento, menor consumo de reagentes químicos, maiores resistências ao rasgo e menores resistências à tração e ao arrebatamento. O lenho tardio apresenta maior densidade que o

lenho inicial, fato que pode ser explicado pela análise das fibras, pois estas apresentam paredes relativamente espessas quando comparadas com a respectiva largura e diâmetro do lume. Como consequência, é natural se esperar que quanto maior for o teor de lenho tardio maior será a densidade média de uma seção (BRITO e BARRICHELO, 1977).

Segundo Zobel (1992), qualquer fator que consiga alterar o padrão de crescimento de uma árvore pode resultar em variação na qualidade da madeira. As operações silviculturais mudam os padrões de crescimento, no entanto, as respostas das árvores em termos de propriedades da madeira não são previsíveis. Quando a adubação nitrogenada incrementa o crescimento, a densidade da madeira em espécies de *Pinus* de alta densidade básica diminui, enquanto um incremento similar resultante de desbastes praticamente não altera a densidade da madeira. O estoqueamento inicial e a poda não têm grande efeito além de aumentar, no caso da poda, a proporção de madeira livre de nós. Nesse contexto Daniel et al. (1982), verificou que resultados de pesquisas não são claros quanto à relação entre peso específico e taxa de crescimento das árvores.

Conforme Larson et al. (2001), em árvores podadas, os galhos inferiores da base da copa tornam-se maiores e mais vigorosos. O crescimento radial na base do fuste da árvore é reduzido em árvores intensamente podadas e o nível de altura no qual ocorre a máxima largura do anel move-se à base da copa. Junto com essas mudanças no anel, a percentagem de lenho tardio e a densidade da madeira incrementam-se na base do fuste. Dependendo do grau de remoção dos galhos, o padrão de crescimento retorna ao normal nos próximos anos.

De acordo com Zahng e Gingras (1998), embora o maior espaçamento possa dar resultados inferiores de qualidade da madeira (proporção mais elevada de madeira juvenil, menor densidade, nós de tamanho maior), árvores de maior tamanho têm mais possibilidade de utilização e, por isso, deve-se buscar a melhor relação entre maior volume e perda de propriedades mecânicas.

Segundo Daniel et al. (1982), existe para cada produto um determinado tipo de madeira que possui características ótimas de qualidade, assim, a definição de qualidade de madeira varia segundo o uso final de cada material.

As propriedades reais da madeira que a fazem mais ou menos útil para um produto em especial são o peso específico, o comprimento da fibra, a espessura das paredes celulares e o conteúdo de celulose e lignina.

Baillères e Durand (2000) destacam que os fatores de qualidade da madeira são: 1) fatores mecânicos, sendo as propriedades da madeira a considerar o módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), compressão paralela à fibra, dureza e tensões de crescimento; 2) fatores físicos, sendo as propriedades da madeira a considerar a contração tangencial e radial e o poder calorífico; 3) fatores biológicos, sendo as propriedades da madeira a considerar a resistência à podridão, resistência às térmitas e resistência ao envelhecimento; 4) fatores estéticos, sendo as propriedades da madeira a considerar: cor; textura, entre outras e 5) fatores estruturais, sendo as propriedades da madeira a considerar a proporção alburno/cerne, forma dos troncos, tamanho e frequência dos nós.

Para Montagna et al. (1993), a madeira do *Pinus sp.* pode apresentar problemas de qualidade, sendo um defeito comum a presença de nós que a depreciam, restringindo seu aproveitamento para fins mais nobres e melhor remunerados, como para serraria e laminação.

Conforme Larson et al. (2001), a poda envolve a remoção artificial de galhos da árvore. A poda dos galhos verdes ou vivos elimina galhos que de outra maneira seguiriam crescendo. Sua remoção assegura tamanhos de nós menores e um cilindro enodado de menor tamanho. A poda é um trabalho intenso e relativamente caro, porém é usada nos plantios de *Pinus sp.* de rápido crescimento da Nova Zelândia, África do Sul e em alguns plantios no Sul dos Estados Unidos.

Na evolução de mercado madeireiro do Sul do Brasil, segundo Seitz (1995), a qualidade da madeira tornou-se crucial na década de 90, quando o mercado madeireiro começou a exportar. Nesse período, os produtores que haviam praticado uma silvicultura intensiva na fase jovem dos povoamentos passaram a obter elevados retornos financeiros.

Conforme Schilling et al. (1997), a madeira pode apresentar problemas, como uma alta proporção de lenho juvenil, e defeitos, principalmente, nós. Devido ao fato de que as espécies do gênero *Pinus* introduzidas no Brasil apresentam desrama natural pobre, torna-se necessária a utilização da

desrama artificial. A desrama torna possível evitar a formação de nós mortos, reduzir o diâmetro do núcleo enodado e diminuir as condições que favorecem o adelgaçamento do fuste. Por ser esta uma técnica de alto custo, ela requer a avaliação de seus efeitos na qualidade da madeira para justificar o investimento.

Fassola et al. (2000, 2005a) apresentaram as metodologias utilizadas na determinação de funções que permitem estimar o diâmetro do cilindro defeituoso através do diâmetro máximo sobre tocos. Para estes estudos, selecionaram árvores de plantios de *Pinus taeda* e *Pinus caribaea* var *caribaea*, localizados na província de Misiones, Argentina e concluíram que existe uma alta associação entre os diâmetros indicados.

Carreira e Dias (2005) apresentaram a classificação visual da National Grading Rule do SPIB (*Southern Pine Inspection Bureau*) dos Estados Unidos com as características definidas na Tabela 1. Nela, pode-se observar que a classificação visual combina as variáveis número de anéis por polegada e quantidade de madeira do lenho tardio para definir uma categoria de densidade das peças.

Tabela 1 – Classes de densidade para peças de madeira estrutural de *Pinus* sp. nos Estados Unidos.

Classe	Anéis / 2,5 cm	Quantidade de lenho tardio
<i>Dense</i> (denso)	≥ 6	$> 1/3$
<i>Dense</i> (denso)	≥ 4	$> 1/2$
<i>Medium</i> (médio)	≥ 4	-----
<i>Coarse</i> (comum)	< 4	-----

2.4 Rentabilidade florestal em função do manejo

As florestas desempenham um papel fundamental na manutenção do equilíbrio vital do planeta fornecendo uma infinidade de bens e serviços. A economia florestal trata exatamente da utilização racional dos recursos, com

vistas à produção, à distribuição e ao consumo dos bens e serviços florestais (SILVA et al., 2005).

O aumento da intensidade de desbaste tem pouco efeito nas propriedades da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii*, podendo inclusive, na média, melhorá-las. Dessa forma, a decisão quanto à intensidade de desbastes depende, basicamente, da análise de outros parâmetros como, por exemplo, a busca de maior produtividade volumétrica, as dimensões e forma das toras, bem como de fatores de ordem econômica, em especial a taxa de retorno do investimento considerado (PEREIRA e TOMASELLI, 2004).

Conforme Rezende e Oliveira (2001) e Silva et al. (2005), os métodos de avaliação econômica de projetos podem-se dividir em dois grupos principais. O primeiro compreende aqueles que não consideram a variação do capital no tempo, e o segundo compreende aqueles em que considera-se a variação do capital no tempo. Estes últimos são os seguintes: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), razão benefício/custo (B/C), valor anual equivalente (VAE) e custo médio de produção (CMP).

Para Schneider (2006), a relevância da aplicação do critério do Valor Anual Equivalente (VAE) é a possibilidade de comparação de projetos que apresentam horizontes de planejamento diferentes, tais como culturas florestais de *Pinus* sp. versus *Eucalyptus* sp. e outras espécies.

Cubbage et al. (2007) realizaram uma análise comparativa do retorno ao investimento florestal em diversos países da América (Argentina, Brasil, Chile, Uruguai, Estados Unidos), encontrando diferenças importantes nos critérios considerados. Os métodos usados pelos autores foram o VPL; TIR; B/C, VAE e o valor esperado da terra (VET). Os plantios de *Eucalyptus grandis* e *E. dunnii* na América do Sul apresentaram as maiores rentabilidades com valores de TIR maiores a 20 %, seguidos de plantios de *Pinus taeda* e *P. radiata* com valores de TIR entre 9 e 18%. Neste estudo foram considerados para os plantios de *Pinus* sp. diferentes regimes de manejo conforme o local.

Costas et al. (2006) mencionam que no período 2003 – 2005 o preço das toras podadas na região Norte de Misiones, Argentina, foi aproximadamente 40 % superior ao das toras sem poda da mesma categoria diamétrica.

Conforme Sanquetta et al. (2003), a indústria madeireira passou a optar por espaçamentos mais amplos, que permitissem obter maiores volumes de

madeira para serraria e laminação, em menor prazo e a menores custos. Plantios com cerca de 1000 a 1500 árvores/ha são muito observados hoje no Sul do Brasil. A silvicultura de *Pinus* sp., antes voltada à produção de celulose e papel, empregava densidades de 2000 a 2500 árvores/ha.

Scolforo et al. (2001) avaliaram economicamente diversos regimes de manejo para *Pinus taeda* no estado do Paraná. As análises econômicas foram realizadas valendo-se da maximização do valor presente líquido para uma série de infinitas rotações. O regime de manejo que apresentou maior rentabilidade para os sítios mais produtivos iniciou com 833 árvores/ha e finalizou com corte raso aos 21 anos. O regime considerou 3 desbastes, sendo o primeiro pré-comercial seguido de desrama aos 4 anos, mantendo 500 árvores/ha; o segundo desbaste foi comercial aos 12 anos, mantendo 400 plantas/ha; e o terceiro desbaste comercial foi realizado aos 14 anos, mantendo 100 árvores/ha.

Conforme Busssoni e Cabris (2006), as decisões sobre tratamentos silvícolas e rotação são determinantes na adequação da oferta de matéria-prima à demanda atual e futura. Níveis mais intensivos de tratamentos silvícolas nem sempre implicam maiores rentabilidades, e existe um ponto a partir do qual começa a zona dos benefícios marginais decrescentes.

Para Hubert e Courraud (1989), a operação de poda resulta rentável se o maior valor esperado ao momento da venda das árvores compensa amplamente o maior custo e se a venda torna-se mais fácil. A tora basal, destinada, sobretudo, à produção de lâminas é a que mais justifica a poda. Ao aumentar a altura (mais de 4-5 m e até 7-8 m), a oportunidade de produzir madeira para lâminas diminui consideravelmente, porém, é concebível gerar madeira para móveis e carpintaria. A diferença de preço entre madeiras podadas e sem poda é, frequentemente, surpreendente, tendo tendência a aumentar nos próximos decênios.

Pezzutti (2008) apresenta esquemas de manejo para *Pinus taeda* usados atualmente no Nordeste de Argentina, nos quais as podas de frequência anual são realizadas para produzir madeira limpa (*clear*), com a finalidade de aumentar a rentabilidade econômica. As podas são planejadas para os sítios mais produtivos, variando o comprimento de copa remanescente nas árvores podadas entre 3 e 3,5 metros, com altura final de poda de 5,5 m.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 O experimento

O experimento foi localizado na província de Corrientes, Departamento de Santo Tomé, na fazenda “Pariopá”, da empresa Forestal Bosques del Plata S.A. (BDP). As coordenadas geográficas do plantio em estudo são 28° 24´ 06´´ de latitude Sul e 56° 00´ 58´´ de longitude Oeste, com uma altitude de 108 metros sobre o nível do mar. O solo é classificado na região como profundo, argiloso vermelho sendo o relevo suave com inclinação inferior a 15 %. Os solos da região são caracterizados por formações de basalto, bem drenados, denominados solos vermelhos. Sua taxonomia, segundo o sistema de classificação da Soil Taxonomy (USDA, 1999), corresponde a um *Typic Kandihumults* (Ultisoles). A série de solo na classificação Argentina é a Diaz de Vivar (ESCOBAR et al., 1996). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo cfa, subtropical úmido, descrito como temperado chuvoso, apresentando verões muito quentes e úmidos sem estação seca (CÁTEDRA DE CLIMATOLOGIA AGRÍCOLA, 2009). Conforme os informes meteorológicos da empresa BDP, baseados em dados dos últimos 17 anos, a temperatura média anual é de 21°C e a precipitação média é de 1700 mm por ano.

O experimento foi conduzido em um plantio operacional (comercial), estabelecido no ano de 1993, com a espécie *Pinus taeda* de origem Marion, procedente do Estado da Flórida, Estados Unidos da América do Norte. O espaçamento inicial entre plantas foi de 3 m x 2 m, gerando uma densidade inicial de 1666 árvores/ha. O preparo do solo, realizado previamente ao plantio, foi uma subsolagem a 90 cm de profundidade e o controle de plantas daninhas na área, foi realizado por dois anos após o plantio e acompanhado de controle de formigas.

A área escolhida para o estabelecimento do experimento foi selecionada pelos Engenheiros Florestais do INTA (Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária) e da empresa BDP, considerando o resultado do inventário

florestal realizado aos 3 anos de idade. Áreas homogêneas em crescimento e sobrevivência foram escolhidas para estabelecer os tratamentos.

Os dados dendrométricos do talhão antes dos desbastes foram os seguintes: a) Número de árvores/ha= 1630; b) Área basal (m^2/ha)= 6,6; c) Diâmetro médio (cm) = 7,2 e Altura média (m) = 4,8.

A pesquisa foi instalada distribuindo os tratamentos sistematicamente (FASSOLA et al., 2002). As instituições responsáveis pela instalação e medição anual do experimento foram BDP (Forestal Bosques del Plata S.A.) e o INTA-EEA Montecarlo (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuária de Montecarlo). Aos 3 anos de idade, foram estabelecidas as parcelas, com tamanho variável entre 108 e 432 m^2 , aumentando com a redução do número de árvores por hectare.

A instalação do experimento foi realizada entre os dias 12 e 21 de agosto de 1996, sendo as podas executadas com serrote e escada.

3.1.1 Descrição dos tratamentos

Os fatores principais considerados no experimento foram: Número de árvores remanescentes (AR), percentagem de copa remanescente (CR) e número de podas (NP). Os níveis do fator AR foram: 1666 árvores/ha (testemunha sem desbaste); 833 árvores/ha; 416 árvores/ha e 208 árvores/ha. Para o fator CR os níveis considerados foram: 100 (testemunha sem poda); 70 (poda de 30 % da copa viva); 50 (poda de 50 % da copa viva) e 30 (poda de 70 % da copa viva). O terceiro fator foi o NP com os seguintes níveis: 1 (testemunha sem poda); 2 (duas podas de frequência anual); 3 (três podas de frequência anual) e 4 (quatro podas de frequência anual). Os tratamentos foram gerados a partir da combinação parcial dos níveis dos três fatores.

Por meio de desbastes seletivos, aos 3 anos de idade, geraram-se 4 faixas de distintas densidades: 1666, 833, 416 e 208 plantas/ha. Em cada uma, realizou-se a poda de galhos vivos, em sub-faixas perpendiculares às anteriores, sendo usadas 4 intensidades de remoção de copa: 0; 30; 50 e 70 % do comprimento da copa viva. As sub-faixas, por sua vez, foram divididas em

parcelas dentro das quais foram realizadas podas por 2, 3 ou 4 anos consecutivos. Dessa maneira, foram gerados 32 tratamentos com 5 repetições, à exceção dos tratamentos da faixa de 208 árvores/ha, que apresentaram 6 repetições. O número de plantas por parcela foi variável em função do tratamento de desbaste aplicado, oscilando entre 18 e 9 plantas. As faixas foram desenhadas com bordadura perimetral dupla entre si, e dentro de cada faixa de densidade as parcelas correspondentes a cada tratamento de poda apresentaram bordadura perimetral simples.

Na Tabela 2, foram relacionadas de maneira resumida as densidades (número de árvores por hectare), o espaço disponível por árvore individual, características das parcelas e repetições dos tratamentos correspondentes a cada faixa de densidade.

Tabela 2 – Características das faixas de densidade de árvores por hectare avaliadas no experimento de *Pinus taeda* estabelecido na província de Corrientes, Argentina.

Faixas (Árvores ha ⁻¹)	Espaço disponível (m ² /árvore)	Nº árvores/parcela	Tamanho da parcela de medição (m ²)	Repetições/ tratamento
1666	6	18	108	5
833	12	18	216	5
416	24	15	360	5
208	48	9	432	6

Com anterioridade à análise dos dados, foi observado o número de árvores por parcela e, nos casos em que o número de árvores observadas aos 3 anos de idade apresentou diferenças absolutas superiores a 17 % com relação ao valor teórico, as parcelas foram retiradas da análise. Com essa metodologia foram selecionados 30 tratamentos para serem avaliados.

A descrição dos tratamentos, apresentada na Tabela 3, mostra para cada tratamento o número de árvores remanescentes após o desbaste (AR); a percentagem de copa viva remanescente após a realização da poda (CR) e o número de podas (NP) executado segundo a seguinte descrição: 1 (sem poda, correspondente à testemunha); 2 (duas podas de frequência anual); 3 (3 podas de frequência anual) e 4 (máximo nível de poda, sendo realizadas 4 podas de

frequência anual, ou seja, uma poda por ano durante 4 anos). No Apêndice T, podem ser observados os tratamentos com as 4 intensidades de desbastes, aos 16 anos de idade.

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos de desbaste e poda avaliados em um experimento estabelecido em um plantio de *Pinus taeda* no Nordeste da província de Corrientes, Argentina.

Tratamentos	AR (N° de árvores remanescentes/ha)	CR (% de copa remanescente)	NP (N° de podas)
1	1666	100	1
2	1666	70	2
3	1666	70	3
4	1666	70	4
5	1666	50	2
6	1666	50	3
7	1666	50	4
8	833	100	1
9	833	70	2
10	833	70	3
11	833	70	4
12	833	50	2
13	833	50	3
14	833	50	4
15	416	100	1
16	416	70	2
17	416	70	3
18	416	70	4
19	416	50	2
20	416	50	3
21	416	50	4
22	208	100	1
23	208	70	2
24	208	70	3
25	208	70	4
26	208	50	2
27	208	50	3
28	208	50	4
29	208	30	2
30	208	30	3

Sendo: AR = Número de árvores remanescentes por hectare após o desbaste realizado aos 3 anos de idade no plantio de *Pinus taeda*; CR = percentagem de copa remanescente nas árvores e NP = Número de podas de frequência anual realizadas (sendo o nível 1 o tratamento sem poda).

3.2 Crescimento e produção

3.2.1 Medições anuais

A partir da instalação do experimento até o ano de 2008, foram realizadas anualmente, durante o mês de Julho, em todas as árvores das parcelas, medições de diâmetro à altura do peito (DAP) e, em três árvores co-dominantes de cada parcela, foram medidas a altura total (h), a altura na base da copa viva (hbc) e o diâmetro máximo sobre verticilos (DMSV). Os dados foram fornecidos pela empresa BDP. Os pesquisadores do INTA, Fassola et al. (1999), apresentaram os resultados do experimento referidos aos DMSV.

3.2.2 Diâmetro em diferentes alturas das árvores

Durante o ano 2009, de cada tratamento foram selecionadas 12 árvores (3 árvores por repetição em 4 repetições selecionadas ao acaso), sendo estas correspondentes a árvores de classes diamétricas superior, média e inferior. Com fita diamétrica, foram medidos os diâmetros ao nível do solo, aos 0,15 m e 1,3 metros de altura. Com o uso do dendrómetro Criterion RD 1000 (Figura 1), foram realizadas medições de diâmetro a cada 2 metros de altura até a altura total. Quando a disposição dos verticilos e galhos não permitiu realizar a medição com clareza, a leitura de diâmetro e altura foi feita alguns centímetros por cima ou abaixo do verticilo em questão. Com as medições realizadas foi gerada uma base de dados (diâmetro – altura) para análise.



Figura 1 – Dendrômetro Criterion RD 1000 utilizado para medir diâmetros e alturas em diferentes posições do fuste.

3.2.3 Análise dos dados

3.2.3.1 Modelagem do diâmetro da árvore de área basal média (dg)

Inicialmente, com os dados de cada parcela e para cada uma das idades avaliadas, foi calculado o diâmetro da árvore de área basal média. A modelagem foi calculada pelo pacote estatístico SAS (*Statistical Analysis System*) (1999), sendo a variável dependente o diâmetro da árvore de área basal média, e a variável independente, a idade. A transformação logarítmica foi utilizada quando os dados não apresentaram homogeneidade de variância, a qual foi avaliada pelo teste de aderência de Chi-quadrado. Diversos modelos foram testados, tendo sido escolhidos aqueles que apresentaram as melhores estatísticas, tais como o maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}); o menor coeficiente de variação expresso em porcentagem (CV%); o maior valor de F e a melhor distribuição dos resíduos.

3.2.3.1.1 Análise da covariância (ANACOVA)

A análise da covariância foi realizada para verificar a existência ou não de diferença significativa de inclinação entre as regressões. Caso não existisse diferença de inclinação, o segundo teste foi realizado para verificar a não-diferença de níveis entre as regressões (SCHNEIDER et al., 2009). O teste foi realizado pelo procedimento GLM do pacote estatístico SAS. O modelo geral usado para avaliar as inclinações foi:

$$Y = X + X*AR + X*AR*NP + X*AR*NP*CR$$

E o modelo usado para avaliar os interceptos foi:

$$Y = X + AR + AR*NP + AR*NP*CR$$

Sendo Y a variável dependente; X a covariável; AR o número de árvores remanescentes; NP o número de podas e CR a percentagem de copa viva remanescente após a poda.

Uma vez obtidas as regressões dos 30 tratamentos avaliados, os resultados do dg em função da idade para as diferentes combinações de ARxNPxCR foram interpretados. Foi considerado adequado reestimar coeficientes quando o comportamento de alguns tratamentos apresentou desvios com relação ao comportamento geral observado. Com o uso dos coeficientes das regressões obtidos, foram geradas funções para estimar os coeficientes da função geral pelo método “*stepwise*”. Dessa maneira, obtiveram-se 2 modelos que estimam os coeficientes da função geral em função do número de árvores remanescentes após o desbaste pré comercial (AR), da percentagem de copa remanescente (CR) e do número de podas (NP).

3.2.3.1.2 Validação do modelo

A validação do comportamento do modelo foi realizada com dados independentes daqueles usados na construção do modelo, sendo estes provenientes de parcelas do experimento que não foram consideradas na geração do modelo, e dados de outro experimento, localizado num sítio similar ao do local do presente estudo. Foram considerados os dg (cm) obtidos durante o período de crescimento compreendido entre os 3 e 15 anos.

Os critérios estatísticos usados para validar o modelo de regressão foram apresentados em detalhe por Schneider (2009). A metodologia empregada tem sido utilizada por pesquisadores como Vaccaro et al. (2003) e Dominguez et al. (2006). Os critérios estatísticos considerados foram: a) Tendência absoluta (BIAS); b) Tendência Relativa (BIAS %); c) Desvio médio (D); d) Desvio médio relativo (D%); e) Desvio médio absoluto em percentagem (e%) e f) Chi-Quadrado (χ^2).

Os valores observados e estimados, para três situações diferentes, foram comparados e representados graficamente. A continuação detalham-se os cenários considerados: 1) Plantio de 1666 árvores/ha com desbaste pré-comercial, aos 3 anos de idade, para 1296 árvores/ha e 3 desramas anuais removendo 50 % da copa viva; 2) Plantio de 1666 árvores/ha com desbaste pré-comercial, aos 3 anos de idade, para 926 árvores/ha e 3 desramas anuais removendo 50 % da copa viva e 3) Plantio de 1428 árvores/ha, com presença de 1323 árvores/ha, aos 3 anos de idade, sem realização de desbastes, nem podas.

3.2.3.2 Freqüência por classe diamétrica

As funções probabilísticas Ln-normal; Normal; Gama e Weibull foram avaliadas segundo a metodologia empregada e descrita em detalhes por Netto (2008) para explicar a distribuição de diâmetros nas diferentes densidades de árvores/ha, estudadas entre os 3 e 15 anos de idade da floresta. Foram considerados 4 grupos de densidades (1666, 833, 416 e 208 árvores/ha)

incluindo em cada um destes os tratamentos com e sem poda. Para a escolha da função mais adequada, foram realizados testes de aderência e ranqueamento por idade entre os 3 e 15 anos.

3.2.3.3 Desvio padrão do diâmetro a altura do peito

Para a modelagem foi utilizado o pacote estatístico SAS (1999), sendo a variável dependente o desvio padrão do diâmetro, e as variáveis independentes, a idade, o número de árvores presentes e o dg. Os dados utilizados corresponderam a todos os tratamentos do experimento. A transformação logarítmica foi utilizada quando os dados não apresentaram uma distribuição normal, a qual foi avaliada pelo teste de aderência de Chi-quadrado. Diversos modelos foram testados, tendo sido escolhido aquele que apresentou as melhores estatísticas, maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), menor coeficiente de variação expresso em porcentagem (CV%), maior valor de F e a melhor distribuição dos resíduos.

3.2.3.4 Número de árvores por hectare (N)

A evolução do número de árvores no tempo foi avaliada inicialmente de maneira gráfica, tendo sido calculados, para cada idade, os valores médios de número de árvores/ha para cada grupo de densidade de árvores/ha. Para os tratamentos de 1666 e 833 árvores/ha, foram calculadas funções que permitiram estimar o número de árvores/ha a partir dos 10 anos, idade após a qual foi observada uma mortalidade contínua das árvores. Para esses tratamentos (1666 e 833 árvores/ha), foram obtidos por regressão linear os coeficientes do modelo $\log N = b_0 + b_1 \log dg$ e, no caso das densidades de 416 e 208 árvores, não foram ajustados modelos, devido à natureza dos dados com inexistência de regressão. Com os modelos ajustados foram calculados os números de árvores por hectare, em função do dg, presentes em cada uma

das idades superiores aos 10 anos. No caso de 416 e 208 árvores/ha, foram calculados os valores médios das parcelas correspondentes.

3.2.3.5 Área Basal por hectare (G)

Com os resultados do dg (m) e do N (número de árvores/ha), foi calculada a área basal dos diferentes tratamentos avaliados.

A área basal por hectare foi calculada da seguinte maneira:

$$G = [(\pi * dg^2) / 4] * N ; \text{ onde } G \text{ expressa-se em } m^2/\text{ha e o } dg \text{ em m.}$$

3.2.3.6 Diagrama de manejo de densidade

Os valores calculados de logaritmo em base 10 do dg (logdg) em função do logaritmo em base 10 do número de árvores (logN°) para toda a população (todos os tratamentos do experimento) foram representados graficamente. A seguir foram escolhidos os pontos extremos dessa distribuição para ajustar o modelo $\log N = b_0 + b_1 \log dg$ o qual foi usado para determinar o valor de logN e de logdg para um dg de 25 cm. Com os valores indicados e considerando a inclinação (coeficiente angular) definida por Reineke (1933) para diversas espécies, foi obtido o coeficiente b_0 para gerar a linha de máxima densidade do povoamento.

Para a definição do diagrama de manejo de densidade, foram considerados os conceitos apresentados por Gingrich (1967); Dean e Baldwin (1993); Jack e Long (1996); Newton (1997); Harrington (1997); Saunders e Puettmann (2000); Long e Shaw (2005); Schneider (2008) e Selle et al. (2010), sendo determinada a linha de máxima densidade, traçadas as linhas da faixa de manejo e a linha correspondente ao fechamento de copas. As linhas superiores e inferiores foram determinadas em 55 % e 40%, respectivamente,

com relação à linha de máxima densidade. Também foi traçada a linha inferior definida pelo fechamento de copas e determinada como 25% da linha de máxima densidade. Com os valores de d_g e N foram estimadas as áreas basais para a elaboração do diagrama de manejo de densidade. Para definir a amplitude do dendrograma, foi considerada a variação de DAP que normalmente é encontrada nas operações florestais e também foram consideradas as densidades de árvores/ha máximas que normalmente são utilizadas nos plantios de *Pinus taeda* na região de estudo.

3.2.3.7 Altura total (h)

A sequência de análise foi semelhante à apresentada para o d_g , sendo que, neste caso, a análise da covariância foi realizada para avaliar a diferença de níveis entre as regressões devido à natureza do modelo escolhido e à distribuição dos dados de altura em função do tempo.

3.2.3.8 Comprimento de copa (CC) e proporção de copa (PC)

O comprimento de copa foi calculado pela diferença entre a altura total da árvore e a altura na qual começava a copa viva. Os gráficos para a variável proporção de copa (expressa em percentagem nas diferentes combinações de densidade de árvores por hectare, número de poda e percentagem de copa remanescente após cada poda) foram realizados para serem interpretados.

Para as análises estatísticas, a variável proporção de copa calculada como a relação entre o comprimento de copa viva e a altura total da árvore (expressa em percentagem) foi dividida por 100 e transformada para arcosseno raiz quadrada da proporção de copa.

Uma análise da covariância foi realizada na sequência para determinar o tempo no qual as testemunhas e os tratamentos podados não apresentaram diferença significativa no comprimento de copa.

As testemunhas das diferentes densidades de árvores/ha foram analisadas ajustando-se uma função geral para todos os dados e, logo, avaliando a diferença de níveis entre as regressões pela análise da covariância. Após terem sido detectadas diferenças significativas nas inclinações, foram estimados os coeficientes angulares das regressões respectivas.

3.2.3.9 Altura de poda

A modelagem da altura de poda foi realizada pelo método “*stepwise*”, considerando como variáveis independentes o número de árvores remanescentes (AR), o número de podas (NP), a percentagem de copa remanescente (CR) e suas transformações logarítmica, inversa e quadrática, entre outras.

3.2.3.10 Forma das árvores

O diâmetro relativo (d_i/DAP) obtido pela relação entre o diâmetro a uma altura i e o DAP e a altura relativa (h_i/h) pela relação entre a altura i e a altura total da árvore foram calculados para as árvores cubadas nos diferentes tratamentos.

Com os dados de diâmetro relativo e altura relativa, foram estimados os coeficientes e as estatísticas para um modelo geral utilizando-se o polinômio de 5º grau, por ser este um modelo normalmente usado com tal finalidade. A análise da covariância foi realizada para avaliar diferenças de inclinação entre os diferentes tratamentos. Quando a variável AR (número de árvores remanescente) apresentou-se como significativa, foram ajustados polinômios de 5º grau para os diferentes grupos de AR (1666; 833; 416 e 208 árvores/ha).

3.2.3.11 Sortimentos de madeira

As funções de diâmetro relativo em relação à altura relativa foram usadas para estimar os diâmetros em diferentes alturas do tronco condicionadas pelo comprimento das toras comerciais. Em seguida, as toras foram cubadas pelo método de Smalian e classificadas conforme as categorias especificadas na Tabela 4. Quando a poda foi realizada, as toras correspondentes foram classificadas como *clear* (madeira limpa).

As classes diamétricas foram definidas a cada 2 cm e estimada a relação diâmetro-altura com a finalidade de obter as alturas correspondentes a cada árvore do centro de classe. Para isto foram utilizados os pares de dados (DAP- altura) conforme o descrito no item 3.2.2

Tabela 4 - Categorias de produtos comerciais e sua caracterização para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Categoria	Nome	Código	Comprimento (m)	Dpf (cm)	Podado
1	Laminável <i>clear</i>	LC(1)	2,65	> 35	Sim
2	Laminável	L(2)	2,65	> 35	Não
3	Serraria 1 <i>clear</i>	S1C(3)	2,65	> 30	Sim
4	Serraria 1	S1(4)	2,65	> 30	Não
5	Serraria 2 <i>clear</i>	S2C(5)	2,65	> 25	Sim
6	Serraria 2	S2(6)	2,65	> 25	Não
7	Serraria 3 <i>clear</i>	S3C(7)	3,2	> 15	Sim
8	Serraria 3	S3(8)	3,2	> 15	Não
9	Triturável	T(9)	2,4	> 8	Não
10	Energia	E(10)	< 2,4	-----	Não

Sendo: Dpf = Diâmetro na ponta fina da tora.

3.2.4 Prognose da produção

Para a determinação do dg nas idades superiores a 15 anos e até 21 anos foram usadas as funções obtidas no presente estudo. Para estimar o DAP médio em função do dg foi usado o modelo $DAP = -0,0991 + 0,9948 dg$, o qual foi ajustado com todos os dados do experimento apresentando um $R^2 = 0,999$.

Para determinar o número de árvores/ha, o desvio padrão do DAP e a altura média foram usados os modelos ajustados no presente trabalho. Finalmente, foram obtidos os sortimentos nas idades de 18 e 21 anos e estimados os volumes/ha.

3.2.5 Volumes estimados por tipo de produto e volume total

Para a determinação da produção foram selecionados oito cenários com a finalidade de usar os resultados nas análises econômicas.

Com as frequências por classe diamétrica por hectare e os volumes produzidos por tipo de produto por cada árvore centro de classe foram estimados os volumes por tipo de produto por hectare para os seguintes cenários:

- 1) 1666 árvores com poda de 50 % da copa viva por 3 anos.
- 2) 1666 árvores sem poda.
- 3) 833 árvores após o desbaste pré comercial realizado aos 3 anos de idade com poda de 50 % da copa viva por 3 anos.
- 4) 833 árvores após o desbaste pré comercial realizado aos 3 anos de idade sem poda.
- 5) 416 árvores após o desbaste pré comercial realizado aos 3 anos de idade com poda de 50 % da copa viva por 3 anos.
- 6) 416 árvores após o desbaste pré comercial realizado aos 3 anos de idade sem poda.

- 7) 208 árvores após o desbaste pré comercial realizado aos 3 anos de idade com poda de 50 % da copa viva por 3 anos.
- 8) 208 árvores após o desbaste pré comercial realizado aos 3 anos de idade sem poda.

Os volumes totais por hectare foram obtidos pela somatória dos volumes parciais dos produtos obtidos para cada cenário. O critério para a definição destes cenários foi o de avaliar a produção sob diferentes intensidades de desbastes pré-comerciais, com e sem poda, selecionando um tipo de poda similar ao normalmente considerado na região onde foi estabelecido o experimento.

3.3 Qualidade da madeira

Procurando abranger todos os níveis de intensidade de desbaste, com e sem poda (50% de remoção da copa viva por 3 anos consecutivos), foram selecionados os tratamentos: T1; T6; T8; T13; T15; T20; T22 e T27 (a descrição dos tratamentos pode ser observada na Tabela 3). Foram escolhidos os tratamentos com poda de 50 % da copa viva por ser esta uma prática similar à realizada, em muitas ocasiões, pelos produtores florestais no nordeste da província de Corrientes, Argentina.

Das três árvores medidas anualmente em cada repetição foi selecionada a árvore de DAP mais próxima do dg. Para a determinação da densidade da madeira, número de anéis por polegada e percentagem de lenho inicial e tardio e, em função das repetições existentes no experimento, foram amostradas 5 árvores dos primeiros 6 tratamentos e 6 árvores dos dois últimos (T22 e T27).

3.3.1 Amostragem para determinar as propriedades da madeira

Das árvores selecionadas foram retiradas as amostras de madeira usando o trado de Pressler a 1,3 m de altura na direção N-S, seguindo a

orientação das linhas do plantio. Os rolos de madeira de 12 mm de diâmetro foram secados em estufa a 45°C por 72 horas. As amostras foram identificadas (número da árvore; tratamento e repetição) e embaladas em sacos de papelão rígidos e enviadas ao laboratório da Universidade do Estado da Carolina do Norte (*North Carolina State University - NCSU*), nos Estados Unidos da América do Norte para serem avaliadas por raios X. As peças foram retiradas no mês de outubro de 2009 e enviadas para análise 5 dias após a colheita.

3.3.2 Preparo da amostra e procedimento

No laboratório da Universidade do Estado da Carolina do Norte para realizar as medições de densidade das amostras pelo densitômetro de raios X as amostras de madeira, foram preparadas da seguinte maneira:

- 1 – Os rolos de madeira secos foram colados entre duas peças de madeira usando um adesivo de poliuretano para fixação e corte.
- 2 – Uma serra circular dupla foi usada para cortar tiras de 2 mm ao longo do eixo radial.
- 3 – As amostras foram acondicionadas em câmara com umidade de 8 %.
- 4 – Um coeficiente de atenuação de massa para *Pinus taeda* usado normalmente no laboratório foi utilizado durante o processo.
- 5 – Foi medida a largura das tiras, em 3 pontos, correspondentes as amostras. A largura do anel foi medida com o uso de um calibre digital (Mitutoyo CD-6''C) debaixo do estereoscópico (SMZ800 Nikon) e reportado em milímetros (mm). A média da largura foi calculada e utilizada na corrida do densitômetro.
- 6 – As medições de densidade a cada 0,08 mm foram realizadas.
- 7 – As divisões de crescimento dos anéis para cada amostra, no perfil de densidade, foram marcadas manualmente para coincidir com a imagem do microscópio.
- 8 – O valor de densidade da madeira de 400 Kg/m³ foi utilizado como limite para quantificar o lenho inicial e o lenho tardio. O valor indicado foi determinado usando a metodologia do laboratório da NCSU sendo este o que

melhor representou a separação entre anéis ao longo dos perfis de densidade das amostras.

As amostras foram escaneadas no densitômetro de raios X, sendo a amostra radial com 2 mm de espessura medida pelo sistema de medição *Quintek Measurement Systems* (QMS) do analisador do anel da árvore. (Modelo: *QTRS-01X Tree Ring Analyzer*). O *QTRS-01X Tree Ring Analyzer* mede a densidade da amostra baseado no coeficiente de atenuação da massa de raio-X.

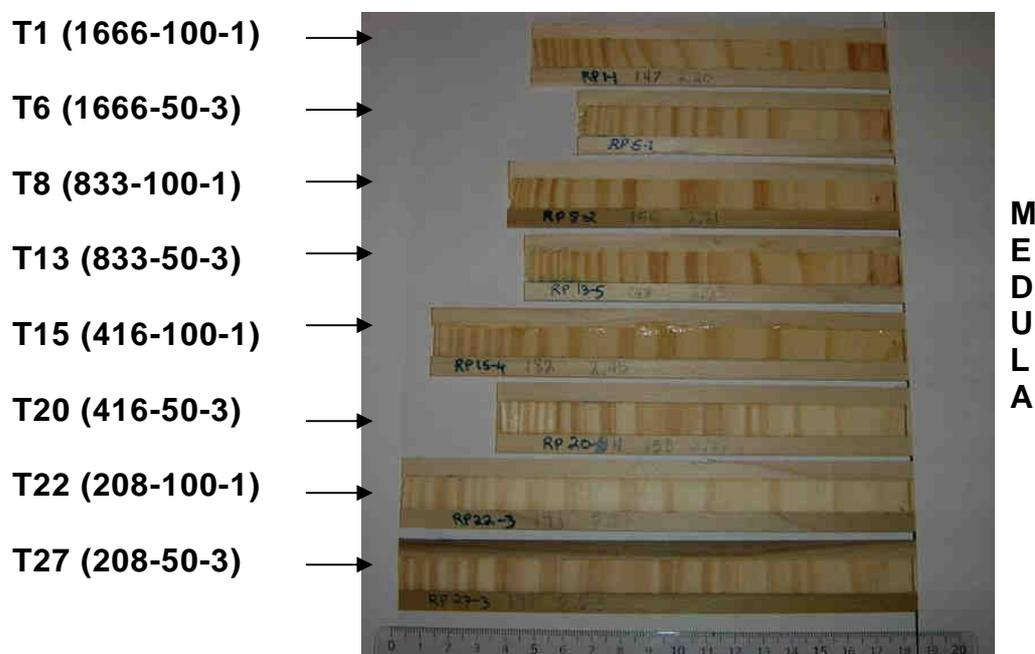


Figura 2 – Amostras de madeira de *Pinus taeda* de 8 tratamentos (combinações de desbastes e podas) selecionados num experimento localizado no nordeste de Corrientes, Argentina, preparadas para serem analisadas no densitômetro de raios X.

3.3.3 Análise dos dados

Com os dados de densidade média do rolo de madeira, comprimento do rolo de madeira, % de lenho tardio por anel e largura do anel provenientes do

laboratório da NCSU foram calculados a % de lenho tardio e o número de anéis por polegada para cada amostra.

A seqüência de análise para as variáveis densidade e lenho tardio foi semelhante à apresentada para o dg sendo que, neste caso, foi ajustada uma função geral para estimar a densidade da madeira em função do número de árvores por ha após o desbaste assim como a % de lenho tardio em função do número de árvores por ha após o desbaste. A análise da covariância foi realizada para avaliar diferença de níveis entre as regressões (com poda e sem poda) devido à natureza do modelo escolhido.

Com a finalidade de avaliar a correlação entre densidade da madeira e percentagem de lenho tardio foi estimado o coeficiente de correlação de Pearson.

Para caracterizar as densidades de lenho inicial e lenho tardio foram calculadas as médias gerais considerando todos os valores correspondentes a todos os anéis do total das amostras.

Os valores de densidade média por anel por tratamento foram calculados e representados graficamente para sua análise.

Para o número de anéis por polegada, foram calculadas as médias de número de anéis por polegada no sentido radial começando a contagem a partir da medula. Desta maneira, foi definido para cada tratamento o número de anéis presentes em cada uma das polegadas consecutivas até chegar ao fim dos anéis junto à casca. Os resultados por tratamento foram representados graficamente para sua interpretação e análise.

3.4 Análise econômica dos regimes de manejo

A análise econômica foi realizada em dois grupos de tratamentos, o primeiro grupo (Grupo 1) considerou os tratamentos (T1, T6; T8; T13; T15; T20; T22 e T27) conforme foram executados no experimento ou seja com o plantio inicial de 1666 árvores/ha, e o segundo grupo (Grupo 2) considerou os tratamentos modificados (Tm) com um ajuste de densidades de plantio sendo plantadas 1666 árvores/ha nos tratamentos T1m; T6m; T8m e T13m com

espaçamento de 3m x 2m; 833 árvores/ha nos tratamentos T15m e T20m com espaçamento de 4m x 3m e 416 árvores/ha nos tratamentos T22m e T27m com espaçamento de 6m x 4m. Estas modificações foram realizadas considerando que as densidades definidas após o desbaste seletivo, realizado aos 3 anos de idade, podem ser obtidas plantando o dobro de plantas/ha para o qual deve-se trabalhar com um material genético de qualidade e homogêneo.

O número de árvores desbastadas foi calculado considerando a densidade inicial para os tratamentos de cada grupo. Na Tabela 5 encontram-se detalhados os tratamentos avaliados por grupo, com as densidades iniciais e finais.

Tabela 5 – Caracterização dos tratamentos avaliados (combinações de intensidade de desbaste pré-comercial e poda) economicamente para *Pinus taeda*, no nordeste de Corrientes, Argentina.

Tratamento	Descrição tratamentos	Grupo	Densidade inicial	Espaçamento	Densidade Final	Plantas desbastadas
T1	AR1666NP1CR100	1	1666	3mx2m	1666	0
T6	AR1666NP3CR50	1	1666	3mx2m	1666	0
T8	AR833NP1CR100	1	1666	3mx2m	833	833
T13	AR833NP3CR50	1	1666	3mx2m	833	833
T15	AR416NP1CR100	1	1666	3mx2m	416	1250
T20	AR416NP3CR50	1	1666	3mx2m	416	1250
T22	AR208NP1CR100	1	1666	3mx2m	208	1458
T27	AR208NP3CR50	1	1666	3mx2m	208	1458
T1m	AR1666NP1CR100	2	1666	3mx2m	1666	0
T6m	AR1666NP3CR50	2	1666	3mx2m	1666	0
T8m	AR833NP1CR100	2	1666	3mx2m	833	833
T13m	AR833NP3CR50	2	1666	3mx2m	833	833
T15m	AR416NP1CR100	2	833	4mx3m	416	417
T20m	AR416NP3CR50	2	833	4mx3m	416	417
T22m	AR208NP1CR100	2	416	6mx4m	208	208
T27m	AR208NP3CR50	2	416	6mx4m	208	208

Sendo: AR833; AR416 e AR208 os códigos correspondentes as densidades de 833; 416 e 208 árvores/ha respectivamente, após o desbaste pré-comercial realizado aos 3 anos de idade. AR1666 = densidade inicial de 1666 árvores/ha sem desbaste; NP1= sem poda; NP3 = com 3 podas anuais; CR100 = sem poda (copa remanescente 100%); CR50 = 50 % de copa remanescente após a poda. Tm =tratamentos modificados enquanto à densidade inicial.

Os métodos para a avaliação econômica dos tratamentos selecionados as idades de 15, 18 e 21 anos foram: a) valor presente líquido (VPL); b) taxa

interna de retorno (TIR); c) razão benefício/custo (B/C); d) custo médio da produção (CMP) e e) valor anual equivalente (VAE). Os métodos mencionados e suas qualidades foram descritos por Rezende e Oliveira (2001). Os valores foram considerados em dólar americano (US\$) e a taxa de juros usada nos cálculos foi de 8 % ao ano.

Os custos usados para a análise foram obtidos de informações fornecidas por profissionais da Engenharia Florestal da região. Nas Tabelas 6 e 7 encontram-se apresentados os custos considerados para a análise conforme o tratamento e a idade. Os mesmos consideraram: administração; terra; plantação; manutenções nos anos 1, 2, 5, 8, 11 e 14; três podas com frequência anual; desbaste pré-comercial e corte raso e carga sobre caminhão.

Os custos de plantio e manutenção por tratamento foram menores quando as densidades iniciais de árvores/ha diminuíram, pois a quantidade de mudas, linhas de preparo do solo, linhas com controle de ervas daninhas e árvores desbastadas foram menores.

Na Tabela 6 observa-se que o custo das podas por hectare diminui ao diminuir o número de árvores/ha e que o custo da poda aumenta na medida em que as podas são realizadas a maiores alturas. Com relação ao custo de corte raso e carga sobre caminhão (US\$/Tn) pode-se observar como diminui com o aumento do diâmetro da árvore de área basal média (dg).

Os custos de administração, da terra, do plantio e manutenções posteriores apresentam o mesmo valor devido à que o número de árvores plantadas /ha neste caso foi de 1666 árvores/ha para todos os tratamentos.

Tabela 6 – Custos das atividades associadas aos tratamentos (combinações de intensidade de desbaste pré comercial e poda) considerados na análise econômica, para *Pinus taeda* no nordeste Argentino, com densidade inicial 1666 árvores/ha.

Tr	Id	Ad	T	Plantio	M 1	M 2	M anos	1 P	2 P	3 P	DPC	CR+C	dg
US\$/ha												US\$/tn	cm
T1	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	25,6
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	26,7
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	27,6
T6	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	212,9	344,7	384,0	0,0	8,0	24,2
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	212,9	344,7	384,0	0,0	7,4	25,3
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	212,9	344,7	384,0	0,0	6,9	26,2
T8	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	73,7	5,3	30,1
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	73,7	4,7	31,7
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	73,7	4,3	32,9
T13	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	117,9	182,1	201,6	73,7	5,9	28,4
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	117,9	182,1	201,6	73,7	5,3	30,0
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	117,9	182,1	201,6	73,7	4,8	31,3
T15	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	105,3	3,6	35,3
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	105,3	3,1	37,5
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	105,3	2,7	39,2
T20	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	70,3	100,7	110,3	105,3	4,2	33,3
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	70,3	100,7	110,3	105,3	3,5	35,6
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	70,3	100,7	110,3	105,3	3,1	37,3
T22	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	121,1	2,3	41,5
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	121,1	1,9	44,4
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	121,1	1,6	46,7
T27	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	46,6	60,1	64,7	121,1	2,8	39,1
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	46,6	60,1	64,7	121,1	2,2	42,1
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	46,6	60,1	64,7	121,1	1,9	44,4

Sendo: Tr = tratamento; T1 = AR1666NP1CR100; T6 = AR1666NP3CR50; T8 = AR833NP1CR100; T13 = AR833NP3CR50; T15 = AR416NP1CR100; T20 = AR416NP3CR50; T22 = AR208NP1CR100; T27 = AR208NP3CR50; T = Tratamento; Id = Idade (anos); Ad = Administração; T = Terra; M1 = Manutenção no ano 1; M2 = Manutenção no ano 2; M anos = Manutenção nos anos 5, 8, 11 e 14; 1P = Primeira poda; 2P = segunda poda; 3P = terceira poda; DPC = Desbaste pré-comercial; CR+C = Corte raso e carga sobre caminhão; dg = diâmetro da árvore de área basal média.

Os custos dos tratamentos modificados (Tm) na densidade inicial de árvores/ha mostram como (Tabela 7) os valores de administração e terra são os mesmos para todos os tratamentos enquanto que os custos de plantio e

manutenções posteriores diminuam nos tratamentos com menor densidade inicial de árvores/ha.

Tabela 7 – Custos das atividades associadas aos tratamentos (combinações de intensidade de desbaste pré comercial e poda), com densidade inicial variável, considerados na análise econômica para *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

Tm	Id	Ad	T	Plantio	M 1	M 2	M anos	1 P	2 P	3 P	DPC	CR+C	dg
													US\$/ha
T1m	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	25,6
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	26,7
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	27,6
T6m	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	212,9	344,7	384,0	0,0	8,0	24,2
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	212,9	344,7	384,0	0,0	7,4	25,3
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	212,9	344,7	384,0	0,0	6,9	26,2
T8m	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	73,7	5,3	30,1
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	73,7	4,7	31,7
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	0,0	0,0	0,0	73,7	4,3	32,9
T13m	15	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	117,9	182,1	201,6	73,7	5,9	28,4
	18	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	117,9	182,1	201,6	73,7	5,3	30,0
	21	25,0	56,0	908,3	242,3	118,0	30,0	117,9	182,1	201,6	73,7	4,8	31,3
T15m	15	25,0	56,0	739,7	199,2	104,2	30,0	0,0	0,0	0,0	42,1	3,6	35,3
	18	25,0	56,0	739,7	199,2	104,2	30,0	0,0	0,0	0,0	42,1	3,1	37,5
	21	25,0	56,0	739,7	199,2	104,2	30,0	0,0	0,0	0,0	42,1	2,7	39,2
T20m	15	25,0	56,0	739,7	199,2	104,2	30,0	70,3	100,7	110,3	42,1	4,2	33,3
	18	25,0	56,0	739,7	199,2	104,2	30,0	70,3	100,7	110,3	42,1	3,5	35,6
	21	25,0	56,0	739,7	199,2	104,2	30,0	70,3	100,7	110,3	42,1	3,1	37,3
T22m	15	25,0	56,0	599,7	159,0	90,3	30,0	0,0	0,0	0,0	26,2	2,3	41,5
	18	25,0	56,0	599,7	159,0	90,3	30,0	0,0	0,0	0,0	26,2	1,9	44,4
	21	25,0	56,0	599,7	159,0	90,3	30,0	0,0	0,0	0,0	26,2	1,6	46,7
T27m	15	25,0	56,0	599,7	159,0	90,3	30,0	46,6	60,1	64,7	26,2	2,8	39,1
	18	25,0	56,0	599,7	159,0	90,3	30,0	46,6	60,1	64,7	26,2	2,2	42,1
	21	25,0	56,0	599,7	159,0	90,3	30,0	46,6	60,1	64,7	26,2	1,9	44,4

Sendo: Tm: Tratamento modificado na densidade inicial; T1m = densidade inicial 1666, AR1666NP1CR100; T6m = densidade inicial 1666, AR1666NP3CR50; T8m = densidade inicial 1666, AR833NP1CR100; T13m = densidade inicial 1666, AR833NP3CR50; T15m = densidade inicial 833, AR416NP1CR100; T20m = densidade inicial 833, AR416NP3CR50; T22m = densidade inicial 416, AR208NP1CR100; T27m = densidade inicial 416, AR208NP3CR50; Id = Idade (anos); Ad = Administração; T = Terra; M1 = Manutenção no ano 1; M2 = Manutenção no ano 2; M anos = Manutenção nos anos 5, 8, 11 e 14; 1P = Primeira poda; 2P = segunda poda; 3P = terceira poda; DPC = Desbaste pré-comercial; CR+C = Corte raso e carga sobre caminhão; dg = diâmetro da árvore de área basal média.

Os preços considerados foram obtidos do Boletim do Colégio de Engenheiros Florestais da Província de Misiones (COIFORM, 2010) para o mês de maio do ano 2010. Devido à falta de um mercado consolidado na

Argentina para produtos podados, os preços esperados por estes produtos foram estimados com base na realidade existente no Chile, país com grande experiência na comercialização de toras podadas, considerando a relação de preços entre toras podadas e não podadas e os valores máximos e mínimos das categorias. Na Tabela 8 são apresentados os produtos e preços correspondentes.

Tabela 8 – Categorias de produtos e preços considerados nas análises econômicas correspondentes a *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

Categoria	Produto	Código	C. (m)	Dpf (cm)	Podado	Preço sobre caminhão (US\$/tn)
1	Laminável <i>clear</i>	LC(1)	2,65	> 35	Sim	64
2	Laminável	L(2)	2,65	> 35	Não	34,9
3	Serraria 1 <i>clear</i>	S1C(3)	2,65	> 30	Sim	49,3
4	Serraria 1	S1(4)	2,65	> 30	Não	30,5
5	Serraria 2 <i>clear</i>	S2C(5)	2,65	> 25	Sim	43,7
6	Serraria 2	S2(6)	2,65	> 25	Não	26
7	Serraria 3 <i>clear</i>	S3C(7)	3,2	> 15	Sim	30
8	Serraria 3	S3(8)	3,2	> 15	Não	18,8
9	Triturável	T(9)	2,4	> 8	Não	11
10	Energia	E(10)	< 2,4	-----	Não	0

Sendo: C (m) = Comprimento das toras.

Para a comparação dos tratamentos nas mesmas idades, foram usados os métodos do VPL, TIR, CMP e B/C, e para a comparação de todos os tratamentos com diferentes períodos de duração, foi utilizado o método do VAE.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Crescimento e produção

4.1.1 Diâmetro da árvore de área basal média (dg)

Os modelos avaliados para estimar o dg em função da idade estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever o diâmetro da árvore de área basal média (dg) em função da idade (t) para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Nº	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	R ² _{aj.}	CV (%)	F
1	Ln dg = b₀ + b₁ (1 / t)	3,8455	-5,5879		0,87	5,48	12838,1
2	Ln dg = b ₀ + b ₁ t + b ₂ (1 / t)	1,2526	0,3379	-0,0129	0,85	5,85	5702,73
3	Ln dg = b ₀ + b ₁ Ln t + b ₂ t ²	0,7087	1,2616	-0,003	0,87	5,5	6359,91
4	Ln dg = b ₀ + b ₁ (1 / t ²)	3,4216	-14,0698		0,82	6,4	8874,37
5	Ln dg = b ₀ + b ₁ (1 / t ²) + b ₂ t	2,9098	-9,5684	0,0441	0,86	5,54	6247,06
6	Ln dg = b ₀ + b ₁ ln t + b ₂ ln ² t	-0,0674 ns	2,31032	-0,36989	0,87	5,45	6487,49

Em que: N° = Número do modelo; Ln dg = Logaritmo neperiano do diâmetro da árvore de área basal média (cm); t = Idade (anos); b₀ = Coeficiente linear; b₁ e b₂ = Coeficientes angulares; R²_{aj.} = Coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = Coeficiente de variação em porcentagem; F = Valor de F calculado; ns = Não significativo pelo teste de t.

Na Tabela 9, destacou-se em negrito o modelo número 1, escolhido em função das estatísticas apresentadas, baixo coeficiente de variação e coeficiente de determinação ajustado de 0,87, explicando adequadamente o dg em função da idade, e a distribuição dos resíduos observada. No Apêndice A, pode ser observado o desempenho do modelo escolhido, e no Apêndice B, os resíduos do modelo, os quais se mostraram bem distribuídos e balanceados ao longo do eixo X correspondente ao valor estimado do Ln dg.

Na Tabela 10, apresenta-se a análise da covariância da função escolhida, na mesma observa-se a existência de interação altamente significativa entre a inversa da idade, AR, NP e CR, indicando diferenças nas inclinações das regressões. Os coeficientes para todas as combinações avaliadas e a significância de cada um destes são apresentados no Apêndice C. Os coeficientes mostram-se altamente significativos nas densidades de 208 e 416 árvores/ha e para o tratamento com 4 podas e 833 árvores/ha. No Apêndice D, estão apresentadas as ANACOVA para análise de interceptos para as densidades de 1666 e 833 árvores/ha, que não mostraram diferenças nas inclinações. Nas análises, verifica-se a diferença altamente significativa na interação NPxCR. Os coeficientes para todas as combinações foram avaliados (Apêndice C), detectando-se em geral diferença nos interceptos.

Tabela 10 – Análise da covariância da função $\ln dg = B_0 + B_1 t^{-1}$, em função do número de árvores remanescentes após desbaste pré-comercial, número de podas e percentagem de copa remanescente para *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

Fonte	GL	SQ erro	QM	F	Prob. > F
Variação		Tipo I			
Modelo	30	373,6155	12,4538	591,11	<,0001
t^{-1}	1	359,8433	359,8433	17079,6	<,0001
t^{-1} *AR	3	7,3106	2,4369	115,66	<,0001
t^{-1} *AR*NP	12	2,6082	0,2173	10,32	<,0001
t^{-1} *AR*NP*CR	14	3,8533	0,2752	13,05	<,0001
Erro	1932	40,7046	0,0211		<,0001
Total corrigido	1962	414,3201			
$R^2=0,90$		CV(%)=4,7			

Sendo: $\ln dg$ = logaritmo neperiano do diâmetro da árvore de área basal média (cm); t^{-1} = inverso da idade (anos); B_0 = intercepto; B_1 = Coeficiente angular; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM= Quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob. > F = nível de probabilidade do erro; AR = número de árvores remanescentes/ha; NP= n° de podas; CR = % de copa remanescente; R^2 = Coeficiente de determinação; CV(%) = Coeficiente de variação em percentagem.

A matriz de coeficientes (b_0 e b_1) dos modelos obtidos para os tratamentos estudados está apresentada no Apêndice E. Os modelos obtidos para estimar os coeficientes B_0 e B_1 do modelo geral (modelo de regressão aninhado) encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos obtidos para estimar os coeficientes B_0 e B_1 do modelo geral para estimar o dg (cm) para povoamentos de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

N°	Modelo						
1	$B_0 = a + b \ln AR + c CR$						
2	$B_1 = a + b / CR + c NP^2 + d \ln AR$						

N°	a	b	c	d	R ²	CV (%)	F
1	5,7312	-0,3080	0,0005	-----	0,99	0,54	2039,3
2	-12,0219	-33,3441	-0,0188	1,1510	0,95	4,34	169,5

Em que: B_0 = Coeficiente linear do modelo geral; B_1 = Coeficiente angular do modelo geral; N° = Número do modelo; $\ln AR$ = logaritmo neperiano do número de árvores remanescentes/ha; CR = % de copa remanescente; NP = número de podas; a = Coeficiente linear; b, c, d = Coeficientes angulares; R² = Coeficiente de determinação; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado.

Os coeficientes B_0 e B_1 , foram calculados para as combinações correspondentes aos 30 tratamentos avaliados. Os resultados apresentados na Figura 3 mostraram claramente como os valores de dg aumentaram na medida em que o número de árvores por ha foi menor após o desbaste pré-comercial (3 anos). A variação do dg encontrada, aos 15 anos, entre os tratamentos de 1666 árvores/ha e 208 árvores/ha sem poda, foi de 15,8 cm. Com relação aos tratamentos de podas, pode ser observado que na medida em que a copa remanescente foi menor, o dg também foi menor e, na medida em que aumentou o número de podas de frequência anual, os diâmetros foram diminuindo. A redução da capacidade fotossintética das árvores causada pela poda afetou negativamente o crescimento em dg sendo a perda mais significativa na medida em que a desrama foi mais intensa e prolongada. Nas maiores densidades de árvores/ha observaram-se menores diferenças de

crescimento em dg entre tratamentos podados e a testemunha sem poda devido à poda natural da testemunha nessas condições. Com o acréscimo do peso do desbaste foram obtidas árvores de maiores dimensões sendo este resultado esperável devido à maior disponibilidade por árvore de água, luz e nutrientes.

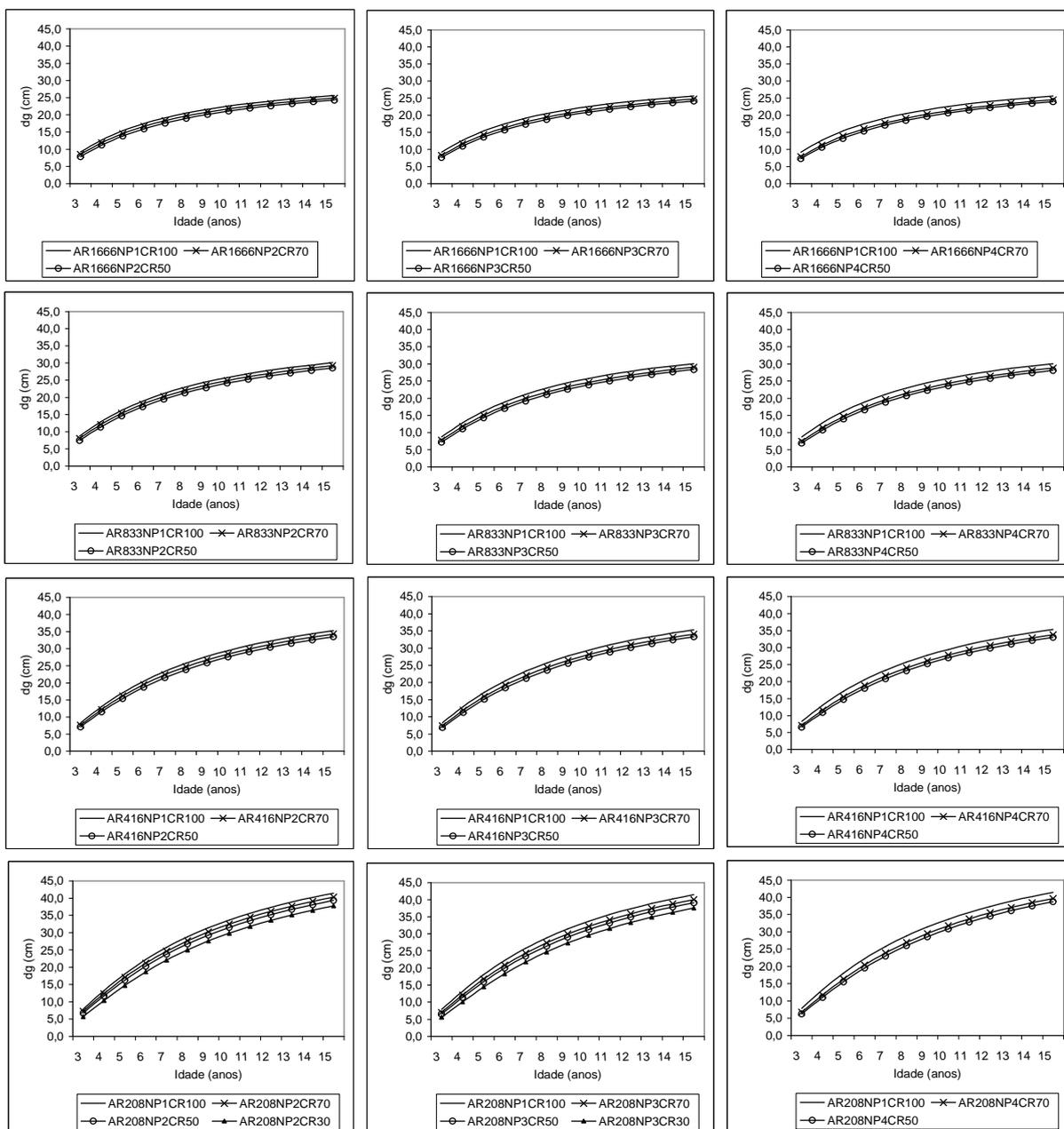


Figura 3 – Crescimento diamétrico em função da idade do número de árvores/ha e da intensidade da poda (número de podas e % de copa removida) para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Na Figura 4, encontram-se representadas as diferenças em dg, obtidas aos 15 anos, entre os tratamentos sem poda e com poda para as diferentes densidades de árvores/ha após o desbaste. Também pode ser observado que, quando o número de árvores/ha foi menor, as diferenças entre os tratamentos com poda e a testemunha foi maior. Também foi possível verificar como aumentam as diferenças quando aumenta o número de podas e a % de copa removida.

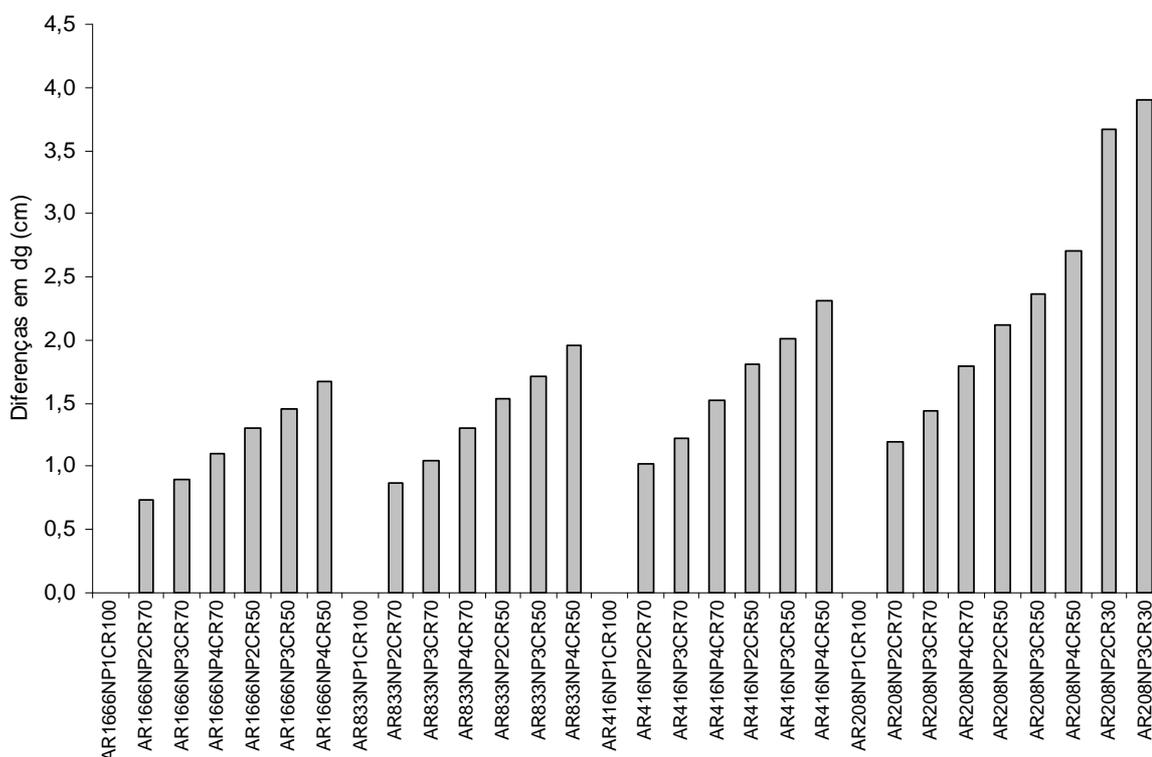


Figura 4 - Diferenças em diâmetro da árvore de área basal média (cm) entre os tratamentos com diversas podas e a testemunha sem poda, em quatro densidades (árvores/ha), aos 15 anos de idade em um plantio de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

As diferenças em dg obtidas variaram de 0,74 cm até 3,90 cm. Os resultados poderiam ser explicados considerando que a remoção de copa viva por meio das podas produz uma redução da capacidade fotossintética da árvore e, conseqüentemente, isso se traduz em menor crescimento. Quando o número de árvores/ha foi elevado (1666), as árvores não podadas atingiram um comprimento de copa similar ao das árvores podadas a idades mais

jovens, sendo este o motivo pelo qual as diferenças observadas em dg foram menores que aquelas observadas nos tratamentos com poucas árvores/ha, nos quais as árvores podadas demoraram mais tempo para atingir um comprimento de copa similar ao das não podadas. No item 4.2.2, são apresentados e discutidos os resultados com relação à proporção de copa viva.

Os resultados obtidos com a remoção de copa viva podem ser comparados com os encontrados por Mowat (1947) em plantios de *Pinus ponderosa* nos Estados Unidos: após 5 anos da realização da poda, o incremento diamétrico foi diminuindo na medida em que a remoção da copa viva foi aumentando, atingindo diferenças de até 1,9 cm em diâmetro entre o tratamento com poda de 75 % da copa viva e a testemunha sem poda.

Schneider et al. (1999), ao avaliarem o efeito da desrama em plantio de *Pinus elliotii* de 13 anos com densidade inicial de 2000 árvores por hectare e desbastado aos 11 anos, obtiveram, após 4 anos da realização das desramas, diferenças de 1,17 cm de diâmetro médio entre a testemunha e o tratamento com desrama de 60 % da altura total da árvore. Estes efeitos foram similares aos alcançados no presente estudo, para as podas realizadas na densidade de 1666 plantas/ha.

Resultados semelhantes aos obtidos para os tratamentos de poda e desbaste foram apresentados por Keller et al. (2004), ao avaliarem tratamentos de podas com 3 intervenções de frequência anual e remoção da copa viva em percentagens de 30, 50 e 70 %, num experimento de *Pinus taeda*, de 11 anos de idade, localizado na província de Misiones, Argentina. Os resultados indicaram que o aumento de remoção de copa viva diminuiu o crescimento. Quando a poda foi de 70 %, as diferenças observadas foram da ordem de 2 até 5 cm do DAP, aumentando as diferenças quando a densidade de árvores por hectare foi menor. Os desbastes estudados foram realizados aos 3 anos de idade, partindo de uma densidade de 1960 plantas por hectare, remanescendo 980, 490 e 245 árvores/ha. Variações próximas a 4, 10 e 16 cm foram encontradas nos tratamentos sem poda quando comparados com a testemunha (1960 árvores/ha).

Masatoshi e Velez Mesa (1992), estudando o efeito da poda realizada aos 3,5 anos de idade em plantios de *Pinus patula* na Colômbia, encontraram, após 4 anos, que o tratamento com 70 % de remoção da copa viva apresentou

um volume inferior a 40 % com relação ao tratamento de 30 % de remoção de copa viva. Os tratamentos podados apresentaram maior altura que a testemunha sem poda. Segundo os autores, o volume estava diretamente relacionado ao dg, sendo constatado que as árvores podadas mostraram, da mesma maneira que no presente estudo, menores dg que as não podadas ou podadas com menor intensidade.

O efeito da intensidade do desbaste no crescimento em dg ao longo do tempo, sob diversas intensidades de desbastes realizados aos 3 anos de idade, foi simulado e representado na Figura 5, onde pode ser observado como, na medida em que as densidades foram maiores, os dg foram menores, gerando uma diferença diamétrica cada vez maior ao longo do tempo entre densidades.

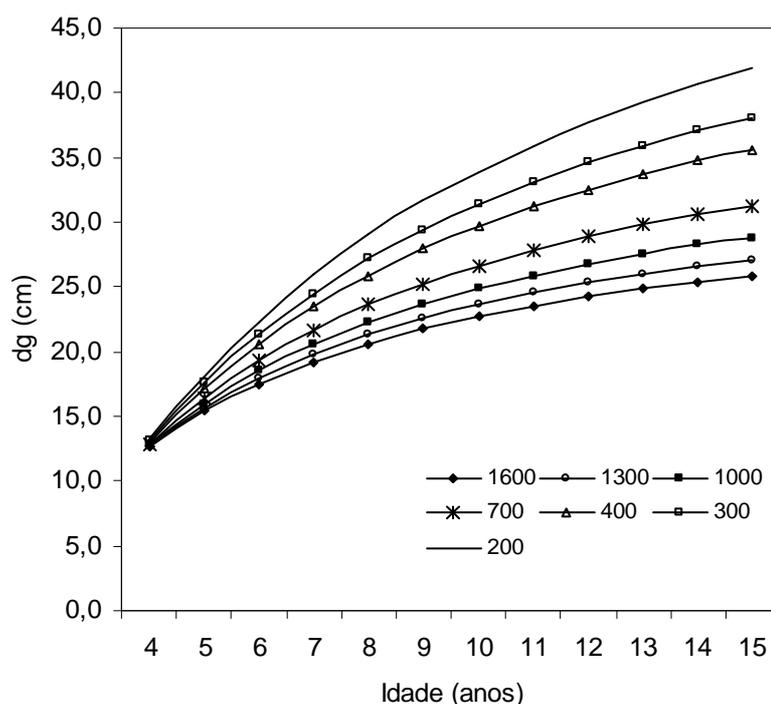


Figura 5 – Simulação do crescimento em dg (cm) em função da idade (anos) para diferentes densidades de árvores/ha originadas pela realização de um desbaste pré-comercial, aos 3 anos de idade, sem podas, para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

As diferenças crescentes observadas na Figura 5 podem ser explicadas pelos diferentes níveis de concorrência existentes entre as árvores, sendo maior nas densidades maiores. Os valores do dg alcançados, aos 15 anos de idade, variaram de 25,9 cm (1600 árvores/ha) até 41,8 cm (200 árvores/ha). A

diferença obtida entre esses valores foi 61,4 % sobre o valor de dg de 1600 árvores/ha.

Resultados similares aos encontrados neste estudo foram obtidos por Crechi et al. (2005) para *Pinus taeda*, aos 15 anos de idade, na província de Misiones, Argentina, que ao avaliarem diversos tratamentos de desbastes obtiveram que a testemunha sem desbaste e densidade inicial de 1736 árvores/ha apresentou um diâmetro médio de 24,4 cm. Já os tratamentos com desbastes realizados a cada 2 anos, removendo 33 e 66 % da área basal, apresentaram diâmetros de 30,3 cm e de 46,1 cm, respectivamente. Os tratamentos com desbastes contavam com 462 e 100 árvores/ha aos 15 anos de idade. Também foi apresentado que o tratamento com desbaste de 66 % da área basal e desbastes realizados a cada 6 anos apresentou 189 árvores/ha aos 15 anos de idade e um diâmetro médio de 39,3 cm, sendo as respostas do *Pinus taeda* a diferentes graus de competição muito similares no presente estudo.

Comparando os resultados obtidos com a citação realizada no parágrafo anterior foi possível observar que, embora as diferenças máximas atingidas em dg (cm) tenham sido elevadas, seria possível atingir maiores valores se o número de árvores/ha fosse inferior a 208 plantas, conseqüentemente, pode-se inferir que as 208 plantas/ha estavam competindo por recursos, tais como luz, água e nutrientes.

O estudo realizado por Sayer et al. (2004) em um plantio de *Pinus taeda* de 17 anos no estado de Louisiana, nos Estados Unidos, permitiu observar que os tratamentos sem desbaste (2990 árvores/ha) apresentaram um DAP de 15 cm, enquanto o tratamento com desbastes realizados aos 7 (749 árvores remanescentes/ha) e 14 anos (31 % do máximo valor de Índice de densidade de Reineke para *Pinus taeda*) apresentou um DAP médio de 23 cm. Os desbastes foram efetivos em mover a distribuição diamétrica para as maiores classes, gerando produtos para serraria, enquanto que, no tratamento sem desbastes, os produtos obtidos foram para polpa. Ao compararem-se esses resultados com os do presente estudo, pode-se inferir que, além das diferenças nas respostas aos desbastes, os diferentes locais e tempos de execução dos desbastes influem nas respostas de crescimento em diâmetro.

Tendências similares às encontradas no presente estudo foram apresentadas por Leite et al. (2006), ao avaliarem o efeito do espaçamento no crescimento de *Pinus taeda* até os 14 anos de idade, no estado de Santa Catarina. Os autores verificaram que quando a densidade foi de 1333 árvores/ha, o dg alcançou um valor de 24,1 cm sendo este valor inferior em 10,4 % com relação ao dg simulado no presente estudo para 14 anos e 1300 árvores/ha. Os pesquisadores observaram, ao igual que neste estudo, que a estagnação do crescimento em diâmetro iniciou mais cedo nos menores espaçamentos, uma vez que esse crescimento foi substancialmente afetado pela densidade. As maiores taxas de crescimento foram obtidas nos espaçamentos mais amplos.

Também, as respostas de *Pinus taeda* a diferentes espaçamentos foram estudadas por Harms et al. (2000) no Hawaii, onde foram observadas tendências similares às apresentadas neste estudo para o crescimento em dg. Aos 20 anos de idade, os diâmetros médios obtidos foram de 24,9 cm para uma densidade inicial de 1615 árvores por hectare e de 32,7 cm para 746 árvores/ha.

Os pesquisadores Sanquetta et al. (2003), estudando o crescimento e a produção de *Pinus taeda* com 12 anos de idade sob diferentes espaçamentos iniciais de plantio, concluíram que os maiores espaçamentos conferem um aumento acentuado no DAP, ao passo que a variável altura total não foi afetada pela densidade. Por outra parte, observaram que quanto menor foi a densidade, também foram menores a altura de inserção dos primeiros galhos e a porção volumétrica livre de nós. Para as densidades de 1428 e 909 árvores/ha, os valores médios de DAP foram de 20,7 e 24,0 cm, respectivamente. Essa variação foi semelhante, mas inferior, à encontrada no presente estudo entre as densidades de 1666 e 833 árvores/ha sendo provável que, a causa disto seja a maior variação de árvores/ha.

4.1.1.1 Validação do modelo

Os valores observados e estimados pelo modelo, nos três cenários estudados, podem ser observados nas Figuras, 6, 7 e 8. Nas três situações apresentadas os pontos (x, y) originados pelos valores observados e estimados, durante o período de crescimento de 3 a 15 anos, apresentam uma tendência linear devido à similitude entre ambos valores em toda a amplitude considerada para o dg.

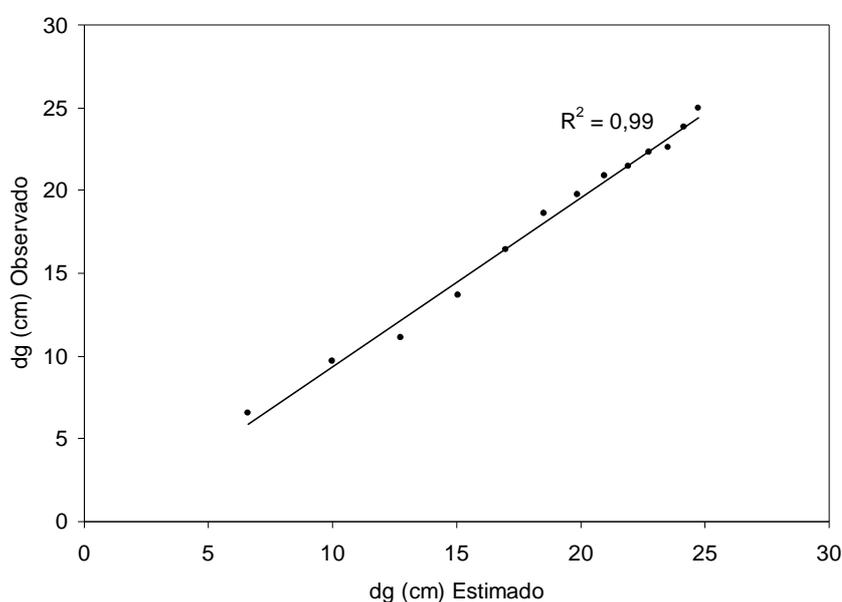


Figura 6 – Diâmetro da árvore de área basal média observado vs estimado para 1296 árvores/ha, 30 % de copa remanescente (CR30) e 2 anos de poda (NP2) para *Pinus taeda*, num período de 3 a 15 anos, Corrientes, Argentina.

Na Figura 6 apresentam-se os valores observados e estimados pelo modelo para o cenário de plantio de 1666 árvores/ha e desbaste para 1296 árvores/ha, aos 3 anos de idade, com realização de desrama deixando 30 % da copa (poda severa) durante 2 anos, para *Pinus taeda* no mesmo sitio do experimento em avaliação. A similaridade dos valores observados e os estimados pelo modelo pode ser visualizada na figura.

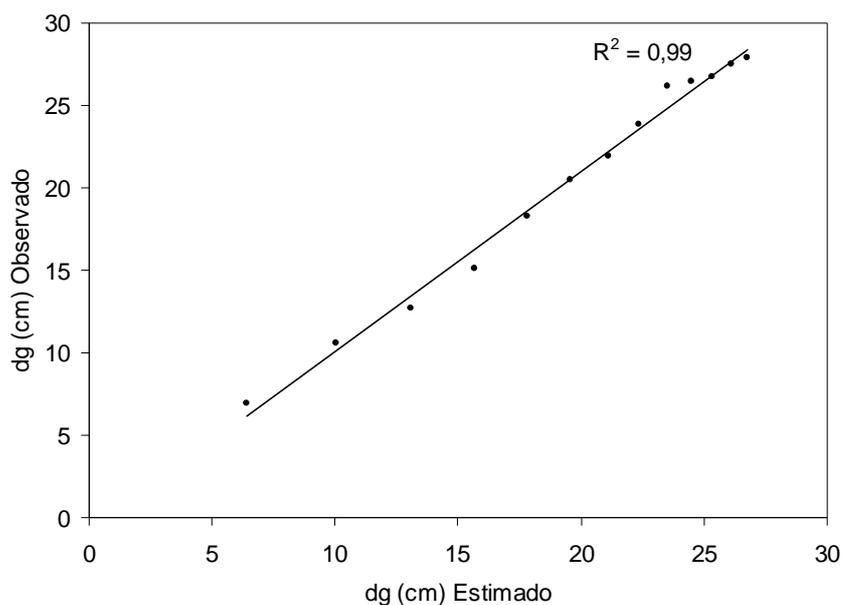


Figura 7 – Diâmetro da árvore de área basal média observado vs estimado para 926 árvores/ha, 30 % de copa remanescente (CR30) e 2 anos de poda (NP2) para *Pinus taeda*, num período de 3 a 15 anos, Corrientes, Argentina.

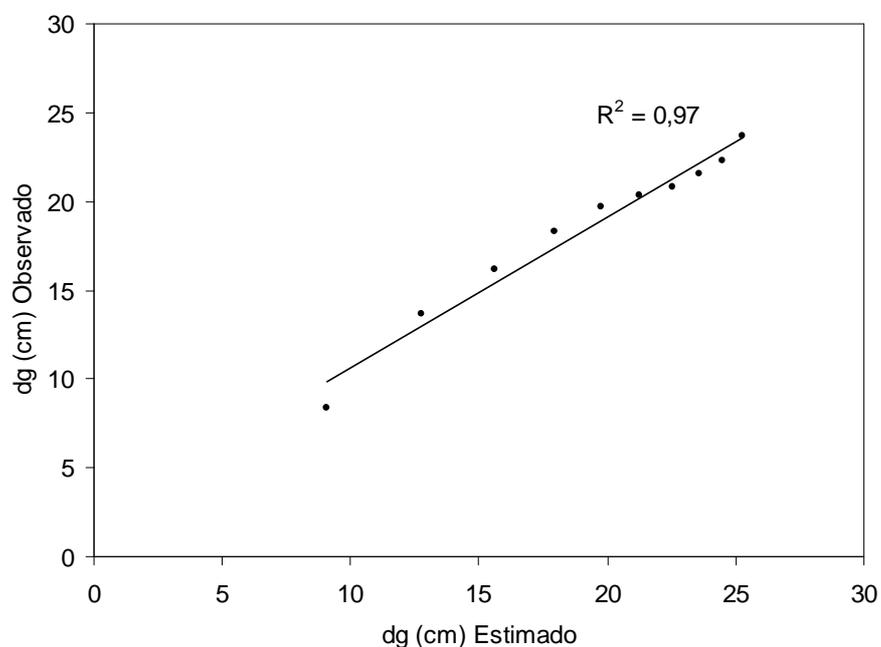


Figura 8 – Diâmetro da árvore de área basal média observado vs estimado para 1323 árvores/ha, sem poda (CR100) para *Pinus taeda*, num período de 3 a 15 anos, Corrientes, Argentina.

Os resultados do teste de validação presentes na Tabela 12 indicam que os valores de χ^2 foram todos não significativos, indicando não haver diferença estatística significativa com 99 % de confiabilidade na distribuição dos valores observados na amostra de validação e dos valores estimados pelo modelo.

Os valores obtidos de BIAS; BIAS %; D; D% e e%, apresentados na Tabela 12, indicaram que os modelos podem ser usados devido a sua elevada precisão, sendo o maior valor de desvio médio absoluto em percentagem de 5,91 %.

Da análise do D%, pode-se observar que, nos cenários 1 e 3, o modelo subestimou, enquanto no caso do cenário 2, o modelo superestimou.

Tabela 12 – Resultados dos testes de validação do modelo geral ($\text{Indg} = B_0 + B_1 t^{-1}$) para estimação do dg (cm) em três cenários de manejo para plantios de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes.

Cenário	Descrição	Tendência absoluta (BIAS)	Tendência relativa (BIAS %)	Desvio médio (D)	Desvio médio relativo (D%)	Desvio médio absoluto em percentagem (e%)	Chi-quadrado (χ^2)
1	1296-CR30-2NP	-0,47	-2,58	-0,03	-3,23	3,46	0,44 ns
2	926-CR30-2NP	0,94	4,86	0,04	4,14	5,24	0,95 ns
3	1323-sem poda	-0,74	-3,85	-0,04	-3,54	5,91	0,78 ns

Sendo: $B_0 = 5,7312 - 0,3080\ln\text{AR} + 0,00053\text{CR}$; $B_1 = -12,0219 - 33,3441/\text{CR} - 0,0188\text{NP}^2 + 1,151\ln\text{AR}$; dg= diâmetro da árvore de área basal média (cm); t = idade (anos); ns = não significativo.

4.1.2 Número de árvores por hectare

Nas densidades de 208 e 416 árvores/ha, foi observado que não existiu mortalidade por competição até os 15 anos de idade, enquanto que, nas densidades de 1666 e 833 árvores/ha, a partir dos 10 anos de idade, foi possível observar uma queda contínua do N ao longo do tempo.

Os coeficientes e as estatísticas do modelo usado para estimar o N em função do dg para 1666 e 833 árvores/ha são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Coeficientes e estatísticas do modelo $\log N = b_0 + b_1 \log dg$ para as densidades de 1666 e 833 árvores/ha para *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

Número de árvores/ha	b_0	b_1	R^2	CV (%)	F
1666	5,14031	- 1,51553	0,97	0,21	144,86
833	3,72749	- 0,59187	0,98	0,08	232,94

Em que: b_0 = Coeficiente linear; b_1 = Coeficiente angular; R^2 = Coeficiente de determinação; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado. N = Número de árvores/ha; dg = diâmetro da árvore de área basal média (cm).

Na Figura 9, são apresentados os valores de N por idade para cada grupo de densidade estudado, considerando os valores médios observados até os 10 anos de idade nas densidades de 1666 e 833 árvores/ha e os modelados a partir de essa idade. Nas densidades de 416 e 208 árvores/ha, os valores representados correspondem aos valores médios observados dos tratamentos.

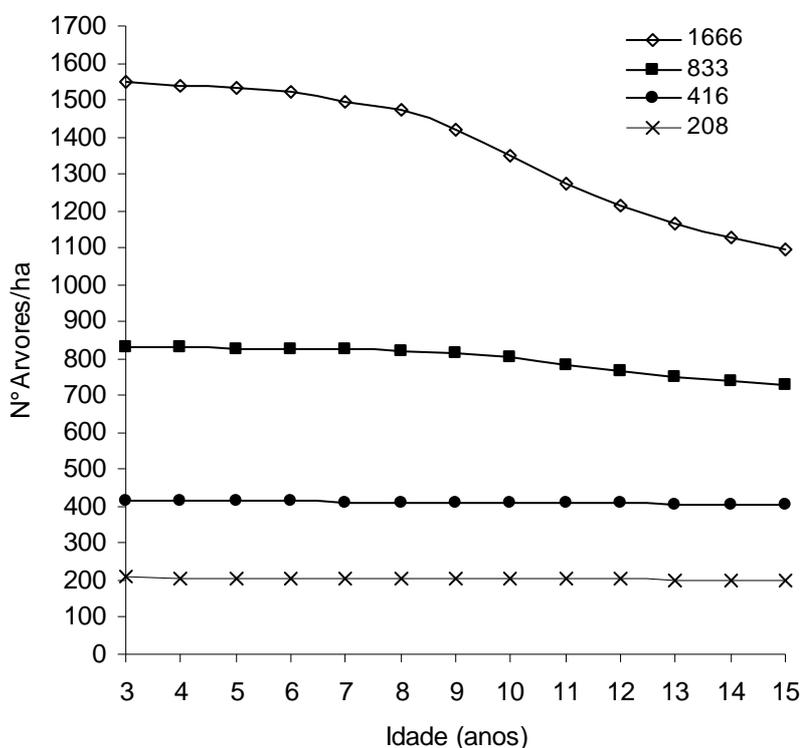


Figura 9 – Número de árvores por hectare em função da idade para as quatro densidades de árvores/ha estudadas num experimento de *Pinus taeda* localizado no nordeste de Corrientes, Argentina, com desbaste pré-comercial realizado aos 3 anos de idade, e densidade inicial de 1666 árvores/ha.

Resultados muito similares foram obtidos por Crechi et al. (2005), para *Pinus taeda*, na província de Misiones. Os pesquisadores mostraram que, aos 15 anos de idade, o plantio de 1736 plantas/ha iniciais alcançou 1080 árvores vivas/ha com um DAP médio de 24,4 cm. As curvas apresentadas na Figura 9 permitem observar que o tratamento de 1666 plantas por hectare iniciou a mortalidade a partir dos 6 anos, aumentando a taxa da mesma nos anos posteriores, para atingir uma importante taxa de mortalidade a partir dos 10 anos de idade devido à alta concorrência entre indivíduos. Na densidade de 833 plantas/ha, ocorreu mortalidade a partir dos 10 anos com uma taxa menor, e as densidades de 416 e 208 árvores por hectare não apresentaram mortalidade.

4.1.3 Área basal (G)

A área basal por hectare (G) estimada em função do dg e do N, para as 30 combinações existentes no experimento, está apresentada na Figura 10. Na mesma, observa-se que à medida que o número de árvores por hectare, após o desbaste pré-comercial, diminuiu, a área basal por hectare também diminuiu. Por outro lado, foi visível o efeito das podas no crescimento em G, sendo este menor quando aumentou a percentagem de copa removida, bem como quando aumentaram os anos com poda.

Na densidade de 1666 árvores/ha, as curvas de crescimento apresentaram uma inclinação pronunciada entre os 3 e 9 anos de idade, começando a diminuir a partir dos 10 anos e atingindo uma inclinação muito leve nas idades posteriores. O achatamento da curva aconteceu quando os valores encontraram-se na faixa de 35 até 54 m²/ha. À medida que diminuiu o N, foi menos visível a mudança na inclinação da curva, pois esses tratamentos estavam ainda com valores baixos de área basal e mantinham uma taxa maior de crescimento. O valor máximo obtido para 1666 árvores /ha foi de 56,3 m²/ha aos 15 anos de idade.

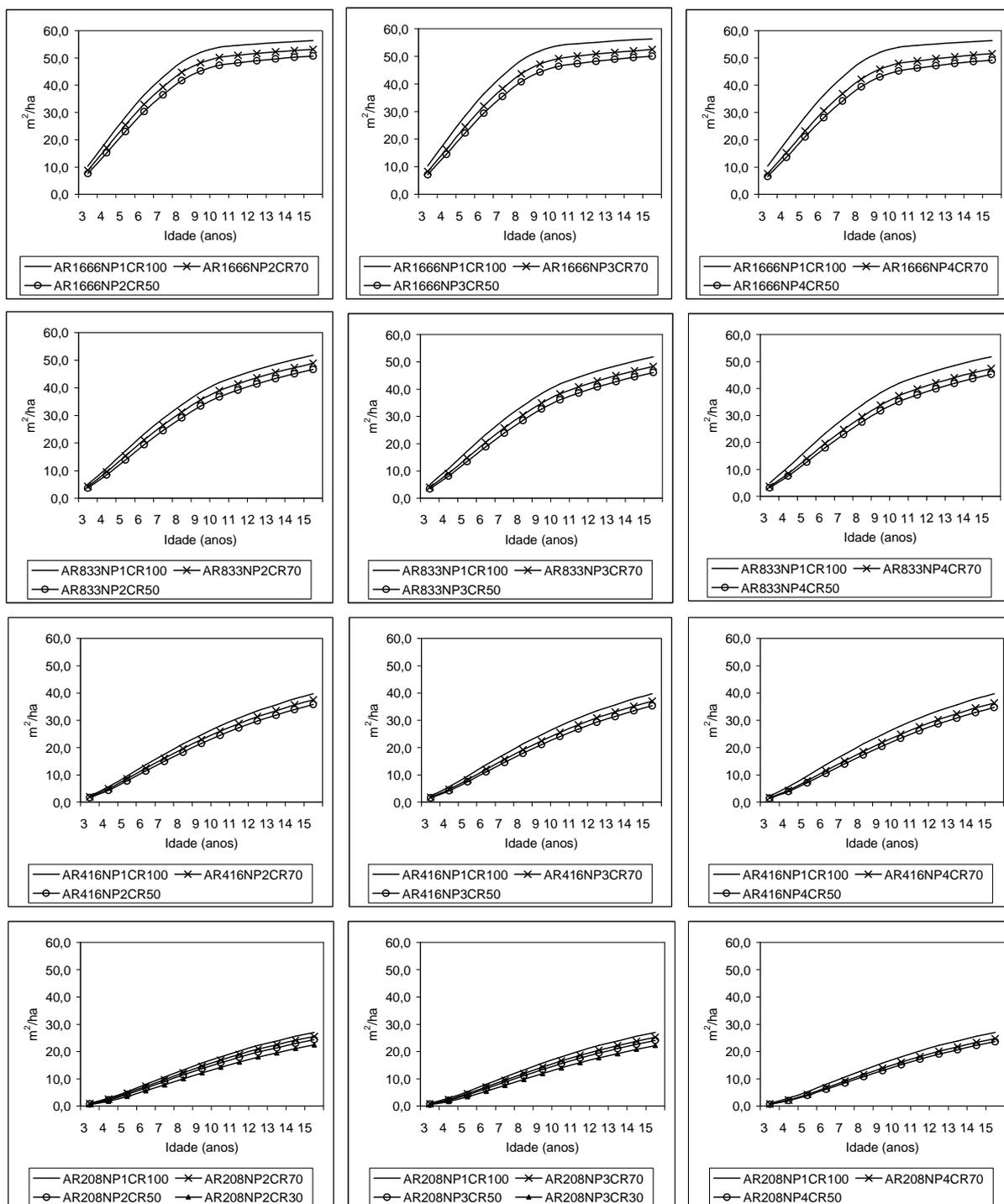


Figura 10 – Área basal em função da idade para 30 combinações provenientes do número de árvores/ha (AR), número de podas (NP) e % de copa remanescente, após a poda (CR) em plantio de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

Ao avaliar as áreas basais das diferentes densidades, foi observado que a densidade de 1666 árvores/ha atingiu um valor quase estável e que o tratamento com 833 árvores/ha alcançou um resultado próximo daquele, sendo

provável que essa densidade maximize sua área basal nos próximos anos. Por outro lado, as densidades de 416 e 208 árvores/ha encontraram-se distantes daquele valor, podendo-se inferir que provavelmente não será atingido no turno de rotação convencional da região, próximo aos 20 anos, o valor de área basal máxima, uma vez que o sítio estará subocupado durante a rotação do plantio.

Resultados obtidos por Leite et al. (2006), para um plantio de *Pinus taeda* com um espaçamento inicial de 2 m x 3 m, estabelecido no planalto de Santa Catarina, mostraram que os valores de área basal alcançaram valores de 60 m²/ha, aos 14 anos de idade, sendo este valor levemente superior ao encontrado no presente estudo. Já Crechi et al (2004) atingiram, para *Pinus taeda* em Misiones, Argentina, com alta densidade de plantação, um valor de área basal de 52 m²/ha aos 17 anos de idade. Esse resultado encontra-se muito próximo dos valores obtidos no presente estudo, aos 15 anos de idade. A diferença observada, provavelmente, deve-se à diferença dos materiais genéticos usados nos experimentos e variações entre os sítios e tratamentos culturais aplicados. Também Crechi et al. (2005) encontraram como resultado do experimento, aos 15 anos de idade, uma área basal próxima a 50,5 m²/ha para o tratamento de máxima densidade. Esses resultados mostraram um crescimento inferior em 11,5 % ao obtido no presente estudo, sendo o máximo valor de área basal encontrado, no presente trabalho, de 56,3 m²/ha.

Por outro lado, os pesquisadores Keller et al. (2004), ao avaliarem as respostas de *Pinus taeda* no Norte de Misiones, Argentina, até os 11 anos de idade, a tratamentos de podas e desbastes, obtiveram respostas muito semelhantes às do presente estudo, com área basal por hectare variando entre 44 m²/ha e 15 m²/ha, para as densidades de 1960 e 245 árvores/ha, respectivamente. A semelhança do tipo de resposta entre os estudos permite verificar que a espécie *Pinus taeda* responde de maneira similar na região compreendida entre o norte de Corrientes e norte de Misiones a tratamentos de desbaste e poda, com variações que poderão ser explicadas em função do material genético, condições climáticas, sítios e tratamentos culturais entre outras variáveis.

4.1.4 Desvio padrão do diâmetro a altura do peito (dp)

Do procedimento de regressão “stepwise” resultou o modelo $\text{Indp} = b_0 + b_1 \text{Int} + b_2 N^2 + b_3 \text{dg}$, por mostrar as melhores estatísticas e distribuição de resíduos. Na Tabela 14, pode-se observar que o mesmo apresentou um coeficiente de determinação de 0,92, explicando adequadamente o comportamento do desvio padrão do dg (dp) em função da idade (t), do número de árvores presentes (N) e do diâmetro da árvore de área basal média (dg). O modelo obtido apresentou as mesmas variáveis independentes para estimar o desvio padrão do dg que o alcançado com boa precisão por Zeide e Zhang (2000), para plantios de *Pinus taeda* nos Estados Unidos de Norte América cobrindo a distribuição natural da espécie com 2502 parcelas em talhões com diversas intensidades de desbaste.

Tabela 14 – Estatísticas do modelo $\text{Indp} = b_0 + b_1 \text{Int} + b_2 N^2 + b_3 \text{dg}$ para estimação do desvio padrão do diâmetro para *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

b_0	b_1	b_2	b_3	R^2	CV (%)	F
-0,5058	0,2634	254 E-9	0,0376	0,92	11,2	1560,1

Em que: Indp = logaritmo neperiano do desvio padrão do diâmetro (cm); Int = logaritmo neperiano da idade (anos), N = número de árvores presentes/ha e o dg = diâmetro da árvore de área basal média (cm); b_0 = Coeficiente linear; b_1 ; b_2 e b_3 = Coeficientes angulares; R^2 = Coeficiente de determinação; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado.

Os resíduos do modelo, presentes no Apêndice J, apresentaram uma distribuição balanceada ao longo do eixo X correspondente ao valor estimado do logaritmo neperiano do desvio padrão do diâmetro.

Os coeficientes do modelo indicam que o desvio padrão do diâmetro aumenta com o aumento da idade, do número de árvores e do dg. Poderia se inferir que, com o aumento das variáveis mencionadas haverá uma maior concorrência entre os indivíduos e isto gerará uma maior variação no diâmetro das árvores e conseqüentemente maior desvio padrão.

4.1.5 Freqüência por classe diamétrica

Dos testes de aderência e ranqueamento realizados e apresentados nos Apêndices F, G, H e I, encontrou-se que a distribuição mais representativa para toda a população é a distribuição normal, alcançando em 58 % das avaliações o primeiro lugar no ranqueamento, e em 73 %, quando foi considerado o primeiro e segundo lugares do ranking. Esses resultados coincidiram com os apresentados por Floriano (2008), que avaliou a distribuição diamétrica em plantios de *Pinus elliottii* de 11 a 25 anos de idade, no Sudeste do Rio Grande do Sul.

Com os valores médios dos diâmetros provenientes dos modelos apresentados em 4.1 e o desvio padrão do diâmetro obtido do modelo descrito em 4.4, foram calculadas as distribuições diamétricas para diversas idades.

Na Figura 11, encontram-se as distribuições para as idades de 7, 9, 11, 13 e 15 anos, nas densidades de 1666, 833, 416 e 208 árvores por hectare, presentes após o desbaste pré-comercial realizado aos 3 anos de idade. Na mesma, pode ser observado que, na medida em que aumenta a idade, o diâmetro médio aumenta e a curva apresenta-se mais achatada. Também pode-se observar como para uma mesma idade, a densidade com maior diâmetro médio é a de 208 árvores/ha seguida de 416 e 833 árvores/ha respectivamente e sendo a de 1666 árvores/ha a densidade com maior concorrência entre as árvores e conseqüentemente a de menores diâmetros médios.

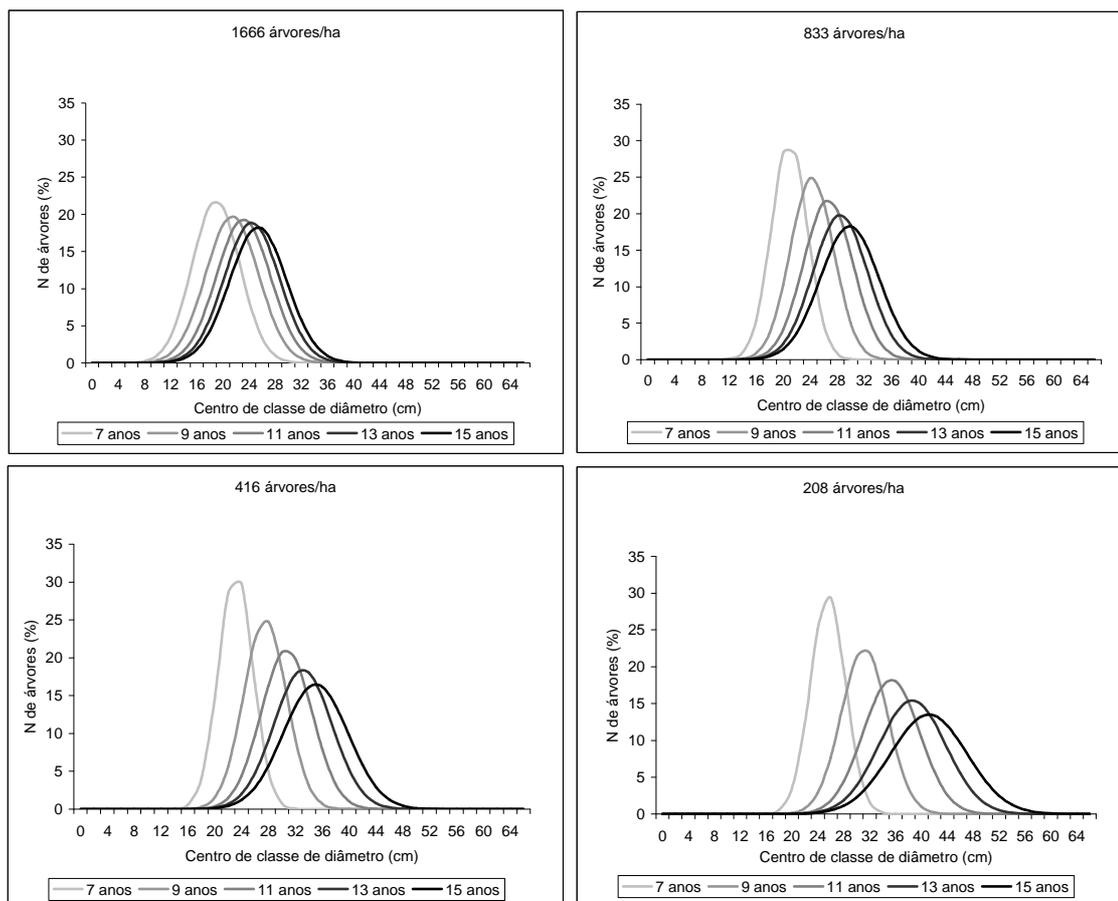


Figura 11 – Distribuição de diâmetros para diferentes densidades de árvores/ha e idades para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

4.1.6 Diagrama de manejo de densidade

O modelo ajustado para estimar o número de árvores em função do dg, apresentou um coeficiente de determinação elevado (0,89) e um baixo coeficiente de variação (1,28%), os coeficientes e as estatísticas do modelo detalham-se na Tabela 15. Na Figura 12, pode ser observada a nuvem de pontos considerada (pares de valores: $\log N$, $\log dg$), bem como a linha resultante do modelo ajustado, sendo possível visualizar como a linha de valores estimado passa pela nuvem de pontos observados.

Tabela 15 – Estatísticas do modelo $\log N = b_0 + b_1 \log dg$ para estimação do número de árvores por ha em função do dg para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Modelo	b_0	b_1	R^2	CV (%)	F
$\log N = b_0 + b_1 \log dg$	5,933	-2,046	0,89	1,28	70,9

Em que: $\log N$ = logaritmo em base 10 do número de árvores por hectare; $\log dg$ = logaritmo em base 10 do diâmetro da árvore de área basal média; b_0 = Coeficiente linear; b_1 = Coeficiente angular; R^2 = Coeficiente de determinação; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado.

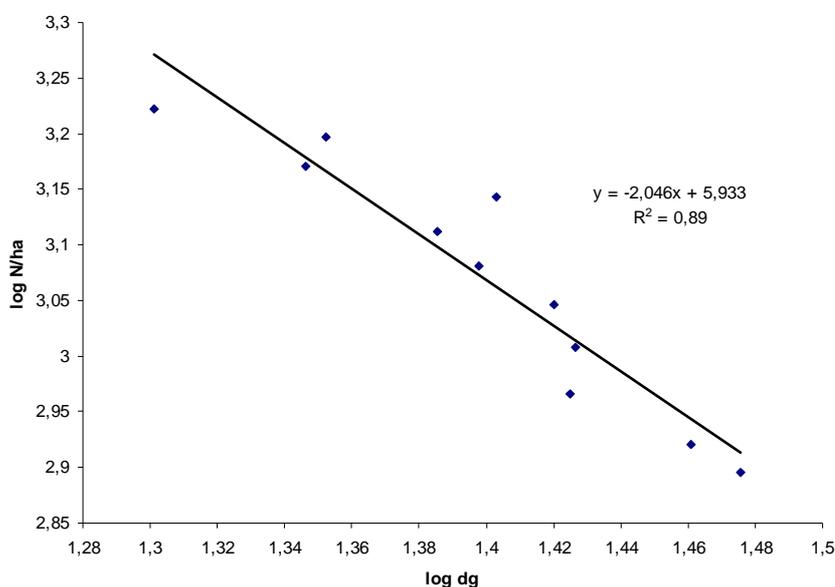


Figura 12 – Valores observados dos pares de valores (N, dg) com transformação logarítmica e modelagem para estimar o logaritmo do número de árvores por hectare em função do logaritmo do diâmetro da árvore de área basal média para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

O par de valores ($\log N$; $\log dg$) correspondente a um dg de 25 cm, foi (3,07; 1,4), o ponto pode ser observado na Figura 13. Usando o coeficiente angular (-1,605) definido por Reineke (1933) obteve-se o coeficiente b_0 com um valor de 5,316.

A linha de máxima densidade, e as linhas correspondentes a 55 % (limite superior de manejo); 40 % (limite inferior de manejo) e 25 % (fechamento de copas) do número de árvores/ha de linha de máxima densidade estão representadas na Figura 13.

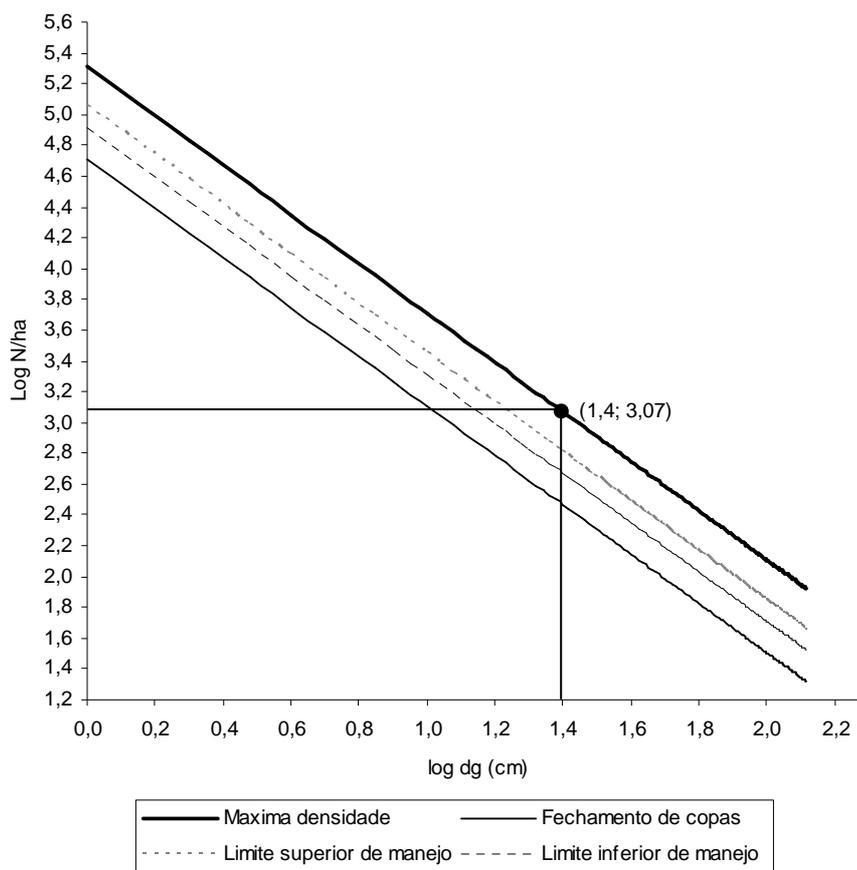


Figura 13 – Representação gráfica do logaritmo do número de árvores por hectare em função do logaritmo do dg para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Na Figura 14, apresenta-se o dendrograma obtido, no mesmo pode ser visualizado como com maiores dg a quantidade de árvores/ha diminuiu. Também pode ser observado que, na linha de máxima densidade para o dg de 25 cm, o N correspondente foi 1181, sendo este o índice de densidade de Reineke (IDR). O valor apresentado foi inferior ao obtido por Schneider (2008) para a mesma espécie no Sul do Brasil, sendo este de 1438 e inferior também ao encontrado por Samuelson et al. (2010) para *Pinus taeda* no Havaí, sendo o IDR de 2100. Por outra parte, Crechi et al. (2005) apresentaram para o Nordeste da Argentina valores muito similares aos obtidos no presente estudo, chegando a 1080 árvores/ha com um DAP de 24,4 cm, aos 15 anos de idade.

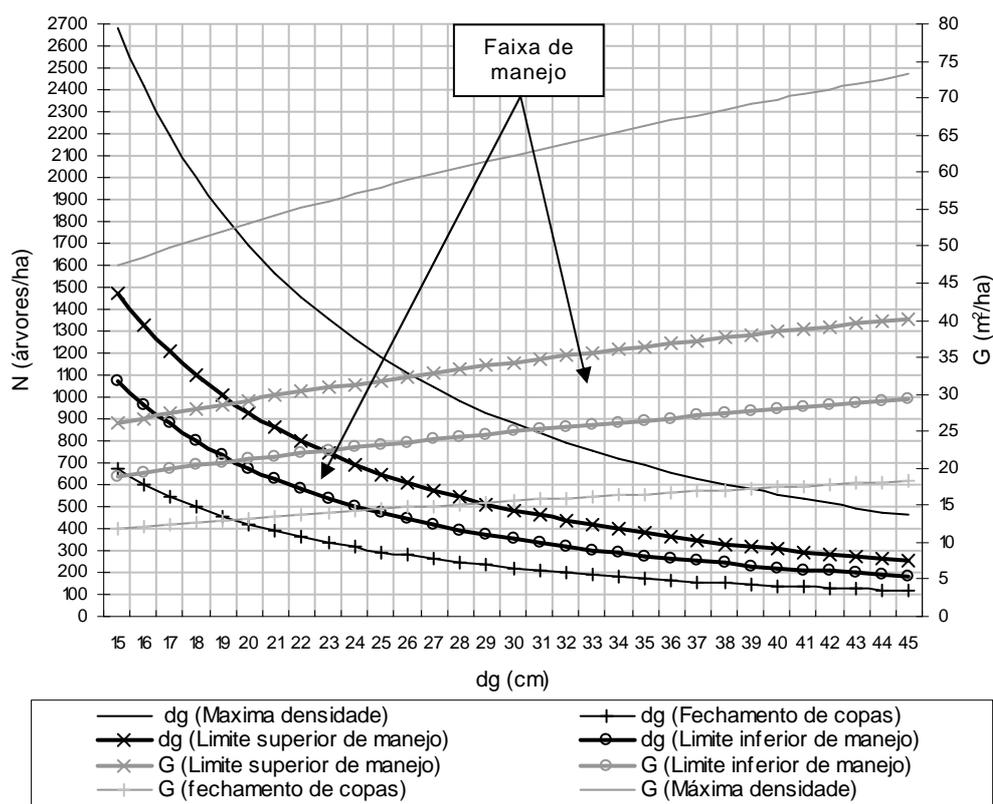


Figura 14 – Diagrama de densidade determinado para plantios de *Pinus taeda* no Nordeste da Argentina.

A faixa de manejo teórica (Figura 14) apresentada para a relação entre o dg e o N, mostra claramente os valores de número de árvores/ha em função do dg que devem ser considerados se o objetivo da produção é o máximo aproveitamento, evitando um povoamento superestocado ou subestocado. Quando a faixa de manejo foi representada estimando área basal, observou-se que a mesma aumentou com o incremento do dg, e que nos dg inferiores, a área basal variou entre 19 m²/ha e 26,1 m²/ha, e nos dg superiores, entre 29,3 m²/ha e 40,2 m²/ha.

A faixa de manejo definida com limites superior e inferior de área basal apresentou uma tendência similar às áreas basais limites e objetivos após desbaste definidas por Crechi et al. (2000) para atingir o máximo incremento em área basal, conforme a idade do plantio de *Pinus taeda*, no Norte da Argentina. A área basal limite nas idades de 5 a 7 anos foi de 23 m²/ha; no período de 7 a 9 anos de 29 m²/ha; entre os 9 e 11 anos foi de 32 m²/ha; e entre os 11 e 13 anos, de 34 m²/ha. Esses valores são similares aos obtidos

no limite superior da faixa de manejo. No Apêndice ZD são apresentados os valores tabelados de N/ha e área basal/ha das linhas A (Máxima densidade), B (limite superior de manejo), C (limite inferior de manejo) e D (fechamento de copas) para cada dg e no apêndice ZE, apresenta-se outro diagrama de manejo de densidade apresentando as faixas superestocada, de manejo e subestocada. A faixa de manejo encontra-se entre as faixas de povoamento superestocado e subestocado, na mesma pode ser observado que para um dg de 15 cm não seria conveniente superar os 1475 árvores/ha (26,1 m² de G) e não ter menos de 1073 árvores/ha (11,8 m² de G), para um dg de 25 cm o valor superior da faixa de manejo é 650 árvores/ha (31,9 m² de G) e o inferior 472 árvores/ha (23,2 m² de G) e já para um dg de 35 cm os valores extremos variam entre 379 árvores/ha (36,4 m² de G) e 275 árvores/ha (26,5 m² de G).

4.1.7 Altura Total (h)

Na Tabela 16, destaca-se o modelo 4, escolhido em função das estatísticas apresentadas e a distribuição dos resíduos observada. Nos Apêndices L e M, podem ser visualizados o comportamento do modelo escolhido e os resíduos obtidos, respectivamente. Os dados de altura apresentados no Apêndice L permitem observar que essa variável apresentou uma nuvem de pontos distribuída regularmente ao longo do tempo. A análise da covariância, para avaliar o efeito das desramas e desbastes sobre o crescimento em altura, não mostrou significância para o intercepto. Com base nesses resultados, foi definido trabalhar com um modelo único para a altura total.

Diferentes respostas têm sido obtidas em pesquisas de poda e desbastes de plantios de *Pinus sp.* Crechi et al. (2005), ao avaliarem um experimento de desbastes de *Pinus taeda*, aos 15 anos de idade, não encontraram diferenças significativas em altura média, ao igual que no presente estudo, porém observaram uma tendência de ocorrer menores alturas médias com desbastes mais intensos. Um resultado semelhante foi encontrado

por Sanquetta et al (2003), aos 12 anos de idade e por Leite et al. (2006) ao estudar o efeito do espaçamento na altura das árvores de *Pinus taeda*.

Tabela 16 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a altura média (m) em função da idade (anos) para *Pinus taeda* no nordeste da Argentina.

Nº	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	R ² _{aj.}	CV (%)	F
1	$\ln h = b_0 + b_1 (1 / t)$	3,5178	-6,24187		0,96	3,9	12975,0
2	$\ln h = b_0 + b_1 t + b_2 (1 / t)$	2,96253	0,0366	-4,6255	0,97	3,2	97571,0
3	$\ln h = b_0 + b_1 \ln t + b_2 t^2$	0,2321	1,2388	-0,00189	0,97	3,1	102331,0
4	$\ln h = b_0 + b_1 \ln t + b_2 t$	0,1427	1,4650	-0,0626	0,97	3,1	103329,0
5	$\ln h = b_0 + b_1 \ln t$	0,5702	0,9919		0,96	3,6	148123,0
6	$\ln h = b_0 + b_1 \ln t + b_2 (1/t)$	1,8832	0,5536	-2,83810	0,97	3,1	101397,0
7	$\ln h = b_0 + b_1 (\ln t)^2$	1,5016	0,2478		0,92	5,1	73409,8

Em que: N° = Número do modelo; $\ln h$ = Logaritmo neperiano da altura média (m); t = Idade (anos); b_0 = Coeficiente linear; b_1 e b_2 = Coeficientes angulares; $R^2_{aj.}$ = Coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado.

Respostas diferentes à encontrada no presente trabalho foram obtidas por Sharma et al. (2006), que comparando tratamentos com e sem desbastes, obtiveram menores crescimentos em altura após o desbaste, nos primeiros anos, seguido de um maior incremento em idades mais avançadas, atingindo maior altura final o tratamento desbastado. Também Zhang et al. (1996); MacFarlane et al. (2000) e Sharma et al. (2002) estudaram diferentes espaçamentos, concluindo que a altura foi menos sensível ao espaçamento do que o diâmetro sendo que, os modelos apresentados pelos autores, estimaram maiores alturas nos maiores espaçamentos com diferenças de altura de 1 até 2 metros, aos 16 anos.

Diversos estudos sobre poda das árvores realizados no gênero *Pinus* têm mostrado resultados contrastantes. Mowat (1947) e Floriano (2004) não obtiveram diferença em altura entre árvores podadas e não podadas, estes resultados são semelhantes aos obtidos no presente trabalho. Por outro lado, Masatoshi e Velez Mesa (1992) alcançaram, após 4,5 anos de realização da poda, maiores alturas médias nos tratamentos podados, sendo que Machado

(1979) e Fassola et al. (2002) descreveram que, ao aumentar a severidade da poda, a altura das árvores foi menor, não coincidindo este tipo de respostas com a apresentada no presente estudo e sendo a idade de avaliação uma causa provável destas diferenças. Conforme Kozlowski (1963), os carboidratos armazenados e os produzidos recentemente são utilizados na produção de tecidos. Há provas consideráveis de que o crescimento em altura de muitas árvores deve-se primariamente à expensa dos carboidratos armazenados mais do que aos produzidos recentemente. Em contraste com o crescimento em altura, o crescimento em diâmetro depende da fotossíntese corrente. Essas diferenças podem ser as causadoras de maiores efeitos gerados pelas podas no crescimento em diâmetro, quando comparado com o crescimento em altura.

Na Figura 15, pode-se observar a altura total para cada idade estimada pelo modelo.

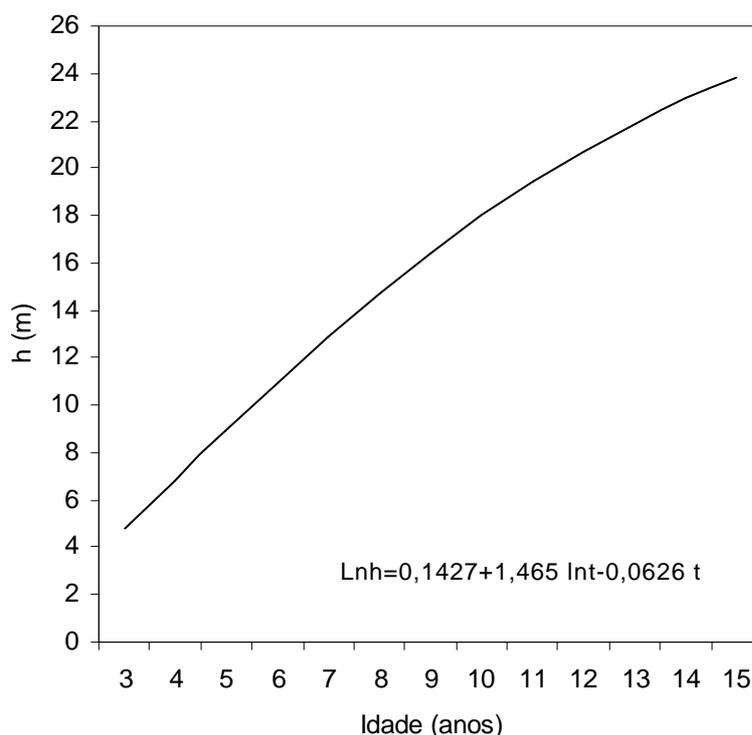


Figura 15 – Modelagem da altura total (h) em função da idade (t) para *Pinus taeda* na região Nordeste da província de Corrientes, Argentina.

A altura estimada pelo modelo, aos 15 anos, foi de 23,8 m. Considerando as relações entre as alturas médias e dominantes apresentadas

por Schneider et al. (2008) para *Pinus taeda*, pode-se inferir que o experimento encontra-se num índice de sítio próximo a 24,5 (idade índice 15 anos), sendo um sítio considerado de alta produtividade na região do estudo. Na figura, pode-se observar um incremento anual em altura de 2 metros até os 6 anos de idade seguido de um incremento decrescente com valores de 1,9 e 1,6 m/ano para as idades de 7 e 10 anos e de 1,4 e 0,9 para as idades de 11 e 15 anos.

4.1.8 Proporção de copa viva

A variação da proporção de copa em função do número de árvores remanescentes após o desbaste pré-comercial, da copa remanescente após a poda e do número de podas aplicados, pode ser observado na Figura 16. Também pode ser verificado que as testemunhas dos diferentes níveis de número de árvores/ha apresentam um comportamento quase linear decrescente a partir dos 6 anos de idade.

Da mesma forma, ficou evidenciado que os tratamentos desramados tendem a atingir o mesmo comprimento de copa que a testemunha ao longo do tempo, variando esse período em função do tipo de poda recebida.

Para analisar o especificado em parágrafos anteriores, foram realizadas análises da covariância (Apêndice K), os resultados mostraram que os tratamentos com maior número de desramas de frequência anual atingiram um valor de proporção de copa similar à testemunha em um tempo maior. No caso de 1666 árvores/ha com uma poda de 30 % de copa viva, observou-se que as árvores podadas por 2 anos atingiram valores de proporção de copa similares aos da testemunha aos 6 anos; as árvores podadas por 3 anos os atingiram aos 8 anos; e as árvores podadas por 4 anos os alcançaram aos 10 anos. Também foi possível observar que, quando os desbastes foram mais intensos, as árvores podadas demoraram mais anos para atingir o valor da testemunha sem poda, chegando a acontecer isso, no caso de 208 árvores por hectare e 50 % de remoção de copa viva durante 3 anos consecutivos, aos 13 anos de idade.

Observou-se ainda que, em geral, na medida em que a poda foi mais intensa, os tratamentos demoraram mais tempo em atingir o comprimento de copa da testemunha. Já nas maiores densidades, o tempo em que isso ocorreu foi menor.

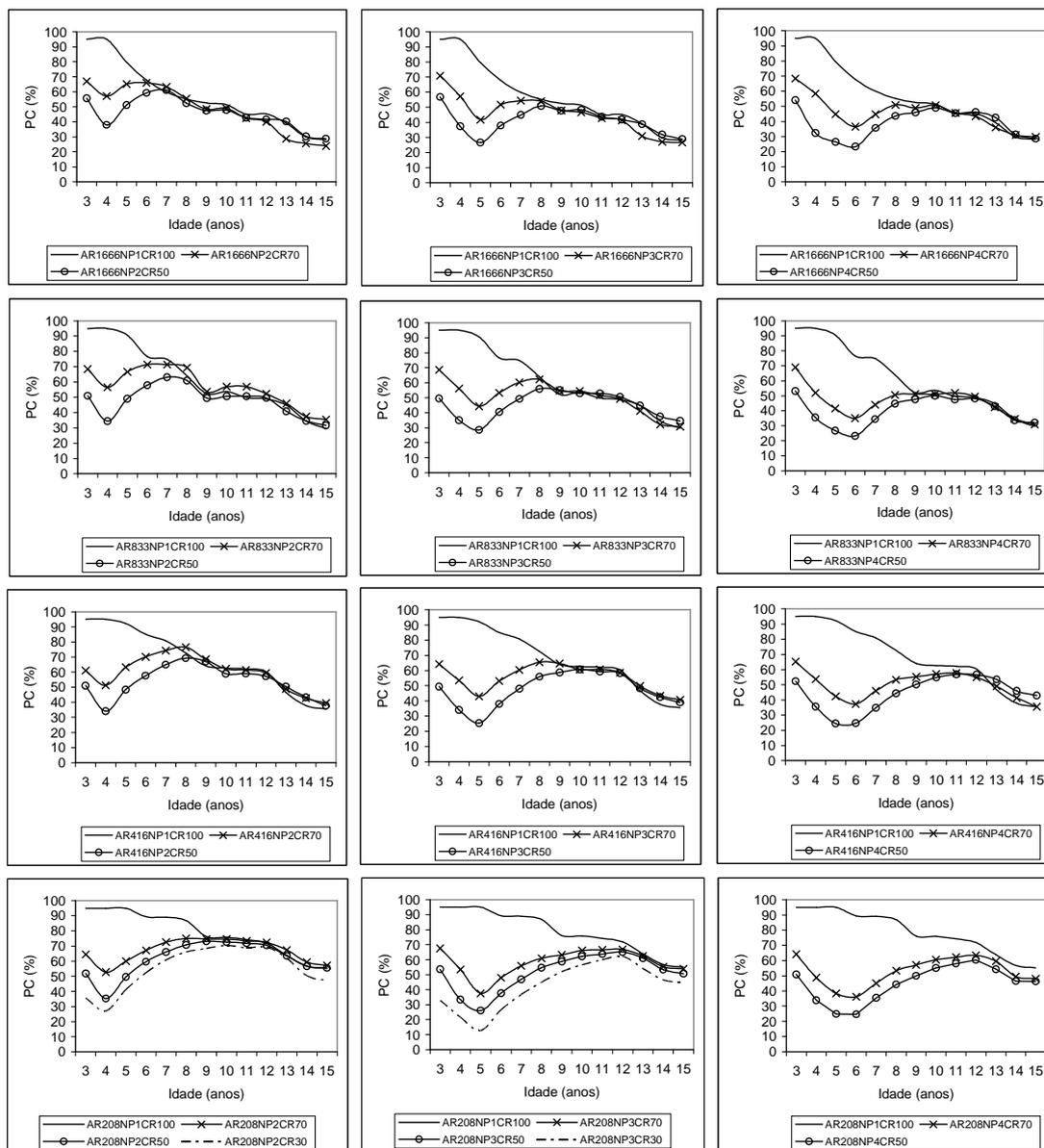


Figura 16 – Valores observados de proporção de copa (%) em função da idade para 30 combinações provenientes do número de árvores/ha (AR), número de podas (NP) e % de copa remanescente, após a poda (CR) em plantio de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

Considerando que, a entrada de luz no interior do talhão e o tempo de fechamento do dossel foram maiores ao serem intensificados os desbastes, pode-se inferir que, nos espaçamentos mais amplos, os galhos inferiores permaneceram vivos por mais tempo para começar a secar e morrer quando começou a faltar luz. Durante esse período, a copa das árvores foi crescendo em comprimento, pois, além de não haver mortalidade de galhos, houve crescimento em altura. Com o decorrer dos anos, os galhos inferiores morreram aproximando-se da altura de poda, dado que as alturas das árvores com e sem poda foram semelhantes.

De forma geral, pôde ser verificado que o período necessário para que o comprimento da copa das árvores nos tratamentos com desrama e desbaste se igualem com o da testemunha, aumentou com a intensidade dos desbastes e desrama.

Os modelos avaliados de comprimento de copa em função do tempo para as testemunhas sem poda, nas diferentes intensidades de desbaste, são apresentados na Tabela 17 destacando-se em negrito o modelo 1, escolhido em função das estatísticas apresentadas, e a distribuição dos resíduos observada. Nos Apêndices N e O, encontram-se o comportamento do modelo e os resíduos do mesmo, respectivamente.

Tabela 17 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a proporção de copa em função da idade para *Pinus taeda* no nordeste da Argentina.

Nº	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	R ² _{aj.}	CV (%)	F
1	ARCpc = b₀ + b₁ t	1,4143	-0,0499		0,52	15,5	673,25
2	ARCpc = b ₀ + b ₁ (1 / t)	0,4276	4,4694		0,49	15,9	600,16
3	ARCpc = b ₀ + b ₁ t ²	1,1678	-0,0023		0,51	15,6	653,82
4	ARCpc = b ₀ + b ₁ ln t	2,0282	-0,4924		0,51	15,6	655,39
5	ARCpc = b ₀ + b ₁ ln t + b ₂ t ²	1,6165	-0,2544	-0,0012	0,52	15,5	337,29
6	ARCpc = b ₀ + b ₁ (1/t ²)	0,6716	18,704		0,46	16,4	523,51

Em que: Nº = Número do modelo; ARCpc = Arcosseno da raiz quadrada da proporção de copa; t = Idade (anos); b₀ = Coeficiente linear; b₁ e b₂ = Coeficientes angulares; R²_{aj.} = Coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado; ns = Não significativo pelo teste de t.

Os coeficientes estimados do modelo para os tratamentos sem poda após terem sido detectadas diferenças significativas das inclinações pela ANACOVA podem ser observados na Tabela 18. Os valores do coeficiente angular b_1 aumentam na medida em que a densidade de árvores/ha diminui indicando uma menor inclinação das linhas ao diminuir a densidades de árvores/ha.

Tabela 18 – Coeficientes b_0 e b_1 do modelo $ARCpc = b_0 + b_1 t$ estimados para os tratamentos com diferentes densidades de árvores/ha, sem poda, para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Tratamentos	Árvores/ha	Coeficientes	
		b_0	b_1
T1	1666	1,4143	-0,0611
T8	833	1,4143	-0,0565
T15	416	1,4143	-0,0495
T22	208	1,4143	-0,0358

Em que: $ARCpc$ = Arcosseno da raiz quadrada da proporção de copa; t = Idade (anos); b_0 = Coeficiente linear; b_1 = Coeficiente angular.

Na Figura 17, apresentam-se as estimativas de proporção de copa em função da idade para as testemunhas de diferentes densidades de árvores por hectare após o desbaste pré-comercial. Pode se observar como as menores densidades apresentam as maiores proporções de copa ao longo do tempo e também como a diminuição da proporção de copa com a idade é mais acentuada nas maiores densidades.

Resultados semelhantes aos apresentados na Figura 17 foram obtidos por Sharma et al. (2002), ao avaliarem o efeito do espaçamento em plantios de *Pinus taeda*. Maiores espaçamentos mostraram maiores valores da relação (comprimento de copa/ altura total). Valores próximos a 45 % foram obtidos para 746 árvores/ha, aos 16 anos, sendo esse resultado levemente superior ao obtido com 833 árvores/ha no presente experimento. A mesma tendência foi apresentada por Zhang et al. (1996) para *Pinus taeda* até os 10 anos de idade.

Os comprimentos de fuste sem galhos vivos foram representados na Figura 18, mostrando como as maiores densidades apresentaram maiores comprimentos de fuste com galhos mortos e como, em geral, aumentaram

esses comprimentos com a idade, superando os 18 m, aos 15 anos, na densidade de 1666 árvores/ha.

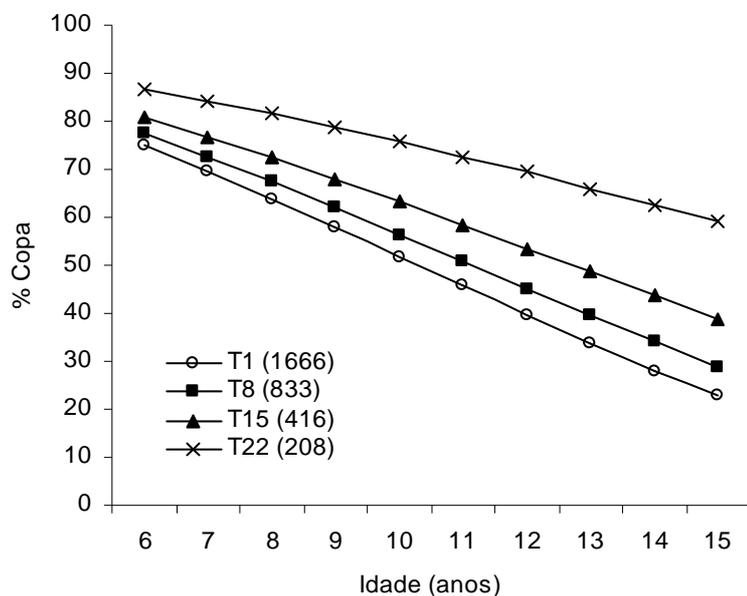


Figura 17 – Proporção de copa percentual no tempo para as testemunhas sem poda das diferentes densidades de árvores/ha após o desbaste pré-comercial em plantio de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

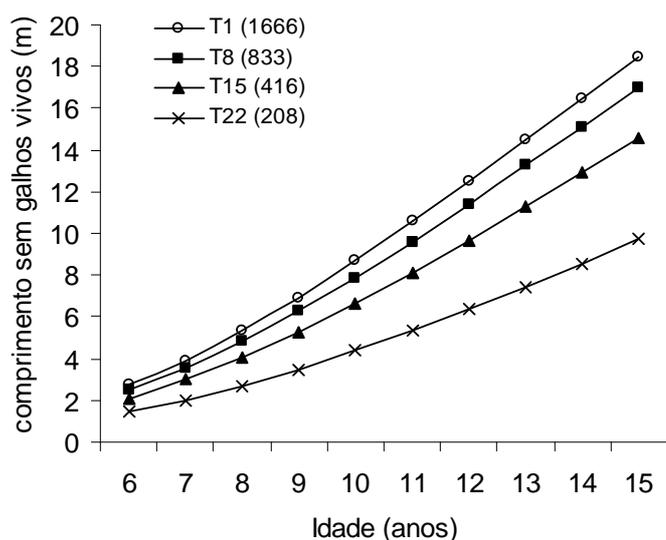


Figura 18 – Comprimento do fuste sem galhos vivos desde a base da árvore no tempo para as testemunhas sem poda das diferentes densidades de árvores/ha após o desbaste pré-comercial em plantio de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

As menores densidades de árvores/ha apresentaram os maiores comprimentos de copa (Figura 19). No caso de 208 árvores/ha, o comprimento de copa atingiu valores similares a 14,5 m e tendeu a se manter, enquanto, para a densidade de 416 árvores/ha, o valor máximo foi de 11,4, aos 10 anos de idade, e logo começou a diminuir. No caso de 833 árvores/ha, o valor máximo de CC foi atingido aos 9 anos de idade, sendo este de 10,2 metros e, para 1666 árvores por hectare, o valor máximo foi atingido à mesma idade com um comprimento de 9,5 m. O CC diminuiu com o tempo para as 3 densidades menores, atingindo um valor mínimo de 5,4 m aos 15 anos, para 1666 árvores/ha. Para que os valores de CC diminuam no tempo, foi necessário que o crescimento em altura total não compensasse a mortalidade de galhos na parte basal da copa. Nas maiores densidades, os valores máximos aconteceram antes, devido à maior concorrência das árvores e à falta de luz, que não permitiram que os galhos se mantivessem fotossinteticamente ativos.

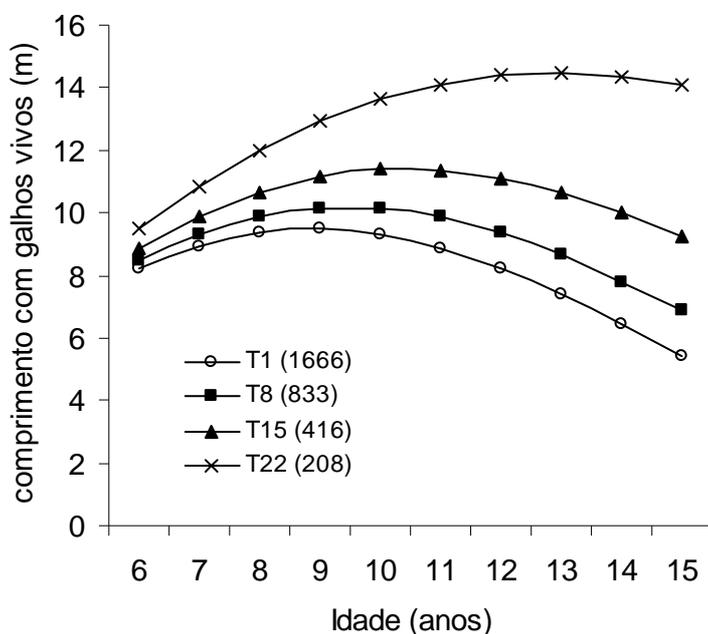


Figura 19 – Comprimento da copa no tempo para as testemunhas sem poda das diferentes densidades de árvores/ha após o desbaste pré-comercial em plantio de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

4.1.9 Forma das árvores

Na Tabela 19, apresenta-se o polinômio de quinto grau obtido para estimar (di/DAP) em função de (hi/h) e os coeficientes e estatísticas correspondentes.

Tabela 19 – Estatísticas do modelo obtidas para descrever (di/DAP) em função de (hi/h) para um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

Modelo						R ²	CV (%)	F
(di/DAP) = b ₀ + b ₁ (hi/h) + b ₂ (hi/h) ² + b ₃ (hi/h) ³ + b ₄ (hi/h) ⁴ + b ₅ (hi/h) ⁵						0,97	8,1	35587,2
b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅			
1,3312	-6,6814	33,4126	-78,6642	81,1124	-30,5120			

Sendo: di = diâmetro da árvore na altura hi; DAP= diâmetro a altura do peito (1,3 m); hi = altura definida ao longo do fuste da árvore conforme o comprimento das toras comerciais; h = altura total da árvore; b₀ = Coeficiente linear; b₁; b₂; b₃; b₄; b₅ = Coeficientes angulares; R² = Coeficiente de determinação; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado.

O modelo ajustado (Apêndice P) mostrou alta acurácia, com CV de 8,1%, e alto ajuste, com R² da ordem de 97%. Os resíduos apresentados no Apêndice Q foram bem distribuídos ao longo de toda a altura dos troncos.

Por meio da análise da covariância para todos os tratamentos, observou-se que a desrama não apresentou efeitos sobre a forma das árvores, enquanto o número de árvores remanescentes após o desbaste pré-comercial, sim, teve influência significativa sobre a forma das árvores. Devido à extensão do resultado da análise, o mesmo não foi apresentado no trabalho, porém foi considerado para definir a necessidade de ajuste de um modelo para cada grupo de densidade de árvores/ha.

Resultados semelhantes sobre a poda foram obtidos no estado do Paraná, Brasil, em um experimento de *Pinus taeda* de 15 anos de idade, onde não ocorreram variações de forma nas árvores submetidas aos diversos níveis de desrama (25, 50 e 75% da altura total) (SEITZ, 1995). Estudando a forma

das árvores de *Pinus radiata* plantados no Chile, Torrubiano (1994) também não encontrou diferença significativa entre árvores desramadas e não desramadas, contudo, Floriano (2004) obteve diferenças nas formas das árvores desramadas de *Pinus elliottii* com relação às não desramadas.

Em função desses resultados, foram obtidos os coeficientes do modelo para cada uma das densidades estudadas. Na Tabela 20, podem ser observados os parâmetros estatísticos e os coeficientes de regressão encontrados.

Os modelos calculados permitiram verificar que, na medida em que o desbaste pré-comercial foi mais intenso, ou seja, a densidade de árvores remanescente por hectare foi menor, as árvores mostraram forma mais cônica (Figura 20). Resultados semelhantes foram apresentados por Baldwin Jr., et al. (2000) para *Pinus taeda* com diferentes espaçamentos iniciais de plantio e 38 anos de idade. Na proporção em que os espaçamentos foram maiores, a forma das árvores foi mais cônica e as distâncias avaliadas variaram entre 1,8 (2777 árvores/ha) e 3,7 m (730 árvores/ha).

Tabela 20 – Modelo de regressão e parâmetros estatísticos para descrever o diâmetro relativo (di/DAP) em função da altura relativa (hi/h) para diferentes densidades de árvores/ha em um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

N° Arvores	Modelo	CV		
		R ²	(%)	F
1666	$(di/DAP) = b_0 + b_1 (hi/h) + b_2 (hi/h)^2 + b_3 (hi/h)^3 + b_4 (hi/h)^4 + b_5 (hi/h)^5$	0,97	7,9	8415,2
833	$(di/DAP) = b_0 + b_1 (hi/h) + b_2 (hi/h)^2 + b_3 (hi/h)^3 + b_4 (hi/h)^4 + b_5 (hi/h)^5$	0,98	7,5	8731,8
416	$(di/DAP) = b_0 + b_1 (hi/h) + b_2 (hi/h)^2 + b_3 (hi/h)^3 + b_4 (hi/h)^4 + b_5 (hi/h)^5$	0,98	7,5	9921,5
208	$(di/DAP) = b_0 + b_1 (hi/h) + b_2 (hi/h)^2 + b_3 (hi/h)^3 + b_4 (hi/h)^4 + b_5 (hi/h)^5$	0,98	8,2	11256,3

N° Arvores	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
1666	1,3383	-6,8514	34,7367	-83,3347	88,1965	-34,0868
833	1,3287	-6,7369	33,9747	-80,4233	83,7496	-31,8942
416	1,3319	-6,70	33,5127	-78,648	80,7184	-30,2211
208	1,3274	-6,5719	32,7715	-77,0001	78,5766	-29,1042

Sendo: di = diâmetro da árvore na altura hi; DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m); hi = altura definida ao longo do fuste da árvore conforme o comprimento das toras comerciais; h = altura total da árvore; b₀ = Coeficiente linear; b₁; b₂; b₃; b₄; b₅ = Coeficientes angulares; R² = Coeficiente de determinação; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado.

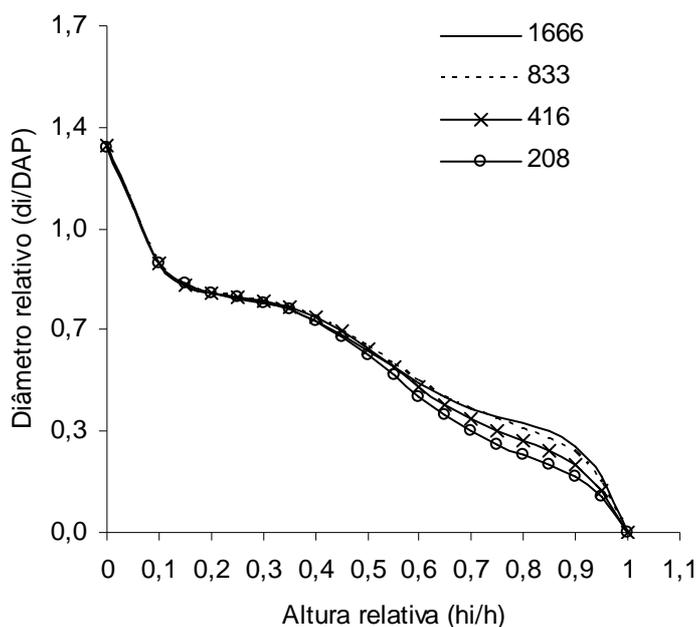


Figura 20 – Modelagem do diâmetro relativo (d_i/DAP) em função da altura relativa (h_i/h) para diferentes densidades (árvores/ha) avaliadas num experimento de *Pinus taeda* com 16 anos de idade, no nordeste de Corrientes, Argentina.

Na Figura 20, pode ser observado que até aproximadamente 50 % da altura (h) houve uma pequeníssima diferença entre os diâmetros relativos. Acima dessa altura houve uma estratificação com os menores valores de (d_i/DAP) para uma mesma relação (h_i/h), nos povoamentos de menores densidades, indicando que as árvores que cresceram em povoamentos mais densos apresentaram menor diferença entre os diâmetros superiores e o DAP, permitindo afirmar que foram proporcionalmente mais cilíndricas.

Schneider e Schneider (2008) mencionam que povoamentos com maiores densidades apresentam melhor forma, pois com a maior densidade do povoamento as árvores obrigam-se a distribuir melhor o incremento ao longo do fuste, tornando a forma mais cilíndrica, ao contrário do que ocorre com menores densidades, que produzem árvores mais cônicas. A distribuição do crescimento diametral em diferentes partes do fuste varia com o peso da copa e as tensões no fuste provocadas pelo vento, o que está relacionado com a densidade populacional. O crescimento diametral é muito sensível à densidade

do povoamento. Também, Torrubiano (1994), estudando a forma das árvores de *Pinus radiata*, concluiu que árvores com menos copa foram mais cilíndricas que aqueles com uma proporção de copa maior. Esses resultados são plenamente coincidentes com os resultados do presente estudo.

Os autores Garber e Maguire (2003) encontraram claras diferenças na forma das árvores de *Pinus ponderosa*, quando cresceram sob diferentes espaçamentos (1,8; 3, 7 e 5,5 m), sendo a tendência similar à apresentada neste trabalho, em que as maiores densidades apresentaram árvores mais cilíndricas.

4.1.10 Volume (m³) total e parcial por sortimento de madeira

Os modelos obtidos para estimar a altura em função do DAP para cada densidade do povoamento podem ser observados no Apêndice R.

De acordo com os sortimentos descritos na Tabela 4, foram elaboradas as Tabelas 21 a 28, com os volumes por sortimentos para cada classe diamétrica. Os valores indicados na primeira coluna correspondem ao centro de classe de diâmetro (CC).

Na Tabela 21, pode ser visualizado que os volumes totais são maiores nas classes diamétricas maiores, pois estas apresentam maiores diâmetros médios e alturas. As classes inferiores a 18 cm geraram material para trituração e energia; as inferiores a 30 cm produziram toras para serraria 3, trituração e energia; as classes diamétricas inferiores a 34 cm geraram produtos para serraria 2, serraria 3, trituração e energia; as classes menores a 40 cm produziram produtos para serraria em todas as qualidades, trituração e energia; e as classes maiores (40 e 42 cm) foram as que produziram toras para laminação e outras categorias, chegando a volumes totais de 1,68 m³ para a árvore centro de classe. Nessa situação, não houve produção de toras podadas.

No caso dos tratamentos desramados (Tabela 22), os volumes totais das classes diamétricas são os mesmos, porém podem ser observados os produtos *clear*, nas categorias de laminação, serraria 1, 2 e 3 *clear*.

Tabela 21 – Volume com casca (m³) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de *Pinus taeda* de 1666 árvores/ha, não desramados, no nordeste Argentino.

CC	h (m)	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
12	13,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,046	0,017	0,064
14	17,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,088	0,025	0,113
16	19,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,159	0,013	0,172
18	21,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,093	0,128	0,019	0,241
20	22,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,185	0,121	0,013	0,318
22	23,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,296	0,103	0,008	0,406
24	24,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,355	0,129	0,011	0,496
26	25,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,497	0,086	0,012	0,596
28	25,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,581	0,104	0,016	0,701
30	25,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,229	0,000	0,497	0,065	0,019	0,810
32	26,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,420	0,000	0,397	0,109	0,013	0,938
34	26,4	0,000	0,000	0,000	0,295	0,000	0,336	0,000	0,355	0,085	0,002	1,073
36	26,6	0,000	0,000	0,000	0,331	0,000	0,532	0,000	0,236	0,108	0,006	1,212
38	26,8	0,000	0,000	0,000	0,791	0,000	0,174	0,000	0,334	0,060	0,003	1,362
40	26,9	0,000	0,410	0,000	0,467	0,000	0,193	0,000	0,373	0,068	0,004	1,514
42	27,1	0,000	0,453	0,000	0,730	0,000	0,172	0,000	0,234	0,085	0,009	1,682

Sendo: CC = centro de classe; h (m) = altura total; LC = Laminável *clear*; L = Laminável; S1C = Serraria 1 *clear*; Serraria 1; S2C = Serraria 2 *clear*; S2 = Serraria 2; S3C = Serraria 3 *clear*; S3 = Serraria 3; T = Triturável; E = Energia; VT = Volume total.

Tabela 22 – Volume com casca (m³) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de 1666 árvores/ha, desramados durante 3 anos com remoção do 50 % da copa, no nordeste Argentino.

CC	h (m)	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
10	6,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,024
12	13,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,046	0,017	0,064
14	17,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,088	0,025	0,113
16	19,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,159	0,013	0,172
18	21,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,093	0,000	0,128	0,019	0,241
20	22,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,185	0,000	0,121	0,013	0,318
22	23,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,226	0,070	0,103	0,008	0,406
24	24,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,270	0,085	0,129	0,011	0,496
26	25,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,319	0,178	0,086	0,012	0,596
28	25,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,371	0,210	0,104	0,016	0,701
30	25,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,229	0,000	0,167	0,330	0,065	0,019	0,810
32	26,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,420	0,000	0,000	0,397	0,109	0,013	0,938
34	26,4	0,000	0,000	0,295	0,000	0,180	0,155	0,000	0,355	0,085	0,002	1,073
36	26,6	0,000	0,000	0,331	0,000	0,203	0,329	0,000	0,236	0,108	0,006	1,212
38	26,8	0,000	0,000	0,596	0,195	0,000	0,174	0,000	0,334	0,060	0,003	1,362
40	26,9	0,410	0,000	0,251	0,216	0,000	0,193	0,000	0,373	0,068	0,004	1,514
42	27,1	0,453	0,000	0,278	0,452	0,000	0,172	0,000	0,234	0,085	0,009	1,682

Nota: As referências podem ser observadas no rodapé da Tabela 21.

Tabela 23 – Volume com casca (m³) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de *Pinus taeda* de 833 árvores/ha, não desramados, no nordeste Argentino.

CC	h (m)	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
16	17,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,137	0,019	0,156
18	20,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,122	0,014	0,227
20	21,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,182	0,100	0,019	0,300
22	22,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,292	0,083	0,011	0,387
24	23,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,351	0,122	0,008	0,481
26	24,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,492	0,080	0,009	0,580
28	24,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,576	0,098	0,012	0,685
30	25,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,225	0,000	0,495	0,061	0,015	0,795
32	25,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,552	0,000	0,246	0,109	0,011	0,917
34	25,9	0,000	0,000	0,000	0,290	0,000	0,334	0,000	0,354	0,061	0,010	1,050
36	26,2	0,000	0,000	0,000	0,326	0,000	0,532	0,000	0,236	0,095	0,003	1,194
38	26,4	0,000	0,000	0,000	0,784	0,000	0,175	0,000	0,267	0,087	0,019	1,333
40	26,6	0,000	0,404	0,000	0,466	0,000	0,195	0,000	0,373	0,037	0,017	1,492
42	26,7	0,000	0,446	0,000	0,730	0,000	0,173	0,000	0,230	0,072	0,005	1,657
44	26,9	0,000	1,056	0,000	0,237	0,000	0,192	0,000	0,257	0,082	0,007	1,831
46	27,0	0,000	1,155	0,000	0,260	0,000	0,211	0,000	0,283	0,091	0,009	2,009
48	27,1	0,000	1,542	0,000	0,231	0,000	0,165	0,000	0,212	0,037	0,008	2,196
50	27,2	0,000	1,675	0,000	0,252	0,000	0,181	0,000	0,232	0,041	0,010	2,391

Sendo: CC = centro de classe; h (m) = altura total; LC = Laminável *clear*; L = Laminável; S1C = Serraria 1 *clear*; Serraria 1; S2C = Serraria 2 *clear*; S2 = Serraria 2; S3C = Serraria 3 *clear*; S3 = Serraria 3; T = Triturável; E = Energia; VT = Volume total.

Nas Tabelas 23 e 24, podem ser observados os volumes produzidos por categoria de produto por cada árvore centro de classe, para a densidade final de 833 árvores/ha. Da mesma maneira que o observado para 1666 árvores/ha, pode ser visualizado que, no povoamento com desrama, houve uma produção importante de produtos *clear*, com maior volume destes nas classes superiores. Nessa condição de povoamento, na qual a densidade após o raleio pré-comercial atingiu 833 árvores/ha, as maiores classes diamétricas obtidas superam às da testemunha (1666), chegando a valores de até 50 cm.

Comparando os volumes de laminação *clear* produzidos com o volume total da árvore, pode-se determinar que, nas classes superiores (50 cm), os valores percentuais atingem cifras superiores a 50 %.

Ao comparar os resultados apresentados nas Tabelas 21 e 23, pode ser observado o efeito da densidade na produção volumétrica da árvore centro de classe causado pelas diferentes formas das árvores.

Tabela 24 - Volume com casca (m³) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de 833 árvores/ha, desramados durante 3 anos com remoção do 50 % da copa, no nordeste Argentino.

CC	h (m)	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
16	17,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,137	0,019	0,156
18	20,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,000	0,122	0,014	0,227
20	21,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,182	0,000	0,100	0,019	0,300
22	22,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,222	0,070	0,083	0,011	0,387
24	23,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,266	0,085	0,122	0,008	0,481
26	24,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,315	0,177	0,080	0,009	0,580
28	24,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367	0,209	0,098	0,012	0,685
30	25,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,225	0,000	0,166	0,329	0,061	0,015	0,795
32	25,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,414	0,137	0,000	0,246	0,109	0,011	0,917
34	25,9	0,000	0,000	0,290	0,000	0,179	0,155	0,000	0,354	0,061	0,010	1,050
36	26,2	0,000	0,000	0,326	0,000	0,201	0,331	0,000	0,236	0,095	0,003	1,194
38	26,4	0,000	0,000	0,589	0,195	0,000	0,175	0,000	0,267	0,087	0,019	1,333
40	26,6	0,404	0,000	0,249	0,216	0,000	0,195	0,000	0,373	0,037	0,017	1,492
42	26,7	0,446	0,000	0,275	0,454	0,000	0,173	0,000	0,230	0,072	0,005	1,657
44	26,9	0,793	0,262	0,000	0,237	0,000	0,192	0,000	0,257	0,082	0,007	1,831
46	27,0	0,868	0,287	0,000	0,260	0,000	0,211	0,000	0,283	0,091	0,009	2,009
48	27,1	0,946	0,596	0,000	0,231	0,000	0,165	0,000	0,212	0,037	0,008	2,196
50	27,2	1,027	0,648	0,000	0,252	0,000	0,181	0,000	0,232	0,041	0,010	2,391

Sedo: CC = centro de classe; h (m) = altura total; LC = Laminável *clear*; L = Laminável; S1C = Serraria 1 *clear*; Serraria 1; S2C = Serraria 2 *clear*; S2 = Serraria 2; S3C = Serraria 3 *clear*; S3 = Serraria 3; T = Triturável; E = Energia; VT = Volume total.

Tabela 25 - Volume com casca (m³) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de *Pinus taeda* de 416 árvores/ha, não desramados, no nordeste Argentino.

CC	h (m)	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
20	19,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,179	0,068	0,024	0,270
22	20,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,220	0,113	0,017	0,350
24	21,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,345	0,085	0,008	0,438
26	22,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,409	0,109	0,013	0,531
28	23,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,560	0,059	0,013	0,631
30	23,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,224	0,000	0,407	0,100	0,009	0,740
32	24,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,548	0,000	0,226	0,064	0,014	0,852
34	24,6	0,000	0,000	0,000	0,289	0,000	0,332	0,000	0,260	0,093	0,009	0,983
36	24,9	0,000	0,000	0,000	0,325	0,000	0,524	0,000	0,130	0,121	0,010	1,111
38	25,2	0,000	0,000	0,000	0,780	0,000	0,170	0,000	0,234	0,061	0,008	1,254
40	25,4	0,000	0,403	0,000	0,463	0,000	0,189	0,000	0,264	0,070	0,010	1,400
42	25,5	0,000	0,445	0,000	0,720	0,000	0,160	0,000	0,120	0,087	0,016	1,548
44	25,7	0,000	1,051	0,000	0,231	0,000	0,178	0,000	0,135	0,119	0,004	1,717
46	25,8	0,000	1,150	0,000	0,253	0,000	0,195	0,000	0,231	0,037	0,015	1,881
48	26,0	0,000	1,255	0,000	0,277	0,000	0,215	0,000	0,257	0,062	0,002	2,068
50	26,1	0,000	1,664	0,000	0,235	0,000	0,000	0,000	0,282	0,069	0,003	2,252
52	26,2	0,000	1,802	0,000	0,256	0,000	0,171	0,000	0,122	0,088	0,006	2,445
54	26,2	0,000	1,944	0,000	0,276	0,000	0,186	0,000	0,132	0,095	0,007	2,641
56	26,3	0,000	2,093	0,000	0,298	0,000	0,201	0,000	0,225	0,028	0,003	2,849

Nota: As referências podem ser observadas no rodapé da Tabela 24.

Tabela 26 - Volume com casca (m³) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de 416 árvores/ha, desramados durante 3 anos com remoção do 50 % da copa, no nordeste Argentino.

CC	h (m)	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
20	19,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,179	0,000	0,068	0,024	0,270
22	20,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,220	0,000	0,113	0,017	0,350
24	21,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,264	0,081	0,085	0,008	0,438
26	22,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,312	0,097	0,109	0,013	0,531
28	23,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,364	0,196	0,059	0,013	0,631
30	23,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,224	0,000	0,164	0,242	0,100	0,009	0,740
32	24,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,412	0,136	0,000	0,226	0,064	0,014	0,852
34	24,6	0,000	0,000	0,289	0,000	0,177	0,154	0,000	0,260	0,093	0,009	0,983
36	24,9	0,000	0,000	0,325	0,000	0,200	0,325	0,000	0,130	0,121	0,010	1,111
38	25,2	0,000	0,000	0,587	0,194	0,000	0,170	0,000	0,234	0,061	0,008	1,254
40	25,4	0,403	0,000	0,248	0,215	0,000	0,189	0,000	0,264	0,070	0,010	1,400
42	25,5	0,445	0,000	0,274	0,447	0,000	0,160	0,000	0,120	0,087	0,016	1,548
44	25,7	0,790	0,261	0,000	0,231	0,000	0,178	0,000	0,135	0,119	0,004	1,717
46	25,8	0,864	0,286	0,000	0,253	0,000	0,195	0,000	0,231	0,037	0,015	1,881
48	26,0	0,943	0,312	0,000	0,277	0,000	0,215	0,000	0,257	0,062	0,002	2,068
50	26,1	1,024	0,640	0,000	0,235	0,000	0,000	0,000	0,282	0,069	0,003	2,252
52	26,2	1,109	0,693	0,000	0,256	0,000	0,171	0,000	0,122	0,088	0,006	2,445
54	26,2	1,196	0,748	0,000	0,276	0,000	0,186	0,000	0,132	0,095	0,007	2,641
56	26,3	1,287	0,805	0,000	0,298	0,000	0,201	0,000	0,225	0,028	0,003	2,849

Nota: As referências podem ser observadas no rodapé da Tabela 24.

Tabela 27 - Volume com casca (m³) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de *Pinus taeda* de 208 árvores/ha, não desramados, no nordeste Argentino.

CC	h (m)	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
26	23,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,409	0,102	0,011	0,522
28	23,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,553	0,050	0,010	0,613
30	23,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,223	0,000	0,397	0,068	0,016	0,705
32	23,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,411	0,000	0,281	0,109	0,009	0,810
34	24,1	0,000	0,000	0,000	0,288	0,000	0,329	0,000	0,239	0,057	0,010	0,923
36	24,3	0,000	0,000	0,000	0,323	0,000	0,370	0,000	0,271	0,066	0,013	1,042
38	24,4	0,000	0,000	0,000	0,582	0,000	0,351	0,000	0,130	0,102	0,006	1,172
40	24,5	0,000	0,400	0,000	0,457	0,000	0,179	0,000	0,145	0,115	0,007	1,303
42	24,6	0,000	0,441	0,000	0,505	0,000	0,339	0,000	0,095	0,058	0,007	1,444
44	24,7	0,000	0,782	0,000	0,475	0,000	0,000	0,000	0,272	0,057	0,006	1,591
46	24,7	0,000	1,136	0,000	0,239	0,000	0,171	0,000	0,116	0,071	0,009	1,742
48	24,8	0,000	1,238	0,000	0,260	0,000	0,187	0,000	0,127	0,078	0,010	1,901
50	24,9	0,000	1,344	0,000	0,283	0,000	0,204	0,000	0,139	0,086	0,012	2,067
52	24,9	0,000	1,761	0,000	0,000	0,000	0,221	0,000	0,151	0,093	0,013	2,240
54	25,0	0,000	1,901	0,000	0,239	0,000	0,000	0,000	0,164	0,102	0,014	2,420
56	25,0	0,000	2,045	0,000	0,258	0,000	0,000	0,000	0,264	0,034	0,010	2,610
58	25,0	0,000	2,195	0,000	0,278	0,000	0,000	0,000	0,284	0,036	0,011	2,803
60	25,1	0,000	2,350	0,000	0,298	0,000	0,000	0,000	0,305	0,039	0,012	3,003
62	25,1	0,000	2,510	0,000	0,319	0,000	0,000	0,000	0,327	0,042	0,013	3,211
64	25,1	0,000	2,676	0,000	0,340	0,000	0,206	0,000	0,130	0,052	0,019	3,423
66	25,1	0,000	3,209	0,000	0,000	0,000	0,220	0,000	0,138	0,055	0,020	3,643

Nota: As referências podem ser observadas no rodapé da Tabela 24.

Ao confrontarem-se os volumes produzidos com e sem desrama, pode ser observado o mesmo efeito nas densidades de 416 árvores/ha (Tabelas 25 e 26) e 208 árvores/ha (Tabelas 27 e 28). Nas duas densidades, verificou-se a produção de produtos *clear*, nos tratamentos com desrama, e um aumento de produção de produtos de maior valor (laminação, serrarias 1 e 2) nas classes diamétricas maiores.

Tabela 28 - Volume com casca (m³) para as classes diamétricas presentes em povoamentos de 208 árvores/ha, desramados durante 3 anos com remoção do 50 % da copa, no nordeste Argentino.

CC	h (m)	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
24	22,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,266	0,081	0,069	0,021	0,437
26	23,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,313	0,096	0,102	0,011	0,522
28	23,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,364	0,189	0,050	0,010	0,613
30	23,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,223	0,000	0,164	0,233	0,068	0,016	0,705
32	23,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,411	0,000	0,000	0,281	0,109	0,009	0,810
34	24,1	0,000	0,000	0,288	0,000	0,177	0,152	0,000	0,239	0,057	0,010	0,923
36	24,3	0,000	0,000	0,323	0,000	0,199	0,171	0,000	0,271	0,066	0,013	1,042
38	24,4	0,000	0,000	0,582	0,000	0,000	0,351	0,000	0,130	0,102	0,006	1,172
40	24,5	0,400	0,000	0,246	0,212	0,000	0,179	0,000	0,145	0,115	0,007	1,303
42	24,6	0,441	0,000	0,271	0,234	0,000	0,339	0,000	0,095	0,058	0,007	1,444
44	24,7	0,782	0,000	0,000	0,475	0,000	0,000	0,000	0,272	0,057	0,006	1,591
46	24,7	0,856	0,281	0,000	0,239	0,000	0,171	0,000	0,116	0,071	0,009	1,742
48	24,8	0,932	0,306	0,000	0,260	0,000	0,187	0,000	0,127	0,078	0,010	1,901
50	24,9	1,012	0,332	0,000	0,283	0,000	0,204	0,000	0,139	0,086	0,012	2,067
52	24,9	1,095	0,666	0,000	0,000	0,000	0,221	0,000	0,151	0,093	0,013	2,240
54	25,0	1,182	0,719	0,000	0,239	0,000	0,000	0,000	0,164	0,102	0,014	2,420
56	25,0	1,271	0,774	0,000	0,258	0,000	0,000	0,000	0,264	0,034	0,010	2,610
58	25,0	1,364	0,831	0,000	0,278	0,000	0,000	0,000	0,284	0,036	0,011	2,803
60	25,1	1,460	0,890	0,000	0,298	0,000	0,000	0,000	0,305	0,039	0,012	3,003
62	25,1	1,559	0,951	0,000	0,319	0,000	0,000	0,000	0,327	0,042	0,013	3,211
64	25,1	1,662	1,014	0,000	0,340	0,000	0,206	0,000	0,130	0,052	0,019	3,423
66	25,1	1,768	1,441	0,000	0,000	0,000	0,220	0,000	0,138	0,055	0,020	3,643

Sendo: CC = centro de classe; h (m) = altura total; LC = Laminável *clear*; L = Laminável; S1C = Serraria 1 *clear*; Serraria 1; S2C = Serraria 2 *clear*; S2 = Serraria 2; S3C = Serraria 3 *clear*; S3 = Serraria 3; T = Triturável; E = Energia; VT = Volume total.

Os diâmetros máximos considerados em cada densidade de árvores/ha foram 42 cm; 50 cm; 56 cm e 66 cm, gerando estas árvores volumes de 1,68 m³; 2,39 m³; 2,85 m³ e 3,64 m³, respectivamente. Para uma mesma árvore centro de classe, os volumes finais foram menores na medida em que a densidade de árvores/ha foi diminuindo. Pode ser observada, a modo de exemplo, a classe de 30 cm, que apresentou 0,810 m³; 0,795 m³; 0,74 m³;

0,705 m³ para as densidades de 1666, 833, 416 e 208 árvores/ha, respectivamente.

4.1.11 Volumes finais por hectare conforme o tratamento

Na sequência, apresentam-se os volumes totais e parciais obtidos para 8 cenários definidos em três idades escolhidas (15, 18 e 21 anos). Nestes, pode ser facilmente observado que a produção de produtos de madeira limpa (*clear*) foi, nos tratamentos sem desrama, nula, enquanto nos tratamentos com desrama, as categorias LC(1); S1C(3); S2C(5) e S3C(7) apresentaram produção de madeira limpa.

Na Tabela 29, podem ser observados os volumes máximos obtidos aos 15 anos de idade na densidade de 1666 e 833 árvores/ha, sem desrama, com valores de 604,6 e 588,4 m³/ha, respectivamente, correspondendo a estes um IMA de 40,3 e 39,2 m³/ha/ano. Quando os desbastes foram intensos, o volume diminuiu fortemente, chegando a atingir valores de 248,8 m³/ha com um IMA de 16,6 m³/ha/ano, aos 15 anos de idade. Com relação aos volumes de produtos para laminação *clear*, verificou-se que, na medida em que foram intensificados os desbastes e aumentadas as idades, a produção foi maior, atingindo valores máximos de 127,3 m³/ha, aos 21 anos, com o tratamento de 208 árvores/ha após o desbaste e desramas. Com relação ao material triturável e serraria de menor diâmetro (S3), pode ser observado que, aos 15 anos, no tratamento com 1666 árvores/ha sem desrama, foi possível atingir até 115,2 e 411,4 m³/ha, respectivamente, sendo estes valores muito superiores aos obtidos nas menores densidades.

Também, na Tabela 29, podem ser observados os volumes obtidos nas diferentes idades, verificando-se um aumento no tempo em todos os casos, assim como o efeito negativo da desrama na produção volumétrica total de madeira.

Tabela 29 – Volume com casca dos sortimentos de madeira para 1666, 833, 416 e 208 árvores/ha sem e com desrama nas idades de 15, 18 e 21 anos, para um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Volume dos sortimentos de madeira (m ³) para povoamentos com 1666 sem desrama												
Idade	N	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
15	1093	0,0	0,0	0,0	9,7	0,0	54,2	0,0	411,4	115,2	14,1	604,6
18	1018	0,0	0,6	0,0	21,1	0,0	81,4	0,0	405,3	104,1	13,1	625,6
21	968	0,0	1,9	0,0	34,8	0,0	102,7	0,0	393,1	97,0	12,3	641,8
Volume dos sortimentos de madeira (m ³) para povoamentos com 1666 com desrama												
Idade	N	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
15	1093	0,1	0,0	4,6	0,2	32,4	2,8	251,6	133,1	117,5	13,8	556,0
18	1018	0,2	0,0	11,2	0,6	51,3	6,9	233,8	155,1	106,5	13,1	578,6
21	968	0,7	0,0	19,6	1,4	66,2	12,1	214,3	169,0	99,0	12,4	594,7
Volume dos sortimentos de madeira (m ³) para povoamentos com 833 sem desrama												
Idade	N	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
15	730	0,0	5,8	0,0	65,0	0,0	156,0	0,0	291,0	62,5	8,0	588,4
18	707	0,0	19,8	0,0	109,7	0,0	178,7	0,0	264,6	59,3	7,8	639,9
21	691	0,0	41,7	0,0	142,5	0,0	183,8	0,0	247,2	56,9	7,6	679,7
Volume dos sortimentos de madeira (m ³) para povoamentos com 833 com desrama												
Idade	N	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
15	730	0,9	0,0	27,1	2,0	80,0	29,5	149,9	153,2	63,9	8,0	514,4
18	707	6,1	0,2	56,7	8,5	98,0	50,6	103,9	159,8	57,8	7,4	549,0
21	691	16,3	1,2	80,8	17,8	100,6	65,5	90,5	170,5	58,1	7,6	609,1
Volume dos sortimentos de madeira (m ³) para povoamentos com 416 sem desrama												
Idade	N	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
15	406	0,0	48,7	0,0	123,9	0,0	119,3	0,0	103,5	34,8	4,3	434,6
18	406	0,0	108,7	0,0	146,6	0,0	109,2	0,0	95,0	34,2	4,2	497,9
21	406	0,0	167,3	0,0	150,5	0,0	100,8	0,0	91,3	33,5	4,0	547,5
Volume dos sortimentos de madeira (m ³) para povoamentos com 416 com desrama												
Idade	N	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
15	406	17,0	1,3	70,4	17,8	66,3	52,6	33,4	83,1	35,0	4,4	381,2
18	406	50,4	7,5	88,4	37,9	53,1	63,3	20,4	82,7	34,8	4,3	442,8
21	406	87,6	18,7	88,8	53,3	41,9	66,5	14,7	81,9	34,2	4,2	492,0
Volume dos sortimentos de madeira (m ³) para povoamentos com 208 sem desrama												
Idade	N	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
15	200	0,0	100,3	0,0	72,6	0,0	47,4	0,0	37,3	15,8	1,8	275,1
18	200	0,0	167,8	0,0	66,4	0,0	39,4	0,0	35,7	15,4	1,9	326,6
21	200	0,0	213,1	0,0	61,5	0,0	34,9	0,0	36,3	15,0	2,0	362,8
Volume dos sortimentos de madeira (m ³) para povoamentos com 208 com desrama												
Idade	N	LC(1)	L(2)	S1C(3)	S1(4)	S2C(5)	S2(6)	S3C(7)	S3(8)	T(9)	E(10)	VT
15	200	59,6	7,9	44,9	26,8	15,8	35,5	3,7	36,9	16,0	1,8	248,8
18	200	99,2	24,0	34,1	36,3	9,5	35,4	2,0	34,7	15,8	1,8	292,8
21	200	127,3	41,4	25,8	40,0	6,8	32,7	1,5	34,7	15,4	1,9	327,4

Sendo: LC = Laminável *clear*; L = Laminável; S1C=Serraria 1 *clear*; Serraria 1; S2C = Serraria 2 *clear*; S2 = Serraria 2; S3C = Serraria 3 *clear*; S3 = Serraria 3; T = Triturável; E = Energia; VT = Volume total.

A comparação entre os volumes totais obtidos nos diversos cenários, representados na Figura 21, mostrou como os cenários com as maiores idades

apresentaram maiores volumes. Por outra parte, verificou-se que as densidades de 1666 e 833 árvores/ha apresentaram volumes finais semelhantes e claramente superiores às densidades de 416 e 208 árvores/ha.

Também foi possível verificar (Figura 21) que quando a desrama foi realizada, o volume final diminuiu em todas as densidades avaliadas, ou seja, os efeitos visualizados no dg e na G dos tratamentos se traduziram em menores volumes finais. As diferenças percentuais de volume total por densidade entre tratamentos desramados e não desramados variaram em média de 8 a 12 %, sendo a menor a obtida com 1666 árvores/ha. Os pesquisadores Schneider et al. (2009) apresentaram que em plantios de *Pinus elliottii* os tratamentos com desrama apresentaram redução da produção em volume na medida em que foram mais intensas. Estes resultados são coincidentes com os obtidos no presente estudo pois em todos os casos foi observada uma menor produção com a intensificação da poda.

As maiores densidades de árvores/ha geraram maiores volumes totais, porém produziram produtos de menores diâmetros. Na Figura 21, pode ser observado o comportamento do dg nos tratamentos avaliados, nas idades de 15,18 e 21 anos, apresentando as menores densidades os maiores valores, sendo afetado negativamente pela desrama em todas as situações avaliadas.

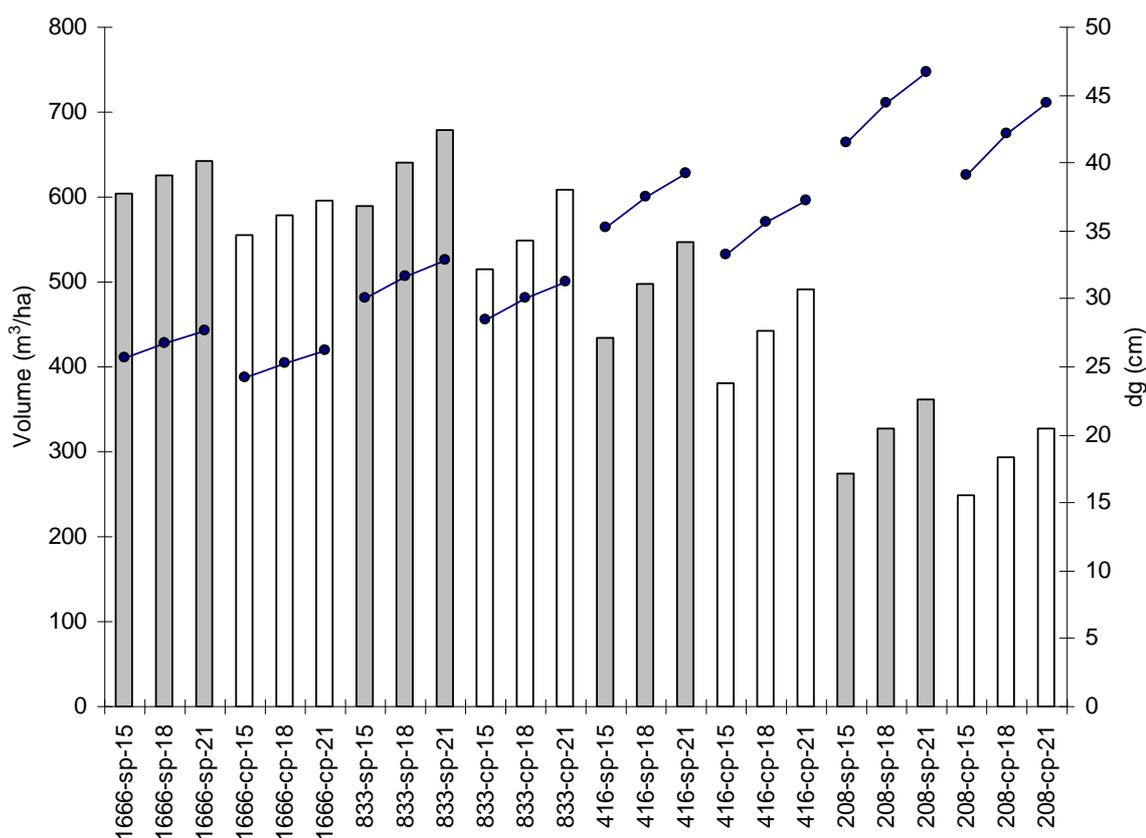


Figura 21 – Volume total (colunas) e dg (linhas) estimados aos 15, 18 e 21 anos de idade para diferentes densidades de árvores/ha com e sem poda (sp = sem poda; cp = com poda) em plantio de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

A comparação entre o volume de produtos *clear* e não *clear* (Figura 22) obtido em cada tratamento e idade, considerando a somatória de toras de diferentes dimensões, mostrou que, em geral, o volume de produtos *clear* foi cerca de 50 % do total. É importante enfatizar que, nos tratamentos avaliados, todas as árvores foram podadas o que leva a uma importante produção de madeira sem nós. Resultados comparáveis foram apresentados por Floriano (2004), que, avaliando o efeito das desramas em *Pinus elliottii*, de 15 anos de idade, assinalou que, do volume total individual produzido, 46 % correspondeu à madeira limpa, sem nó.

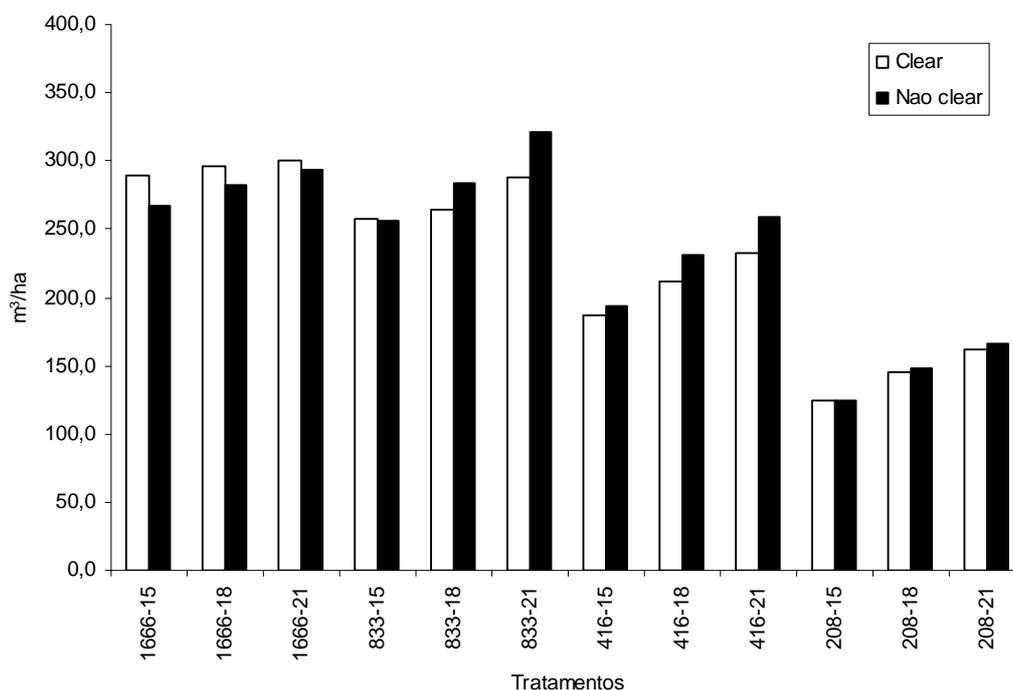


Figura 22 – Volumes/ha estimados de produtos *clear* e não *clear* obtidos com os tratamentos desramados em diferentes densidades de árvores/ha nas idades de 15, 18 e 21 anos em plantio de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Os volumes de produtos para laminação e serraria classe 1 e 2 foram agrupados e representados na Figura 23 para todos os tratamentos considerados. Na mesma, pode ser observado que os maiores volumes desses produtos foram obtidos no tratamento de 416 plantas/ha nas diferentes idades. Por outra parte, os menores volumes desses produtos foram obtidos com o tratamento de maior densidade de árvores por hectare, no qual predominaram os diâmetros mais finos. Essa classificação de produtos e distribuição por tratamento foram importantes, pois revelaram que existe uma grande variação na produção de produtos de valor entre tratamentos e que isso poderá ter uma grande influência nos resultados econômicos.

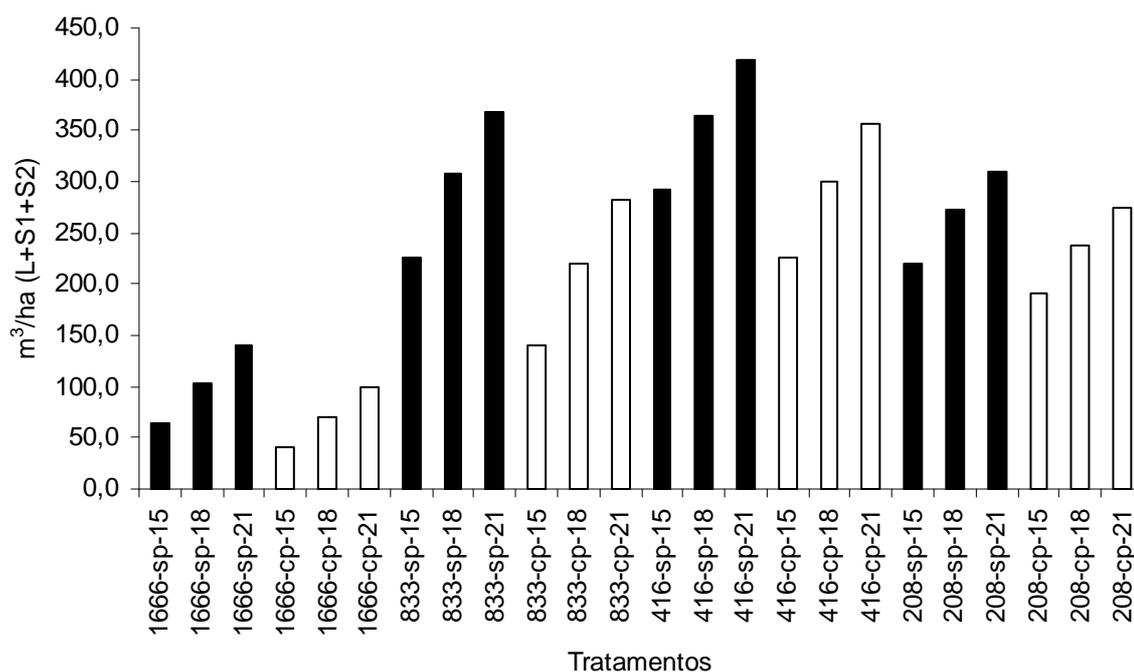


Figura 23 - Somatório do volume de produtos para laminação e serraria classes 1 e 2 para os tratamentos com diferentes densidades de árvores/ha, com poda (cp) e sem poda (sp), em plantio de *Pinus taeda* de 15, 18 e 21 anos, no nordeste de Corrientes, Argentina.

4.1.12 Altura de poda

Pelo método “stepwise”, foi selecionado o modelo para estimar a altura de poda em função do número de podas (NP) e a percentagem de remoção de copa viva (RCV). O modelo obtido foi $hp = -6,0298 + 5,1207 \ln NP + 1,7526 \ln RCV$; com um coeficiente de determinação ajustado de 0,86; coeficiente de variação de 10,1% e valor de F 1279,2. No Apêndice S, pode ser observada a distribuição dos resíduos do modelo, sendo esta homogênea ao longo do eixo X, correspondente ao valor estimado da altura de poda. A variável árvores remanescentes/ha (AR) não foi significativa e conseqüentemente não incluída no modelo para estimar a altura de poda.

Com o modelo obtido, foram simuladas diversas situações (Figura 24) de poda, combinando percentagens de remoção de copa e número de podas. Na Figura 24, pode ser observado que, na medida em que a percentagem de remoção de copa aumentou, também aumentou a altura de poda e, quando

foram realizadas desramas em anos consecutivos, a altura de poda aumentou. Na prática regional, é executado um esquema de poda com remoção de copa de em torno de 45 - 50 %, realizada por três anos consecutivos, procurando-se atingir uma altura de poda superior a 5,5 metros. Conforme o modelo ajustado, essa altura pode ser atingida e superada em plantios de *Pinus taeda* estabelecidos em sítios similares ao sítio do experimento, quando as mesmas são realizadas por 3 ou 4 anos. A altura de poda não atingiu 5,5 m quando foi realizada em duas vezes removendo 30, 50 ou 70 % da copa viva, porém, quando realizadas 3 ou 4 desramas (de frequência anual), foram obtidas alturas de desrama superiores a 5,5 m.

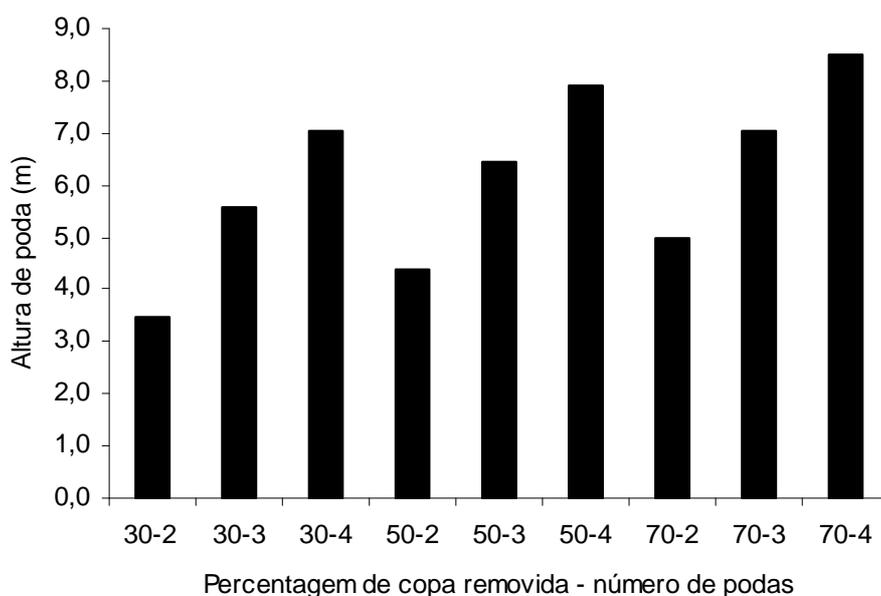


Figura 24 – Altura de poda estimada para diversas combinações de porcentagem de remoção de copa e número de podas para povoamentos de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

4.2 Qualidade da madeira

4.2.1 Densidade da madeira

No Apêndice U, podem ser observados os gráficos resultantes do processamento das amostras de madeira no laboratório, para determinação da densidade ao longo do perfil.

Na Tabela 30, pode ser visualizado que o modelo 1 foi o que apresentou o maior coeficiente de determinação ajustado e o menor coeficiente de variação. Em função das estatísticas e comportamento dos resíduos (Apêndices V e W), o modelo 1 foi escolhido.

Tabela 30 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a densidade da madeira em função do número de árvores remanescentes por ha, após o desbaste realizado aos 3 anos de idade em um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Nº	Modelo	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	CV (%)	F
1	$D = b_0 + b_1 N + b_2 N^2$	435,8488	-0,16927	0,000077	0,34	7,3	11,34
2	$D = b_0 + b_1 N$	393,34	-0,02216	-----	0,11	8,4	6,34
3	$D = b_0 + b_1 (1/N)$	350,58	10860,00	-----	0,27	7,6	16,41
4	$D = b_0 + b_1 (1/N^2)$	360,28	1911504,00	-----	0,28	7,6	16,65
5	$D = b_0 + b_1 \ln N$	505,81	-20,4370	-----	0,21	7,9	12,11

Em que: N° = Número do modelo; D = densidade da madeira (Kg/m^3); N = número de árvores após o desbaste; b_0 = Coeficiente linear; b_1 e b_2 = Coeficientes angulares; $R^2_{aj.}$ = Coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado.

Com a realização da análise da covariância apresentada no Apêndice X, foi determinado que os tratamentos, com e sem desrama, não apresentaram diferenças nos interceptos, obtendo-se, por este motivo, uma única função. Na Figura 25, pode-se acompanhar o comportamento do modelo em relação aos pontos observados dos tratamentos com poda e sem poda. Na mesma, nota-se

que não existe uma distribuição dos pontos sem poda e com poda que permita inferir que esses tratamentos poderiam apresentar diferenças nas densidades. No entanto, foi possível notar uma leve tendência dos pontos com poda a apresentarem maiores valores de densidade, bem como que os valores de densidade obtidos tanto em árvores desramadas como em não desramadas apresentaram grande variação de valores.

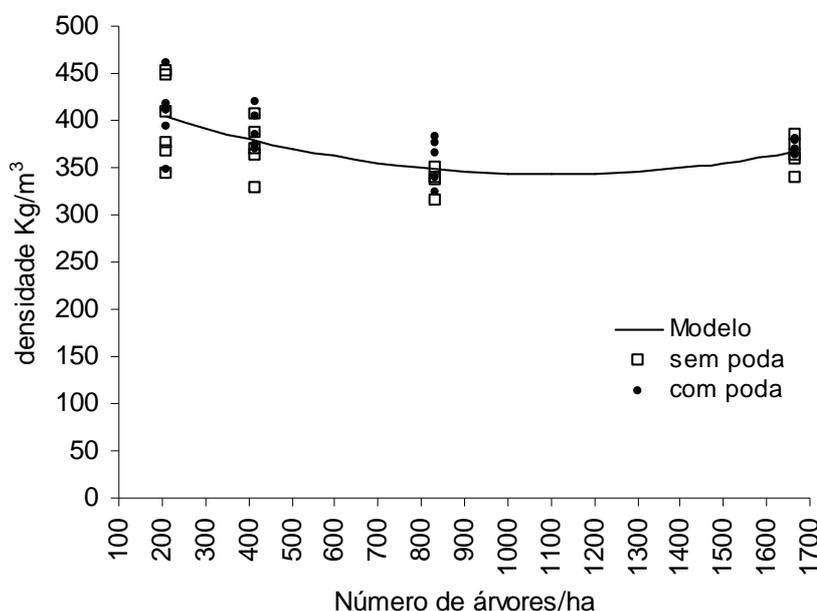


Figura 25 – Distribuição dos valores observados de densidade da madeira para os tratamentos com diferentes densidades de árvores/ha, com e sem poda, e os estimados pelo modelo para um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Embora o modelo não tenha apresentado um coeficiente de determinação ajustado elevado, ele se comporta adequadamente, sendo possível observar, na Figura 25, que os maiores valores de densidade da madeira foram obtidos com 208 árvores por hectare (404 Kg/m^3), diminuindo progressivamente com o aumento do número de árvores/ha até 1100 árvores/ha ($342,8 \text{ Kg/m}^3$) e aumentando novamente com o aumento do número de árvores /ha até 1666 árvores/ha ($367,5 \text{ Kg/m}^3$). As máximas diferenças de densidade atingiram o valor de 15 %. Se bem a resposta com um ponto de inflexão é complexa fica evidenciada uma clara diferença entre os grupos de

menor número de árvores/ha (208 e 416) e os de maior número de árvores/ha (833 e 1666) sendo a madeira de estes últimos menos densa.

Os pesquisadores Jones et al (2007) avaliaram a densidade da madeira com o uso de raios X em plantios de *Pinus taeda*, com 25 anos de idade, nos Estados Unidos, e observaram que a densidade foi significativamente menor quando as árvores apresentaram maior espaço para crescer. Também Uner et. al (2009), avaliando a densidade da madeira, determinada por raios X, em plantios de *Pinus nigra* de 17 a 22 anos de idade, na Turquia, encontraram que, nos tratamentos com desbastes, a densidade média foi menor, porém as diferenças não foram significativas. Os autores verificaram diferenças de 3,8 % entre os tratamentos desbastados e não desbastados. Os resultados citados são contrários aos obtidos no presente estudo, no entanto, deve-se considerar que as idades e espécies não são as mesmas e que as condições de crescimento (sítios, precipitação, temperaturas e outros) são bem diferentes nos locais comparados.

Estudos realizados em outros países não apresentaram variações significativas na densidade da madeira ao se aplicarem tratamentos com diferentes intensidades de desbastes. Nos Estados Unidos, Tassisa e Burkhart. (1997) pesquisaram a resposta de *Pinus taeda* a tratamentos de desbastes com remoção de 30 e 50 % da área basal por hectare, verificando que os desbastes não alteraram a proporção do lenho inicial e do lenho tardio no anel de crescimento anual e, por conseguinte, não afetaram o peso específico da madeira. Resultados similares para *Pinus taeda* foram obtidos por Guller (2007) para *Pinus brutia* com mais de 33 anos de idade na Turquia. Tanto a percentagem de madeira inicial como a densidade da madeira não foram afetadas significativamente pelos desbastes, sendo que estes influíram positivamente na largura dos anéis. Também Peltola et al. (2007) obtiveram respostas significativas em largura dos anéis após 12 anos da execução de desbastes intensos e moderados em plantios de *Pinus sylvestris* na Finlândia. Porém, nesse experimento, a média da densidade da madeira dos anéis não foi afetada significativamente pelos desbastes, apesar de ter apresentado uma densidade menor em 2 %.

É interessante ressaltar que Tassisa e Burkhart (1997) indicam que as pesquisas para determinar o efeito dos desbastes no peso específico são

inconsistentes. Alguns estudos têm apresentado resultados que mostram uma diminuição no peso específico após os desbastes, outros não apresentaram efeito dos desbastes sobre o peso específico e outros têm apontado um acréscimo do mesmo após o desbaste. Os resultados do presente estudo encontram-se no último grupo indicado pelos autores.

Pereira e Tomasselli. (2004) estudaram as respostas de *Pinus elliottii* Engelm. var *elliottii*, no estado de São Paulo, Brasil, a desbastes realizados aos 9 anos, com intensidades de 75, 50 e 25% da área basal. Aos 15 anos de idade, a densidade básica da madeira e o teor de lenho tardio apresentaram um acréscimo com a intensidade do desbaste. Esses resultados são similares aos obtidos no presente estudo. Para a densidade da madeira, as diferenças percentuais observadas entre os tratamentos variaram em 15 % no presente trabalho, enquanto as diferenças encontradas por Pereira et al. (2004) foram da ordem do 9 %, devendo ser considerado que as variações entre intensidades de desbaste apresentadas neste estudo são maiores às avaliadas por Pereira et al. (2004).

O mesmo tipo de resposta foi observada por Von Wallis et al. (2007) no nordeste Argentino, província de Misiones onde, num experimento de desbaste de *Pinus taeda* de origem Marion, de 20 anos de idade, foi constatado que os tratamentos mais desbastados apresentaram maior densidade da madeira. Os tratamentos foram executados a partir dos 8 anos de idade, num plantio de 1644 árvores/ha iniciais e desbastado aos 6 anos para 894 árvores/ha. As intervenções foram realizadas aos 8, 12 e 16 anos com remoção do 0%, 33% e 66% da área basal chegando a densidades de 711; 364 e 122 árvores/ha aos 20 anos de idade e densidades da madeira de 416; 432 e 435 Kg/m³ respectivamente. O presente estudo apresenta a mesma tendência observada por estes autores na região do Nordeste Argentino.

Por outro lado, Montagna et. al. (1993), estudando o efeito da desrama (15, 30, 45, 60 e 75 % da altura da árvore) em plantios de *Pinus elliottii* var. *elliottii*, com 20 anos de idade, encontraram que a poda não interferiu de forma significativa na densidade básica da madeira, embora tenha ocorrido uma tendência de aumento com a severidade da operação. Esses resultados assemelham-se aos do presente estudo, pois os tratamentos sem e com poda,

não apresentaram diferenças significativas nas densidades da madeira correspondentes.

4.2.2 Densidade do lenho inicial e do lenho tardio

Os valores médios de densidade do lenho inicial e do lenho tardio de todos os anéis dos tratamentos avaliados foram de 287,7 e 545,0 Kg/m³, respectivamente. A diferença entre esses valores correspondeu a 89 % sobre o valor do lenho inicial.

De maneira comparativa, pode-se indicar que diferenças de menor magnitude foram obtidas por Uner et al. (2009), sendo estas diferenças da ordem de 33 % entre as densidades correspondentes a lenho inicial e lenho tardio. Por outro lado, Jordan et al. (2008) encontraram variações próximas a 100 % em plantios de *Pinus taeda* de diferentes regiões dos Estados Unidos. Esse resultado foi semelhante ao obtido no presente estudo. A diferença de densidade entre lenho inicial e lenho tardio permite caracterizar a madeira de *Pinus taeda* em avaliação e cobra mais importância, no presente trabalho, na medida em que existem variações nas proporções destes, conforme o tratamento de manejo executado.

4.2.3 Percentagem de lenho tardio

Na Tabela 31, encontram-se apresentados os modelos calculados com a variável percentagem de lenho tardio transformada em arcosseno da raiz quadrada da proporção de lenho tardio (ArcLT). Entre os modelos testados, o modelo número 1 foi o que apresentou o melhor comportamento, mostrando o maior coeficiente de determinação e o menor coeficiente de variação, bem como uma distribuição dos resíduos homogênea (Apêndices Y e Z).

Com a realização da análise da covariância apresentada no Apêndice ZA, foi determinado que os tratamentos com e sem poda não apresentam

diferenças nos interceptos, chegando-se à obtenção de uma única função para ambos os tratamentos.

Da mesma maneira que para a densidade da madeira, a porcentagem de lenho tardio foi representada graficamente na Figura 26, onde pode-se visualizar que a distribuição dos pontos de porcentagem de lenho tardio, para os tratamentos com e sem poda, foi semelhante à encontrada para a densidade da madeira, observando-se uma leve tendência a se encontrar valores superiores no tratamento com poda.

Nos valores estimados pelo modelo, foi possível observar que os maiores percentuais de lenho tardio foram obtidos quando o desbaste foi realizado até 208 árvores/ha (40,2 %), diminuindo na medida em que o número de árvores/ha aumentou até atingir um valor mínimo de 29,3% para 1200 árvores/ha, em seguida, aumentando até 31,5 % com 1666 árvores/ha. A máxima diferença encontrada foi de 10,9 %.

Tabela 31 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever o arcosseno da raiz quadrada da proporção de lenho tardio em função do número de árvores remanescentes por ha após o desbaste aos 3 anos de idade em um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

Nº	Modelo	B ₀	b ₁	b ₂	R ² _{aj.}	CV (%)	F
1	ArcLT = b₀ + b₁ N + b₂ N²	0,74025	-0,00027867	1,151396E⁻⁷	0,26	10,4	8,5
2	ArcLT = b ₀ + b ₁ N	0,67665	-0,00005859	-----	0,17	10,9	9,3
3	ArcLT = b ₀ + b ₁ (1/N)	0,58035	21,74788	-----	0,21	10,7	11,9
4	ArcLT = b ₀ + b ₁ N ²	0,60274	3483,12	-----	0,17	10,9	9,5
5	ArcLT = b ₀ + b ₁ ln N	0,92713	-0,04661	-----	0,22	10,6	12,5

Em que: N° = Número do modelo; ArcLT = arcosseno da raiz quadrada da proporção de lenho tardio; N = número de árvores após o desbaste; b₀ = Coeficiente linear; b₁ e b₂ = Coeficientes angulares; R²_{aj.} = Coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = Coeficiente de variação em porcentagem; F = Valor de F calculado.

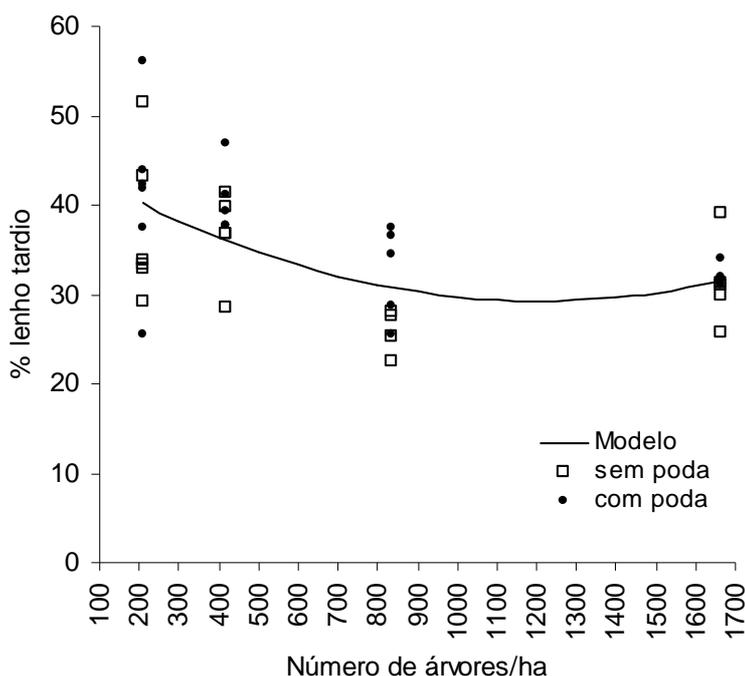


Figura 26 – Distribuição dos valores observados de percentagem de lenho tardio para os tratamentos com diferentes densidades de árvores/ha, com e sem poda, e os estimados pelo modelo para um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

O coeficiente de correlação de Pearson, calculado entre a densidade da madeira e a percentagem de lenho tardio, mostrou uma correlação positiva altamente significativa de 0,83, indicando que as duas variáveis oscilaram da mesma maneira.

Brito e Barrichelo (1977) obtiveram uma elevada correlação positiva entre percentagem de lenho tardio e densidade básica da madeira para *Pinus taeda* de 9 anos de idade e para *Pinus caribaea var hondurensis* de 16 anos de idade. No presente trabalho, os resultados de densidade e percentagem de lenho tardio mostraram como os tratamentos com maiores densidades da madeira apresentaram a maior proporção de lenho tardio, indicando a mesma tendência.

Resultados opostos foram encontrados por Uner et. al (2009) para *Pinus nigra*, nos quais as menores percentagens do lenho tardio foram obtidas nos tratamentos desbastados, atingindo valores de 40 e 45 %. Outros autores,

como Jones e Fox (2007), observaram a mesma tendência quando aplicaram fortes intensidades de desbaste em plantios de *Pinus taeda*, nos Estados Unidos.

No presente estudo, foram obtidos padrões similares de repositas para a densidade da madeira e lenho tardio ao variar a densidade de árvores após o desbaste e realizar intervenções de poda. Esses resultados mostram-se concordantes com o indicado por Larson et al. (2001). Os autores salientaram que a densidade da madeira apresenta os mesmos padrões de variação que os correspondentes ao lenho tardio, sendo que ambas as variáveis encontram-se altamente correlacionadas.

Nos Estados Unidos, Jordan et al. (2008) obtiveram variações de densidade da madeira em função dos locais, estando esta positivamente correlacionada com a percentagem de lenho tardio. Conforme os autores, os menores níveis de estresse hídrico e o maior período de crescimento no Sul do país explicaram a maior formação relativa de lenho tardio. Os autores encontraram variações de 40,1 a 33,8% entre regiões. Conforme estes resultados poderia se inferir que no tratamento de 208 e 416 árvores/ha do presente trabalho as árvores poderiam ter uma maior disponibilidade de água e em consequência menor estresse hídrico e maior crescimento durante o período de formação do lenho tardio levando a uma maior proporção final do mesmo.

4.2.4 Variação da densidade da madeira por número de anel

Na Tabela 32, apresentam-se os modelos avaliados para estimar a densidade da madeira em função do número de anel. O modelo 1 foi escolhido por apresentar o melhor ajuste e adequada distribuição dos resíduos, nas figuras dos Apêndices ZB e ZC, pode-se observar o comportamento do modelo e a distribuição homogênea dos resíduos ao longo do eixo X, correspondente ao valor estimado da densidade da madeira.

Tabela 32 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a densidade da madeira em função do número de anel para um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Nº	Modelo	b_0	b_1	$R^2_{aj.}$	CV (%)	F
1	$D = b_0 + b_1 A$	299,2985	13,2380	0,52	12,8	639,53
2	$D = b_0 + b_1 (1 / A)$	445,5492	-191,8106	0,25	16,05	195,81
3	$D = b_0 + b_1 A^2$	343,545	0,7620	0,49	13,3	548,90
4	$D = b_0 + b_1 \ln A$	265,0605	74,3926	0,45	13,7	482,60
5	$D = b_0 + b_1 (1 / A^2)$	417,9497	-129,305	0,11	17,5	73,94
6	$\ln D = b_0 + b_1 \ln A$	5,6277	0,1904	0,47	2,3	521,10

Em que: N° = Número do modelo; Ln D = Logaritmo neperiano da densidade; A = Número de anel; b_0 = Coeficiente linear; b_1 = Coeficiente angular; $R^2_{aj.}$ = Coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = Coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado.

Na Figura 27, foram apresentados os valores médios de densidade da madeira por número do anel dos oito tratamentos estudados, separados conforme o número de árvores por hectare. Na mesma, encontram-se diferenciados os tratamentos podados (negrito) dos não podados.

Nas densidades de 1666 árvores/ha, os tratamentos com e sem poda não apresentaram diferenças notórias na densidade da madeira por anel, aumentando o valor da densidade em ambos os tratamentos na medida em que aumentou o número do anel na direção medula - casca. Nas densidades intermédias (T8 e T13; T15 e T20), observou-se que, durante os primeiros anos (primeiros anéis) e a partir do início da poda, os tratamentos podados apresentaram valores superiores até, aproximadamente, o sétimo anel com relação aos não podados, para logo atingir valores similares até o anel nº 15. Já nos tratamentos mais espaçados (T22 e T27), observou-se que o tratamento com poda apresentou valores superiores ao sem poda entre os anéis 4 e 7, continuando, nos anéis seguintes, com valores semelhantes de densidade. Das observações realizadas, foi possível interpretar que, sob competição elevada, a poda não influenciou na densidade da madeira, pois o tratamento sem poda apresentou mortalidade de galhos e um crescimento levemente superior ao das árvores podadas, não afetando a densidade da madeira. Já nas densidades menores, nas quais os efeitos das podas nos crescimentos foram significativos, infere-se que, durante o período das podas,

a densidade da madeira aumentou, para logo continuar com valores similares aos não podados.

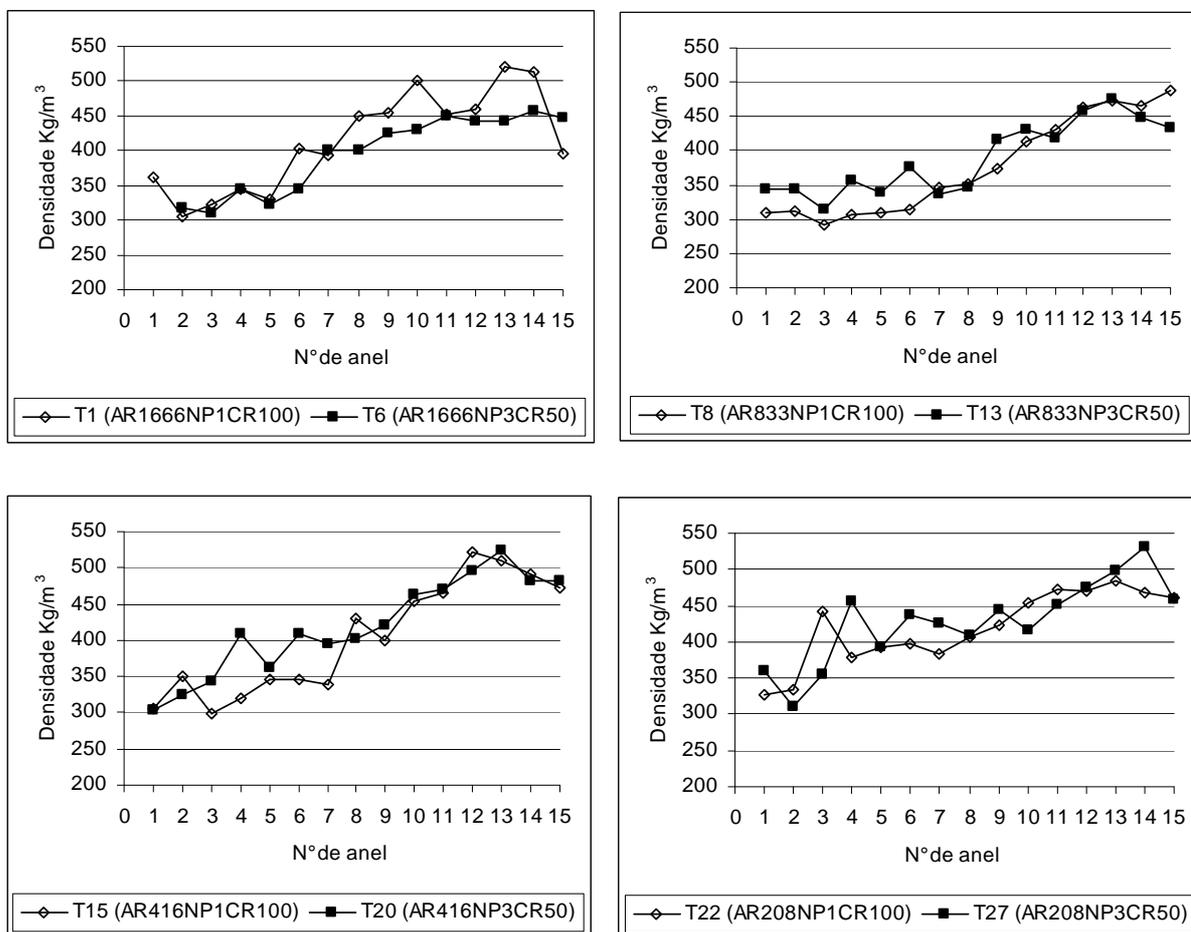


Figura 27 – Densidade da madeira por número do anel para os tratamentos sem poda (marcadores vazios) e com poda (marcadores cheios) nas diferentes densidades de árvores/ha avaliadas num povoamento de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Os valores de densidade foram crescentes na direção medula-casca, iniciando em valores entre 300 e 350 Kg/m^3 e atingindo valores entre 450 e 550 Kg/m^3 no anel número 15. Conforme Larson et al. (2001), dentro da zona de madeira juvenil, a densidade da madeira incrementa-se rapidamente com o incremento da idade do anel. A partir da zona de madeira juvenil, a densidade da madeira continua crescendo, porém, o crescimento é mais gradual devido a uma percentagem de lenho tardio mais constante, associada à maturidade do anel. Nas árvores avaliadas, ainda não ficou evidente a tendência

apresentada, sendo possível observar, em geral, uma tendência linear da densidade da madeira com relação ao número do anel até os anéis 12 e 13 e uma pequena tendência à estabilização após esses anéis.

Esses resultados são coincidentes com os apresentados por Zobel e Sprague (1998), em que muitas pesquisas, com diversas espécies do gênero *Pinus*, mostraram respostas lineares entre a densidade da madeira e o número do anel, sendo em *Pinus radiata* essa relação obtida até o anel número 22. Também Jordan et al. (2008) verificaram que a densidade da madeira do *Pinus taeda*, nos Estados Unidos, aumentou de maneira quase linear nos primeiros 12 anos de idade, para logo começar a se estabilizar. Conforme o apresentado por Pauleski (2010) para *Pinus taeda* no Sul do Brasil, a transição entre o lenho juvenil e o adulto ocorre entre os 11 e 13 anos de idade, período no qual foi observado, no presente trabalho, uma tendência ao início da estabilização da densidade da madeira.

4.2.5 Número de anéis por polegada

Na Figura 28, foram agrupadas as médias de número de anéis por polegada, a partir da medula, dos tratamentos com diferentes intensidades de desbaste e com e sem poda, sendo possível observar que, na densidade de 1666 árvores/ha, o número de anéis por polegada atinge os máximos valores na quinta polegada a partir da medula, chegando a superar os 7 anéis no tratamento sem poda. Já na densidade de 833 árvores/ha, os valores máximos obtidos na sexta polegada superam levemente os 5 anéis por polegada, e na densidade de 416 árvores/ha, o máximo valor foi atingido na sexta polegada, superando os 6 anéis por polegada. Na densidade de 208 árvores/ha, o máximo número de anéis foi obtido na oitava polegada, com 4 anéis por polegada. A tendência, em todos os tratamentos, foi encontrar 2 ou menos anéis por polegada nas primeiras polegadas próximas à medula, sendo isso uma consequência do rápido crescimento inicial apresentado na região de estudo. Essa característica pode ser usada para classificar visualmente a madeira estrutural, sendo condição que o número de anéis seja maior a 4

anéis por polegada para classificar nessa categoria. Somente em densidades elevadas e a partir de idades próximas aos 15 anos, poderia-se esperar obter toras com peças estruturais sob essa denominação.

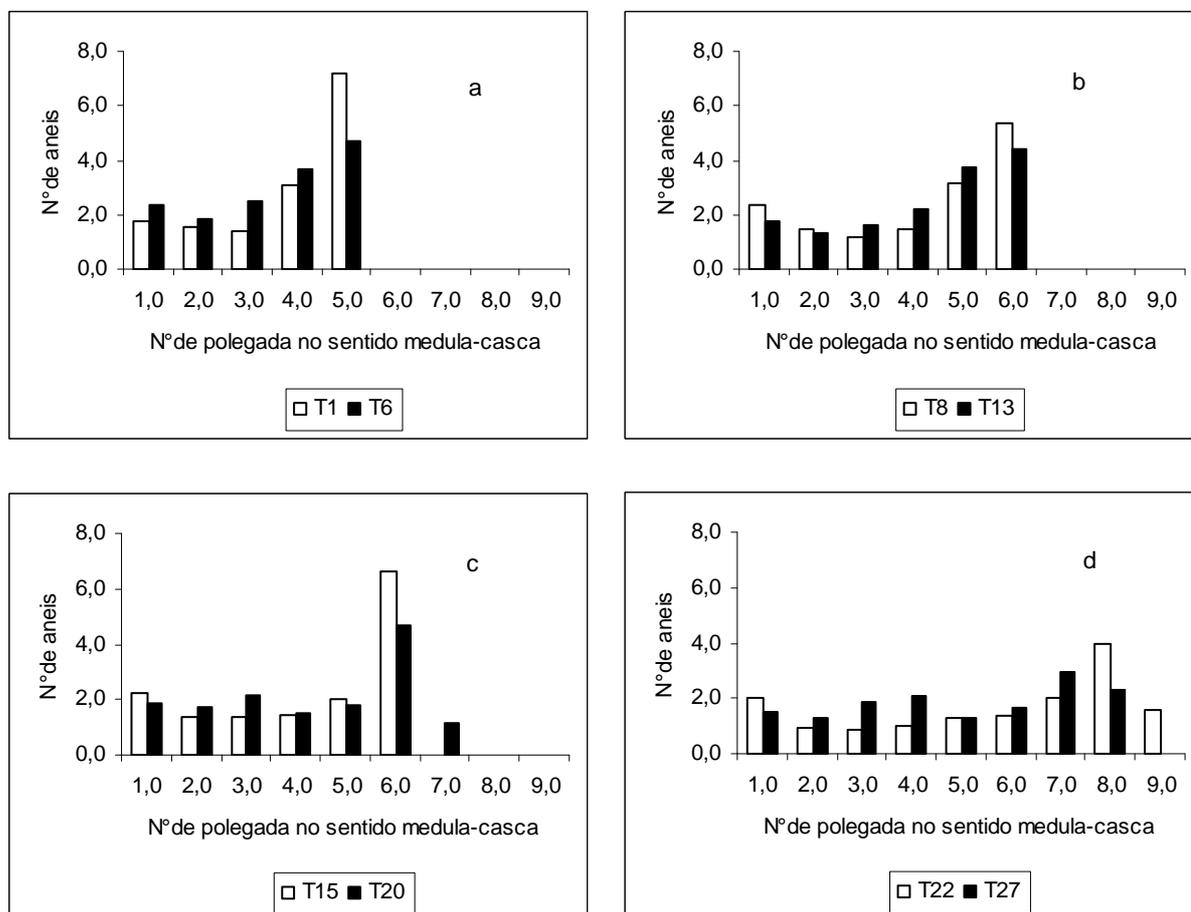


Figura 28 – Número de anéis por polegada a partir da medula para os tratamentos sem poda (colunas vazias) e com poda (colunas cheias) nas densidades de: a) 1666; b) 833; c) 416; d) 208 árvores/ha para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

4.3 Análise econômica

4.3.1 Análise econômica para diversos manejos

Os tratamentos do Grupo 1, avaliados a diferentes idades, e os resultados correspondentes ao valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), valor anual equivalente (VAE), relação benefício/custo (B/C) e custo médio de produção (CMP) são apresentados na Tabela 33. Pode-se observar que, nas três idades avaliadas, os tratamentos sem desbaste (T1 e T6) e os desbastados até 208 árvores/ha (T22 e T27) apresentaram os menores valores de VPL, TIR e B/C, sendo o VPL negativo nos tratamentos T1, T6 e T22.

Nas três idades estudadas, os tratamentos que apresentaram os melhores resultados com relação ao VPL, TIR e B/C correspondem àqueles que foram desbastados até 416 plantas/ha (T20 e T15) e 833 plantas/ha (T8 e T13). Com relação às podas, nas densidades de 416 e 208 árvores por hectare, os tratamentos podados sempre apresentaram melhores resultados econômicos que os não podados. Já na densidade de 833 árvores por hectare, os tratamentos com poda foram melhores economicamente que os não podados ou muito semelhantes (18 anos); porém na densidade de 1666 árvores/ha, o tratamento sem poda obteve melhor resultado econômico nas três idades de corte raso.

Os tratamentos que apresentaram os menores custos médios de produção (CMP), para as três idades, foram o T1 e o T8, devido aos menores custos, por não terem sido podados e apresentarem uma alta produtividade de metros cúbicos de madeira devido à elevada densidade de árvores/ha (1666 e 833). Conseqüentemente, a relação entre custos incorridos e metros cúbicos produzidos foi menor nesses cenários.

O VAE foi negativo para os tratamentos T1, T6 e T22, aumentado de maneira negativa na medida em que a idade foi maior. Os tratamentos T20, T8, T13, T15 e T27 apresentaram valores positivos, observando-se os maiores valores para o tratamento T20 (416 árvores/ha e podado), com 15 e 18 anos de rotação.

Tabela 33 – Resultados da análise econômica dos tratamentos do Grupo 1 (densidade inicial 1666 árvores/ha) com corte raso aos 15, 18 e 21 anos para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

T	Caracterização	Idade corte raso (anos)	VPL (US\$/ha)	TIR %	VAE (US\$/ha)	R B/C	CMP (US\$/m ³)
T20	AR416NP3CR50	15	785,14	10,6	91,73	1,29	22,91
T13	AR833NP3CR50	15	653,71	10,2	76,37	1,20	20,43
T8	AR833NP1CR100	15	607,62	10,3	70,99	1,21	15,91
T15	AR416NP1CR100	15	582,47	10,2	68,05	1,23	18,53
T27	AR208NP3CR50	15	354,62	9,3	41,43	1,15	30,83
T22	AR208NP1CR100	15	-44,91	7,8	-5,25	0,98	26,26
T1	AR1666NP1CR100	15	-157,46	7,3	-18,40	0,95	17,18
T6	AR1666NP3CR50	15	-195,60	7,3	-22,85	0,95	22,84
T20	AR416NP3CR50	18	803,69	10,2	85,76	1,30	24,53
T15	AR416NP1CR100	18	507,07	9,6	54,11	1,20	20,08
T8	AR833NP1CR100	18	445,56	9,4	47,54	1,16	17,56
T13	AR833NP3CR50	18	439,94	9,2	46,94	1,14	23,03
T27	AR208NP3CR50	18	326,77	9,0	34,87	1,14	33,23
T22	AR208NP1CR100	18	-93,18	7,7	-9,94	0,96	28,15
T1	AR1666NP1CR100	18	-371,16	6,5	-39,60	0,88	19,40
T6	AR1666NP3CR50	18	-497,41	6,5	-53,07	0,86	25,97
T20	AR416NP3CR50	21	583,26	9,4	50,39	1,22	27,53
T15	AR416NP1CR100	21	250,44	8,7	25,00	1,10	22,74
T13	AR833NP3CR50	21	220,87	8,5	22,05	1,07	25,50
T8	AR833NP1CR100	21	154,86	8,4	15,46	1,06	20,07
T27	AR208NP3CR50	21	3,13	8,0	0,31	1,00	38,92
T22	AR208NP1CR100	21	-327,01	7,0	-32,65	0,86	32,15
T1	AR1666NP1CR100	21	-620,61	5,8	-61,96	0,78	22,50
T6	AR1666NP3CR50	21	-834,19	5,8	-83,28	0,76	30,34

Em que: VPL = valor presente líquido; TIR = taxa interna de retorno; VPE = valor periódico equivalente, R (B/C) = relação benefício/custo e CMP = custo médio de produção. AR833; AR416 e AR208 = códigos correspondentes as densidades de 833; 416 e 208 árvores/ha respectivamente, após o desbaste pré-comercial realizado aos 3 anos de idade. AR1666 = densidade inicial de 1666 árvores/ha sem desbaste; NP1 = sem poda; NP3 = com 3 podas anuais; CR100 = sem poda (copa remanescente 100%); CR50 = 50 % de copa remanescente após a poda.

Na Tabela 34, podem ser observados os resultados das análises para os tratamentos modificados. Nas três idades estudadas, os tratamentos que apresentaram os melhores resultados com relação ao VPL, TIR e B/C correspondem àqueles que foram desbastados até 416 árvores/ha (T20 e T15) e 208 árvores/ha com poda (T27). Com relação às podas, nas densidades de 416 e 208 árvores por hectare, os tratamentos podados sempre apresentaram melhores resultados econômicos que os não podados. Já na densidade de 833 árvores por hectare, os tratamentos com poda foram melhores economicamente que os não podados ou muito semelhantes (18 anos); porém,

na máxima densidade (1666 árvores/ha), o tratamento sem poda obteve melhor resultado econômico nas três idades de corte raso.

Tabela 34 – Resultados da análise econômica dos tratamentos do Grupo 2 (densidade inicial variável árvores/ha) com corte raso aos 15, 18 e 21 anos para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Tm	Caracterização	Idade corte raso (anos)	VPL (US\$/ha)	TIR %	VAE (US\$/ha)	R B/C	CMP (US\$/m ³)
T20m	AR416NP3CR50	15	1055,63	11,9	123,33	1,43	20,63
T15m	AR416NP1CR100	15	852,96	11,5	99,65	1,38	16,53
T27m	AR208NP3CR50	15	839,45	11,7	98,07	1,44	24,61
T13m	AR833NP3CR50	15	653,73	10,2	76,37	1,20	20,43
T8m	AR833NP1CR100	15	607,63	10,3	70,99	1,21	15,91
T22m	AR208NP1CR100	15	439,92	10,3	51,40	1,25	20,64
T1m	AR1666NP1CR100	15	-157,45	7,3	-18,39	0,95	17,18
T6m	AR1666NP3CR50	15	-195,58	7,3	-22,85	0,95	22,84
T20m	AR416NP3CR50	18	1074,19	11,1	114,62	1,44	22,06
T27m	AR208NP3CR50	18	811,60	10,9	86,60	1,42	26,57
T15m	AR416NP1CR100	18	777,57	10,6	82,97	1,35	17,89
T8m	AR833NP1CR100	18	445,58	9,4	47,54	1,16	17,56
T13m	AR833NP3CR50	18	439,96	9,2	46,94	1,14	23,03
T22m	AR208NP1CR100	18	391,65	9,6	41,79	1,22	22,18
T1m	AR1666NP1CR100	18	-371,15	6,5	-39,60	0,88	19,40
T6m	AR1666NP3CR50	18	-497,40	6,5	-53,07	0,86	25,97
T20m	AR416NP3CR50	21	853,76	10,1	85,23	1,36	24,74
T15m	AR416NP1CR100	21	520,94	9,5	52,01	1,24	20,24
T27m	AR208NP3CR50	21	487,96	9,4	48,71	1,24	31,42
T13m	AR833NP3CR50	21	220,88	8,5	22,05	1,07	25,50
T22m	AR208NP1CR100	21	157,82	8,6	15,76	1,09	25,39
T8m	AR833NP1CR100	21	154,87	8,4	15,46	1,06	20,07
T1m	AR1666NP1CR100	21	-620,60	5,8	-61,96	0,78	22,50
T6m	AR1666NP3CR50	21	-834,17	5,8	-83,28	0,76	30,33

Em que: Tm = tratamento modificado, VPL = valor presente líquido; TIR = taxa interna de retorno; VPE = valor periódico equivalente, R (B/C) = relação benefício/custo e CMP = custo médio de produção. AR833; AR416 e AR208 = códigos correspondentes as densidades de 833; 416 e 208 árvores/ha respectivamente, após o desbaste pré-comercial realizado aos 3 anos de idade. AR1666 = densidade inicial de 1666 árvores/ha sem desbaste; NP1 = sem poda; NP3 = com 3 podas anuais; CR100 = sem poda (copa remanescente 100%); CR50 = 50 % de copa remanescente após a poda.

Os tratamentos modificados (Tabela 34) que apresentaram os menores custos médios de produção (CMP), para as três idades, foram T8 e T15, os quais não foram podados. O VAE foi negativo para os tratamentos T1 e T6, aumentado de maneira negativa na medida em que a idade foi maior. Os tratamentos T20, T15, T27, T13, T8 e T22 apresentam valores positivos,

observando-se os maiores valores para o tratamento T20 (416 árvores/ha com poda) com 15 e 18 anos de rotação, seguido do T13 com rotação de 15 anos.

Os tratamentos avaliados no presente trabalho não são frequentemente usados na produção florestal, porém, foram avaliados com a finalidade de entender como as diversas intensidades de desbastes pré-comerciais e tratamentos com e sem poda podem influir na rentabilidade. Por outra parte, alguns desses tratamentos (desbastes intensos 406 e 208 árvores/ha) poderão ser combinados com a criação de gado, num sistema silvipastoril (SSP), na mesma superfície, gerando uma maior rentabilidade por unidade produtiva.

Da comparação dos resultados das Tabelas 33 e 34, pode ser deduzido que, quando as densidades de árvores por hectare foram o dobro das definidas após o desbaste, o resultado econômico melhorou devido à redução dos custos para obter a mesma produção final. Com isso, alcançaram-se valores máximos de VPL de 1055,6 US\$/ha e TIR de 11,9, quando são plantadas 833 árvores/ha e desbastadas aos 3 anos, deixando 416 árvores remanescentes podadas/ha.

À continuação, podem ser observadas algumas comparações com estudos de rentabilidade publicados por diversos autores, porém deve-se considerar fundamentalmente que a produção, os custos, os preços e as taxas de juros consideradas são próprios de cada situação analisada e, em muitas ocasiões, diferentes entre si. A taxa de câmbio considerada para a conversão de moedas foi de 1,6731 R\$ por dólar americano, conforme o Banco Central do Brasil (24/01/2011).

As rentabilidades obtidas no presente estudo foram similares às apresentadas por Cubagge et al. (2007) para a província de Corrientes, Argentina, no entanto, deve-se considerar que, no presente trabalho, encontram-se diferenciados os tratamentos com e sem poda e os tratamentos de desbastes pré-comerciais não tradicionais no setor florestal da região.

Os pesquisadores Bussoni e Cabris (2006) avaliaram diferentes regimes de manejo para *Pinus taeda*, em diversos sítios no Uruguai, e obtiveram que os melhores resultados econômicos foram atingidos com um regime de corte raso aos 24 anos, dois desbastes comerciais e duas podas até 5 m de altura. A TIR obtida nessa condição foi de 11,3 %. Regimes mais intensivos com desbastes pré-comerciais apresentaram uma TIR de 9,9 %, sendo menos

rentáveis e inferiores às apresentadas no melhor tratamento do presente estudo.

Resultados superiores de rentabilidade aos obtidos no presente estudo foram apresentados por Schneider (2006) para plantios de *Pinus taeda*, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A expectativa econômica apresentada para um esquema de manejo com 3 desbastes e corte raso aos 25 anos foram: TIR = 16,2 %; VPL = 5312,9 R\$/ha (3177,6 US\$/ha); R B/C = 2,2 e VAE = 595,7 R\$/ha/ano (356,3 US\$/ha/ano), sendo o investimento altamente rentável. Para o autor, quando esse sistema é combinado com pecuária, a rentabilidade tende a aumentar. Também Scolforo et al. (2001), avaliando diferentes regimes de desbaste e de desrama para *Pinus taeda*, no estado de Paraná, Brasil, verificaram que, nos sítios mais produtivos, o plantio com 833 árvores/ha, desbaste pré-comercial até 500 árvores/ha e desrama aos 4 anos, desbaste comercial aos 12 anos até 400 árvores/ha, desbaste comercial aos 14 anos até 100 plantas/ha e corte raso aos 21 anos foi o mais rentável. O valor presente líquido geral, obtido quando o preço da madeira desramada duplicou em relação à não desramada, foi de 7324,05 R\$/ha (4377,5 US\$/ha), sendo esse valor superior ao obtido neste trabalho.

Valores de TIR similares aos obtidos no presente trabalho foram encontrados por Floriano (2008) avaliando regimes de manejo para *Pinus elliottii* na Serra do Sudeste de Rio Grande do Sul, sendo que para um índice de sitio (IS) 28 (idade de referência de 22 anos) a TIR foi de 8,14 % e para o IS 34 a TIR obtida foi de 11,4 %. O autor indicou que o regime com um corte raso aos 26 anos e 4 desbastes realizados em ciclos de 4 anos, iniciando-se os cortes aos 10 anos, constitui uma boa opção econômica para o produtor.

Em sítios próximos ao local do estudo, Pezzutti et al. (2008) avaliaram diferentes regimes de manejo sem poda para plantios de *Pinus taeda*, concluindo que, nos sítios mais produtivos, o esquema de manejo com desbastes aos 7 e 11 anos e corte raso aos 21 anos apresentou, em geral, os melhores resultados econômicos, sendo o VPL = 718 US\$/ha; a TIR = 10,1%; a R(B/C) = 1,33; o CMP: 11,6 US\$/m³ e o VAE = 71,7 US\$/ha. Os valores apresentados de VPL, TIR e VAE são inferiores aos obtidos no presente trabalho, em que o tratamento com 3 podas e desbaste pré-comercial a 416 árvores/ha e corte raso aos 15 ou 18 anos apresentou os melhores resultados.

No presente estudo, o tratamento T20 apresentou os melhores resultados devido à combinação da produção de madeira em quantidade e qualidade. Na Figura 23, foi observado que o tratamento de 416 árvores/ha apresentou os máximos valores para o tratamento sem poda e com poda. Essa produção, associada aos custos desde o estabelecimento até a colheita e às receitas provenientes da mesma no momento do corte raso, foram os fatores principais que influenciaram na rentabilidade obtida.

5 CONCLUSÕES

5.1 Crescimento e produção

a) Os desbastes pré-comerciais afetam positivamente o crescimento do diâmetro da árvore de área basal média enquanto que, as podas o afetam de maneira negativa. O crescimento em dg diminui com o aumento da porcentagem de remoção de copa viva e do número de podas.

b) As podas têm uma menor influência no crescimento em dg quando as densidades de árvores/ha são elevadas (1666 árvores/ha).

c) Os desbastes pré-comerciais intensos e as desramas diminuem significativamente a área basal/ha. Quanto maior a quantidade de copa viva removida e maior o número de anos de poda, a diminuição de área basal/ha é maior.

d) A distribuição de diâmetros mais frequente é a normal, a qual apresenta maior desvio padrão com o aumento da idade, do número de árvores e do diâmetro da árvore de área basal média.

e) O diagrama de manejo de densidade obtido é uma ferramenta útil para o planejamento de desbastes em povoamentos de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

f) Nas densidades elevadas (1666 e 833 árvores/ha) se produz mortalidade por concorrência a partir dos 6 anos de idade enquanto que, nas densidades de 416 e 208 árvores/ha, não há mortalidade por concorrência até os 15 anos.

g) A altura total não é influenciada pelos tratamentos de desbastes e podas, alcançando o povoamento de *Pinus taeda*, aos 15 anos, 23,8 metros.

h) O comprimento de copa é influenciado pelos desbastes e pelas podas, sendo maior quando o número de árvores/ha diminui e quando as podas são menos intensas e menos freqüentes.

i) Com maiores comprimentos de copa, observam-se maiores crescimentos em diâmetro da árvore de área basal média.

j) Aos 16 anos de idade, as árvores apresentam maior conicidade à medida que cresce a intensidade de desbaste.

k) Quando os desbastes são mais intensos, as produções volumétricas finais tendem a diminuir. As podas também reduzem a produção volumétrica final.

l) A produção de produtos *clear* (toras podadas), obtida com remoção do 50 % da copa viva por três anos em todas as árvores, é aproximadamente 50 % da produção total obtida.

m) O volume produzido de produtos de maior valor varia consideravelmente em função da intensidade do desbaste, diminuindo na medida em que a densidade de árvores/ha aumenta. O desbaste a 416 plantas/ha apresentou a maior produção/ha de produtos destinados à laminação, serraria 1 e serraria 2.

5.2 Qualidade da madeira

Para as condições de crescimento apresentadas no presente trabalho, conclui-se que:

a) A intensidade dos desbastes pré-comerciais influencia significativamente na densidade da madeira ao nível do DAP. Maiores densidades da madeira são obtidas quando as intensidades de desbaste pré-comercial são maiores (208 a 416 árvores remanescentes/ha).

b) A poda não afeta significativamente a densidade da madeira e a percentagem do lenho tardio ao nível do DAP.

c) Aos 16 anos de idade, o valor médio de densidade do lenho inicial, ao nível do DAP, é 89% inferior ao valor médio de densidade do lenho tardio. O valor médio de densidade de lenho inicial foi de 287,7 Kg/m³ e de lenho tardio de 545 Kg/m³.

d) A intensidade de desbaste afeta significativamente a percentagem do lenho tardio. Os tratamentos com maiores intensidades de desbaste apresentam maiores percentagens de lenho tardio.

f) A intensidade de desbaste afeta o número de anéis por polegada, diminuindo o número de anéis/polegada na medida em que a intensidade do desbaste aumenta.

h) A densidade da madeira aumenta na direção medula-casca com uma tendência linear. Quando são praticados desbastes, a poda tende a afetar a densidade da madeira, aumentando o valor nos anéis relacionados ao período de poda.

5.3 Análise econômica

Considerando os custos e preços definidos para as análises econômicas e a produção estimada no presente estudo, conclui-se que:

a) A poda melhora a rentabilidade quando são praticados desbastes pré-comerciais aos 3 anos de idade.

b) Quando não são praticados desbastes, os resultados econômicos são inferiores, resultando negativos em algumas ocasiões.

c) As melhores rentabilidades são obtidas quando são realizados desbastes pré-comerciais a densidades finais de 416 árvores por hectare e praticada a poda das árvores.

d) Rotações mais curtas apresentam melhores resultados econômicos. O tratamento de 416 árvores por hectare após o desbaste pré-comercial apresenta os melhores resultados econômicos nas idades de 15 e 18 anos.

e) A densidade inicial do plantio influencia na rentabilidade quando são aplicados desbastes pré-comerciais, sendo conveniente plantar o dobro das árvores/ha desejadas ao final da rotação, sempre que seja utilizado material genético de qualidade e homogêneo e aplicada uma silvicultura adequada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

a) Os desbastes pré-comerciais e as podas afetam o crescimento, a produção e a qualidade da madeira das árvores, sendo ferramentas-chave para a obtenção de produtos de maior valor.

b) Os desbastes e podas intensos diminuem a produção total, porém permitem obter produtos de maior valor.

c) Conforme os objetivos da produção, os desbastes e as podas podem ser planejados para obter os produtos desejados em quantidade e qualidade.

d) O modelo obtido para estimar o diâmetro da árvore de área basal média ao considerar intensidades de desbastes pré-comerciais, número de podas e percentagem de remoção de copa viva é uma ferramenta útil para o produtor florestal e silvipastoril desde que, na atualidade não existem simuladores disponíveis para fazer estas estimações.

e) O diagrama de manejo de densidade obtido é uma ferramenta que pode ser empregada para definir o manejo da densidade de povoamentos de *Pinus taeda*, por meio dos desbastes, controlando o número de árvores/ha e/ou a área basal/ha em função do diâmetro da árvore de área basal média (dg).

f) O efeito encontrado dos desbastes na densidade da madeira, no qual maiores crescimentos apresentam maiores densidades da madeira, fixa as bases para mudar o pensamento geral do silvicultor de que a maiores crescimentos correspondem menores densidades da madeira.

g) Os regimes de manejo com desbastes pré-comerciais e podas em povoamentos de *Pinus taeda* no Nordeste da Argentina influenciam claramente nos resultados econômicos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF: Ano base 2007**. ABRAF: Brasília, 2008. 87 p.

AMATEIS, R. L.; BURKHART, H. The influence of thinning on the proportion of peeler, sawtimber, and pulpwood trees in Loblolly pine plantations. **South African Journal of Applied Forestry**, v. 29, n 3, p. 158-162. 2005.

AMATEIS, R.; RADTKE, P.; HANSEN, G. The effect of spacing rectangularity on stem quality in loblolly pine plantations. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34: p. 498-501. 2004.

ASSMAN, E. **The principles of forest yield study**. 1st ed. New York: Pergamon Press. 1970. 506 p.

AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 5th ed. New York: MacGraw-Hill. 2002. 456 p.

BAILLÈRES, H.; DURAND, P. Y. Non-destructive techniques for wood quality assessment of plantation-grown teak. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 263, n. 1, p. 17-29 . 2000.

BALDWIN, Jr. C. V. et al. The effect of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old Loblolly Pine. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v. 137, p. 91-102. 2000.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Conversão de moedas**. Data de cotação: 24/01/2011. Disponível: <http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/Resultado.asp?idpai=convmoeda>, acessado em 25 de janeiro de 2011.

BRITO J. O.; BARRICHELO, L.E.G. Correlação entre teor de lenho tardio e densidade básica para espécies do gênero Pinus. **Serie Técnica do IPEF**. Piracicaba. Circular Técnica N°30. IPEF, 1977.

BUSSONI, A.; CABRIS, J. Regímenes silvícolas y retorno financiero para *Pinus taeda* en las zonas litoral oeste y nordeste de Uruguay. **Agrociencia**, v. x, n. 2. p. 125-135. 2006.

CABELLO M. M. **Manual Práctico de Manejo**. Capítulo IV, Podas y Raleos. Fundación Chile. p 57 – 70. 2005.

CARREIRA, M. A.; DIAS A. Classificação visual de coníferas: análise da aplicação do método norte-americano às espécies de *Pinus sp.* plantadas no Brasil. **Scientia Forestalis**. N.67, p.78-87. 2005.

CÁTEDRA DE CLIMATOLOGIA AGRICOLA. Universidad Nacional de Entre Ríos – Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2009. Disponível em: <http://www.cicytp.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/tema8.pdf> (Acesso em: 2 de Abril de 2010).

COIFORM. Boletín de precios de rollos de especies implantadas. **Argentina Forestal**, p. 24, 2010.

COSTAS, R. et al. Modelos de la producción de *Pinus taeda* empleando variables vinculadas con las podas. **Bosque**, v.27, n. 2, p. 98-107, 2006.

CRECHI, E. H. et al. Efectos de la intensidad y oportunidad de raleo en *Pinus taeda* L. sobre el crecimiento y la producción hasta los 13 años de edad, en el departamento de Iguazú, provincia de Misiones, Argentina. INTA, EEA Montecarlo; Montecarlo, 29 p. 2000.

CRECHI, E. H. et al. Efectos del raleo en *Pinus taeda*. **Idia XXI**, año V, n. 8. INTA. Buenos Aires. p. 43-47. Julio 2005.

CRECHI, E. H., et al. Efecto de la intensidad y oportunidad de raleo en *Pinus taeda* L. sobre la producción de madera en el noroeste de Misiones. In: 11^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, Eldorado, **Anais...** Eldorado: FCF, UNAM, EEA Montecarlo INTA. 10 p. 2004.

CUBBAGE F. et al. Timber investment returns for selected plantations and native forests in South America and the Southern United States. **New Forests**, v. 33: p. 237-255. 2007.

DANIEL, T.; HELMS, J. BACKER, F. **Principios de Silvicultura**. McGraw Hill. 2^{ed} México. 1982. 487p.

DEAN, T.; BALDWIN, C. Using a Density-management Diagram to develop thinning schedules for Loblolly Pine plantations, **USDA Forest Services**, New Orleans. 7 p. Agosto, 1993.

DOMÍNGUEZ, M. D.; BRAVO, F.; DEL RIO, M. Modelos de copa de *Pinus sylvestris* L. em bosques del centro de España. **Interciencia**. Caracas, v. 31, n.3, p 168-175, 2006.

ELIZONDO, M. **Primer inventario forestal de la Provincia de Corrientes**. Metodología, trabajo de campo y resultados. Consejo Federal de Inversiones, Provincia de Corrientes. 66 p. 2009.

ESCOBAR, J. et al. **Mapa de suelos de la provincia de Corrientes**. Gobierno de la provincia de Corrientes e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Corrientes, 1996. 429 p.

ESPINOSA, B. M.; GARCIA, S. J.; VALERIA, E. O. Efecto de intensidades diferentes de raleo en el crecimiento de un rodal de pino radiata. **Bosque**, Valdivia, v. 15, n. 1, p. 55-65. 1994.

FAO. **Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina**. Documento de trabajo. Informe Nacional Argentina. 2004. 67 p

FAO. **Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Roma, 2006. 320 p.

FASSOLA H. E. et al. Crecimiento de árboles dominantes en fase juvenil de *Pinus taeda* L en el NE de Corrientes sometidos a distintos tratamientos silvícolas. **Informe final PIA 20/96 "Manejo intensivo de *Pinus taeda* L"**. Montecarlo, 18 p. 1999.

FASSOLA, H. et al. Determinación del cilindro con defectos en rollizos podados de *Pinus taeda* L. y su relación con el rendimiento en madera libre de nudos. **RIA, Revista de Investigaciones Agropecuarias**, Buenos Aires, v. 31, n.1, p.121-138, 2000.

FASSOLA, H. et al. Evolución de las principales variables de árboles de *Pinus taeda* L. sometidos a diferentes tratamientos silviculturales en el nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12. n.2, p.51-60. 2002.

FASSOLA, H., VIDELA, D., FALHER, J. Determinación del diámetro del cilindro con defectos y análisis tridimensional de propiedades internas en trozas podadas de *Pinus caribaea* var *caribaea* mediante técnicas de disección por corte plano. **Informe Técnico N° 58** . INTA, Montecarlo. 2005a.

FASSOLA, H.E. et al. Factores que influncian la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* VALLS, bajo dosel de *Pinus taeda* L. en el nordeste de Corrientes. **RIA, Revista de Investigaciones Agropecuarias**, Buenos Aires, v. 34, n.3,. p. 21-38. Decembro, 2005b.

FLORIANO, E, P. **Efeito da desrama sobre o crescimento e a forma de *Pinus elliottii* Engelm.** 2004. 93 p. Tese (Mestrado em Enghenaria Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004.

FLORIANO, E, P. **Subsídios para o planejamento da produção de *Pinus elliottii* Engelm. na serra do sudeste, Rio Grande do Sul.** 2008. 178 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.

GARBER, S.; MAGUIRE, D. Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.179, p. 507-522. 2003.

GINGRICH, S. F. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forests in the central states. **Forest Science**, v. 13, n.1, p.38-53. 1967.

GULLER, B. The effects of thinning treatments on density, MOE, MOR and maximum crushing strength of *Pinus brutia* Ten. Wood. **Annals of Forest Science**, v. 63, p. 467-475, 2007.

HARMS, W.; WHITESELL, C.; DEBELL, D. Growth and development of loblolly pine in a spacing trial planted in Hawaii. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.126, p. 13-24. 2000.

HARRINGTON, T. B. **Silvicultural approaches for thinning southern pines: method, intensity, and timing.** Georgia, USA: University of Georgia. Publ. n. FSP001. 17p. 1997.

HOPPE, M. H.; FREDDO, A. R. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm., no Município de Piratini, RS. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v 13, n.2, p. 47-56. 2003.

HUBERT M.; COURRAUD R. **Poda y formación de los árboles forestales**. Madrid: Ediciones Mundi - Prensa. 1989. 300 p.

JACK, S.B.; LONG, J. N. Linkages between silviculture and ecology: an analysis of density management diagrams. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.86, p. 205-220. 1996.

JONES, D.; FOX, T. Wood density in *Pinus taeda* x *Pinus rigida* and response 10 years after thinning in Virginia. **Forest Products Journal**, v. 57, p. 70-73,. 2007.

JORDAN, L. et al. Regional variation in wood specific gravity of planted loblolly pine in the United States. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 38, p. 698-710, 2008.

KELLER, A.; E.; FASSOLA, H. E.; PACHAS, N. Efecto de la poda y raleo sobre el crecimiento de *Pinus taeda* L. a los 11 años de edad en el departamento de Iguazú, Misiones. In: 11^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, Eldorado, **Anais...** Eldorado: FCF, UNAM, EEA Montecarlo INTA. 2004. 8 p.

KOZLOWSKI, T. Tree Growth. In: Kozlowski T. **Tree Growth**. New York, The Ronald Press Company.1963, p. 149-164.

KRAJICEK, J. E.; BRINKMAN, K. A.; GINGRICH, S. F. Crown competition factor – A measure of density. **Forest Science**. vol. 7, n.1, p. 35-42. 1961.

KURTZ, V. D.; FERRUCCHI, M. R. **Poda forestal**. Cartilla técnica N° 2. INTA. 2004. 16 p.

LARSON, P. R. Auxin gradient and the regulation of cambial activity. In: Kozlowski T. **Tree Growth**. New York, The Ronald Press Company.1963, p. 97-117.

LARSON, P. R. et al. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines. A synopsis**. General Technical report 129, USDA Forest Service. 2001. 42 p.

LEITE, H. G.; GILCIANO, S. N.; MOREIRA, A. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Arvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.603-612, 2006.

LIU, J.; BURKHART, H. E.; AMATEIS, R. L. Projecting crown measures for loblolly pine trees using a generalized thinning response function. **Forest Science**, v. 41, n. 1, p 43-53, 1995.

LONG, J.; SHAW, J. D. A density management diagram for even-aged Ponderosa pine stands. **Western journal of applied forestry**. Washington State University. v.20, n. 4, p.205-215, 2005.

MACFARLANE, D. W.; GREEN, E. J. e BURKHART, H. E. Population density influences assessment and application of site index. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, p. 1472-1475, 2000.

MACHADO, S. F. Implicações técnicas e econômicas na utilização da desrama artificial., **Serie Técnica do IPEF**, Circular Técnica N°46, 12 p, Abril, 1979.

MACLAREN, J. P. **Radiata pine growers' manual**. FRI Bulletin n° 184. New Zealand Forest Reserach Institute.1993. 140 p.

MASATOSHI, E.; VELEZ MESA, G. Results of a pruning trial with *Pinus patula* in Colômbia. **IPEF International**, Piracicaba, v. 2, p. 45-49, 1992.

MONTAGNA, R. G. et al. Influência da desrama artificial sobre o crescimento e a densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* . **Serie Técnica IPEF**, Piracicaba, v.9, n.27, p. 35-46, 1993.

MOWAT, E. Effect of pruning on growth of Ponderosa pine. **Forest research notes**. US Forest Service, Oregon, v. 38, 3 p. 1947.

NETTO, C. C. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos**. 2008. 105 p. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.

NEWTON. P. F. Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. **Forest ecology and management**. Amsterdam. v 98. p. 251-265. 1997.

PAULESKI, D. T. **Influencia do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 196 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

PELTOLA, H.; et al. Effects of early thinning regime and tree status on the radial growth and wood density of scots pine. **Silva Fennica**, v. 41, n. 3, p. 489-505. 2007.

PEREIRA, J. C. D.; TOMASELLI, I. A influência do desbaste na qualidade da Madeira de *Pinus elliottii* Engelm. Var *elliottii*. **Boletim de Pesquisa**, Colombo, v.49, p.61-81, 2004.

PEZZUTTI, R. et al. Crescimento e rentabilidade de plantios de *Pinus taeda* L. na margem do rio Uruguay, Argentina. In: 4º Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal, 2008, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 2008. p.190-196.

PEZZUTTI, R. Planificación del manejo de rodales coetáneos de *Pinus sp.* In: 4º Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal, 2008, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 2008.p. 469-477.

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

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica de projetos florestais.** Viçosa: UFV. 2001. 389 p.

SAMUELSON, L. J. et al. Maximum growth potential in Loblolly pine: results from a 47-year-old spacing study in Hawaii. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 40, p. 1914-1929, 2010.

SANQUETTA, C. et al. Produção de madeira livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio. **Cerne**, Lavras, v.9, n.2, p.129-140. 2003.

SAS Institute Inc. **SAS/STAT User's guide.** Version 8 (computer manual). SAS Institute Inc., Cary. N.C. 1999.

SAUNDERS, M. R.; PUETTMANN, K. J. **A preliminary White Spruce density management diagram for the lake states**. Minnesota: University of Minnesota. Dept. of For. Res, n.145, 2000. 13 p.

SAYER, M. A. S. et al. Long-term trends in Loblolly pine productivity and stand characteristics in response to thinning and fertilization in the West Gulf region. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v. 192, p. 71-96. 2004.

SCHILLING, A. et al. Influencia da desrama sobre a densidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1. p.77-89. 1997.

SCHNEIDER P. S. P. **Autodesbaste e diagrama de manejo da densidade em povoamentos de *Pinus taeda* L.** 2008. 95 p. Tese (Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.

SCHNEIDER, P. R. **Rentabilidade em investimento florestal**. FACOS – UFSM, Santa Maria, 2006. 153 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A.; HOPPE, J. M. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm., implantado em solo pobre, no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, p.35-46. 1999.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; MARTINELLI, C. A. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2ed, Santa Maria. FACOS-UFSM, 2009. 294 p.

SCHNEIDER, P.R.; SCHNEIDER, P.S.P. **Introdução ao manejo florestal**. 2ed., Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCHOELZKE, D. La poda en una plantación de *Pinus elliottii*. **Revista de Ciencias Forestales – Quebracho**, n. 10, 2003.

SCHULTZ, R. **Loblolly pine. Ecology and culture of Loblolly pine. *Pinus taeda* L.** Agricultural Handbook 713. USDA, Forest Service. New Orleans. 1997.

SCOLFORO, J. et al. Simulação e avaliação econômica de regimes de desbastes e desrama para obter madeira de *Pinus taeda* livre de nós. **Ciência Florestal**, Santa Maria, . v.11, n.1, 2001.

SEITZ, R. A. **Manual de Poda de Espécies Arbóreas Florestais**. FUPEF, Curitiba. 1995. 83 p.

SELLE, G. L. et al. Dendrogramas de densidade para *Hovenia dulcis* Thunberg na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria v 20, n.3, p.477-492 jul.-set., 2010.

SHARMA M. et al. Modeling the impact of thinning on height development of dominant and codominant loblolly pine trees. **Annals of Forest Science**, v. 63, p. 349-354, 2006.

SHARMA, M.; BURKHART, H. E., AMATEIS, R. L. Modeling the effect of density on the growth of Loblolly pine trees. **South African Forestry Journal**, v. 26, n. 3, p.124-133. 2002.

SILVA, M. L.; JACOVINE, S. R.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**. 2ed. Viçosa: UFV. 2005. 178 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiología Vegetal**. 4ed, Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

TASSISA, G.; BURKHART, H. Modeling thinning effects on ring specific gravity of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.). **Forest Science**, v. 44, n. 2, p. 212-223. 1998.

TASSISA, G.; BURKHART, H. Modeling thinning effects on rings width distribution in loblolly pine (*Pinus taeda*). **Canadian Journal of Forest Research**, n. 27, p. 1291-1301. 1997.

THOMAS, C. **Dendrograma de manejo da densidade para povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. Na região central do Rio Grande do Sul**. 2009. 57 p. Tese (Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.

TORRUBIANO, C. R. **Funciones de ahusamiento para *Pinus radiata* D. DON.** 1994, 123 p. Tesis de Magister en Ciencias. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 1994.

UNER, B. et al. Effect of thinning on density of *Pinus nigra* tree using X-ray computed tomography. **Journal of Environmental Biology**, v. 30, n. 3, p. 359-362. 2009.

USDA (United States Department of Agriculture). **Soil Taxonomy** – a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2. ed., Washington, DC: USDA, 1999. 870 p.

VACCARO, S. et al. Incremento em área basal de árvores de uma floresta estacional decidual, em três fases sucessionais, no município de Santa Tereza, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.2, p.131-142. 2003.

VON WALLIS, A.; MARTIARENA, R. A.; PINAZO, M. A. Densidad básica de la madera de *Pinus taeda* L. Marion en función de la densidad arbórea del rodal, altura y posición transversal en el fuste. In: III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales. IBEROMADERA 2007. Buenos Aires, 2007. 9 p.

WORT, D. J. Physiology of cambial activity. In: Kozlowski T. **Tree Growth**. New York: The Ronald Press Company. 1963, p. 89-95.

ZAHNG, S. Y.; GINGRAS, J. F. Amenagement forestier pour la qualité du bois et la plus grande valeur du produit fini. **Lê Progrès Forestier**, Automne. p. 49-54. 1998.

ZAHNG, S.; BURKHART, H. E.; AMATEIS, R. L. Modeling individual tree growth for juvenil Loblolly pine plantations. **Forest ecology and management**, Amsterdam,. v.89. p. 157-172. 1996.

ZEIDE, B. e ZHANG, Y. Diameter variability in Loblolly Pine plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128. p. 139-143, 2000.

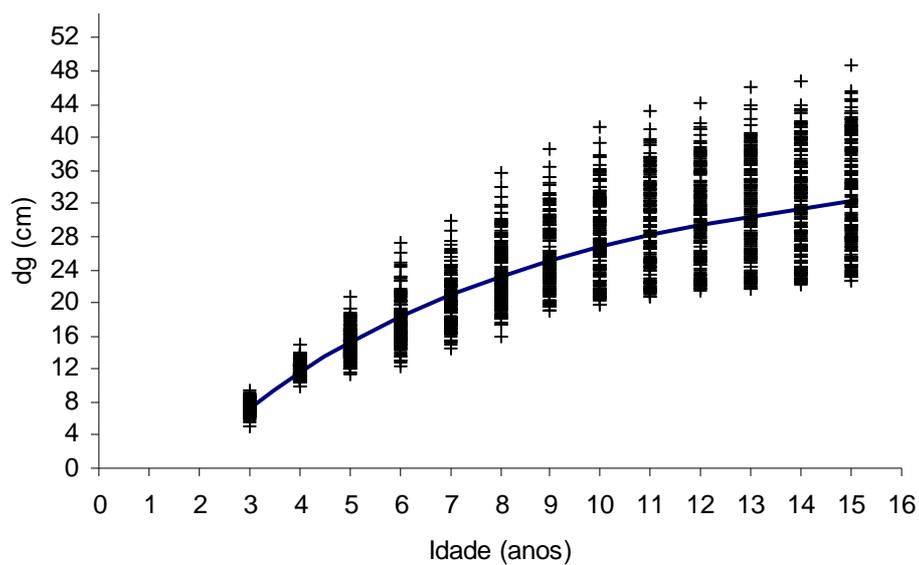
ZOBEL, B. Silvicultural effects on wood properties. **IPEF International**, Piracicaba, v. 2, p. :31-38, 1992.

ZOBEL, B.; JETT, J. **Genetic of wood production**. – Verlag Berlin Heidelberg. Germany. 1995. 337 p.

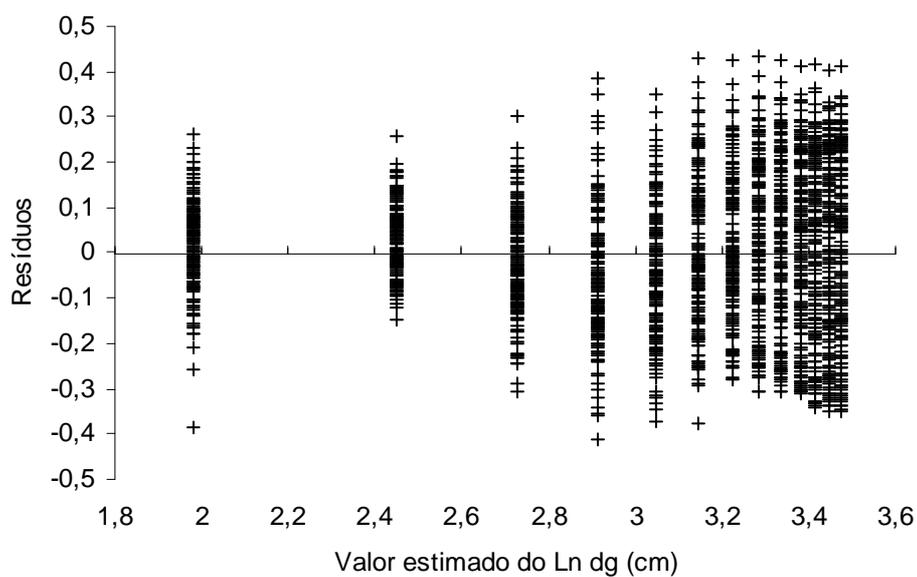
ZOBEL, B.; SPRAGUE, J. P. **Juvenil wood in forest trees**. Springer – Verlag Berlin Heidelberg. Germany. 1998. 300 p.

8 APÊNDICES

Apêndice A – Ajuste da equação de regressão do diâmetro da árvore de área basal média (dg) em função da idade para *Pinus taeda* no norte de Corrientes, Argentina.



Apêndice B – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do logaritmo neperiano do diâmetro da árvore de área basal média (dg).



Apêndice C - Análise das inclinações da função $\text{Indg} = b_0 + b_1 t^{-1}$ correspondentes às combinações de árvores remanescentes/ha (AR); Número de podas (NP) e percentagem de copa remanescente (CR) após a poda para *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

AR	Coefficiente	Pr > t	NP	Coefficiente	Pr > t	CR	Coefficiente	Pr > t			
1666	0,0000		1	0,0000		100	0,0000				
						70					
						50					
			2	-0,1000	0,5516	100	0,0000		70	0,0000	0,8141
									50		
									30		
			3	0,0680	0,6693	100	0,0000		70	-0,1460	0,3888
									50		
									30		
			4	-0,0890	0,5988	100	0,0000		70	-0,0970	0,6148
									50		
									30		
833	0,6260	0,0002	1	0,0000		100	0,0000				
						70					
						50					
			2	-0,1006	0,5730	100	0,0000		70	-0,1115	0,5300
									50		
									30		
			3	-0,1293	0,4454	100	0,0000		70	-0,1199	0,4531
									50		
									30		
			4	0,0400	0,8125	100	0,0000		70	-0,6691	0,0001
									50		
									30		
416	1,1100	0,0001	1	0,0000		100	0,0000				
						70					
						50					
			2	-0,0200	0,8990	100	0,0000		70	-0,4019	0,0119
									50		
									30		
			3	-0,1661	0,2982	100	0,0000		70	-0,6133	0,0001
									50		
									30		
			4	-0,5800	0,0003	100	0,0000		70	-0,2971	0,0630
									50		
									30		
208	1,6700	0,0001	1	0,0000		100	0,0000				
						70					
						50					
			2	-0,0980	0,4982	100	0,0000		70	-0,4341	0,0029
									50		
									30		
			3	-0,3230	0,0268	100	0,0000		70	-0,8639	0,0001
									50		
									30		
			4	-0,5948	0,0001	100	0,0000		70	-0,5695	0,0001
									50		
									30		
						100	-1,3151	0,0001			
						70					
						50					
						70	0,0000				
						50					
						30					
						100	-0,6808	0,0001			
						70					
						50					
						70					
						50					
						30					

Apêndice D – ANACOVA para análise de interceptos da função $\text{Indg} = b_0 + b_1 t^{-1}$.

a) ANACOVA para análise de interceptos da função $\text{Indg} = b_0 + b_1 t^{-1}$ para *Pinus taeda* - 1666 árvores ha⁻¹.

Fonte Variação	GL	SQ erro	QM	F	Prob. > F
Modelo	7	40,21	5,74	2165,40	<.0001
t ⁻¹	1	40,10	40,10	15116,40	<.0001
NP	3	0,07	0,02	8,26	<.0001
NPxCR	3	0,04	0,01	5,56	0,001
Erro	382	1,01	0,003		
Total corrigido	389	41,22			
R ² = 0,97		CV(%)= 1,78			

b) ANACOVA para análise de interceptos da função $\text{Indg} = b_0 + b_1 t^{-1}$ para *Pinus taeda* - 833 árvores ha⁻¹.

Fonte Variação	GL	SQ erro	QM	F	Prob. > F
Modelo	5	39,86	7,97	3147,19	<.0001
t ⁻¹	1	39,72	39,72	15678,6	<.0001
NP	2	0,12	0,06	24,29	<.0001
NPxCR	2	0,02	0,01	4,35	0,014
Erro	280	0,71	0,002		
Total corrigido	285	40,57			
R ² = 0,98		CV(%)= 1,67			

Sendo em a) e b): Ln dg = logaritmo neperiano do diâmetro da árvore de área basal media; t = idade (anos); b₀ = intercepto; b₁ = Coeficiente angular; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob. > F = nível de probabilidade do erro; NP = níveis de poda; CR = % de copa remanescente; R² = Coeficiente de determinação; CV(%) = Coeficiente de variação em percentagem.

c) Analise da covariância (interceptos) da função $\text{Indg} = b_0 + b_1 t^{-1}$

AR	Coeficiente	Pr > t	NP	Coeficiente	Pr > t	CR	Coeficiente	Pr > t	
1666			1	0,000000	0,000000	100			
			2	-0,032269	0,000800	100			
	3						70	0,000000	0,605400
							50	-0,004955	
							100		
							70	0,000000	
	4						50	-0,038600	0,000100
							70	0,000000	
							100		
							70	0,000000	
	833						100		
							2		
3							70	0,000000	0,012800
							50	-0,024721	
							100		
							70	0,000000	
						50	-0,013770	0,120000	

Apêndice E - Matriz de coeficientes para o cálculo dos coeficientes b_0 e b_1 do modelo único (geral) para estimativa do dg (cm) em função da inversa da idade para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

T	AR	NP	CR	b_0	b_1
1	1666	1	100	3,5003	-4,190016
2	1666	2	70	3,4843	-4,190020
3	1666	3	70	3,4812	-4,190020
4	1666	4	70	3,4825	-4,190016
5	1666	2	50	3,4680	-4,190016
6	1666	3	50	3,4617	-4,190016
7	1666	4	50	3,4643	-4,190016
8	833	1	100	3,7394	-4,8695
9	833	2	70	3,7058	-4,8695
10	833	3	70	3,7146	-4,8695
11	833	4	70	3,6802	-4,8923
12	833	2	50	3,6811	-4,8695
13	833	3	50	3,6891	-4,8695
14	833	4	50	3,6173	-4,9184
15	416	1	100	3,9289	-5,5173
16	416	2	70	3,9284	-5,7106
17	416	3	70	3,9276	-5,8062
18	416	4	70	3,9289	-6,0973
19	416	2	50	3,9289	-5,9192
20	416	3	50	3,9289	-6,1305
21	416	4	50	3,9289	-6,3944
22	208	1	100	4,1085	-5,9422
23	208	2	70	4,1078	-6,1504
24	208	3	70	4,1085	-6,2652
25	208	4	70	4,1085	-6,5370
26	208	2	50	4,1085	-6,3763
27	208	3	50	4,1085	-6,8347
28	208	4	50	4,1085	-7,2178
29	208	2	30	4,1085	-6,8061
30	208	3	30	4,1085	-7,5804

Sendo: T = Tratamentos; AR = N° de árvores remanescentes/ha; NP = número de podas; CR = percentagem de copa remanescente; b_0 = intercepto ; b_1 = coeficiente angular.

Apêndice F – Seleção das equações de probabilidade em função das idades no tratamento sem desbaste (1666 árvores por hectare) para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
3	Gama	0,20**	4,98**	28,30**	268,00**			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Ln-normal	0,22**	6,85**	38,14**	338,90**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,138**	2,00**	12,30**	146,60**			
	1	2	2	2	7	1,75		
	Weibull	---	1,28**	8,94**	138,52**			
			1	1	1	3	1	X
4	Gama	0,16**	3,43**	20,32**	232,59**			
		1	3	3	3	10	2,5	
	Ln-normal	0,18**	4,70**	27,22**	308,18**			
		2	4	4	4	14	3,5	
	Normal	0,12**	1,48**	9,41**	116,67**			
	3	2	2	2	9	2,25		
	Weibull	---	0,66**	4,88**	80,17**			
			1	1	1	3	1	X
5	Gama	0,14**	2,58**	15,52**	623,7**			
		2	3	3	4	12	3	
	Ln-normal	0,17**	3,70**	21,61**	1442,56**			
		3	4	4	3	15	3,75	
	Normal	0,10**	0,10**	6,50**	129,99**			
	1	1	2	2	6	1,5		
	Weibull	---	0,4**	2,95**	78,5**			
			2	1	1	4	1,33	X
6	Gama	0,12**	2,23**	13,32**	1311,9**			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Ln-normal	0,14**	3,22**	18,92**	6040,40**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,08**	0,83**	5,23**	118,63**			
	1	2	2	2	7	1,75		
	Weibull	---	0,35**	2,45**	75,93**			
			1	1	1	3	1	X
7	Gama	0,09**	1,20**	7,85**	1016,8**			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Ln-normal	0,10**	1,85**	11,70**	1849,70**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,06**	0,36**	2,62**	56,90**			
	1	2	2	2	7	1,75		
	Weibull	---	0,12 ns	0,98*	26,20**			
			1	1	1	3	1	X

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Continua..

Continuação..

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
8	Gama	0,07**	0,80**	5,50**	94,16**			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Ln-normal	0,09**	1,29**	8,59**	179,93**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,05**	0,19**	1,51**	31,65**			
		1	2	2	2	7	1,75	
	Weibull	---	0,05 ns	0,432 ns	21,66*			
			1	1	1	3	1	X
9	Gama	0,053**	0,28**	2,01**	64,00**			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Ln-normal	0,07**	0,51**	3,53**	158,5**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,03 ns	0,05 ns	0,40 ns	14,13 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,10 ns	0,64 ns	17,1 ns			
			2	2	2	6	2	
10	Gama	0,046*	0,18*	1,16**	60,03**			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Ln-normal	0,06**	0,34**	2,22**	195,84**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,023 ns	0,04 ns	0,24 ns	11,21 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,15*	1,071**	37,59**			
			2	2	2	6	2	
11	Gama	0,034 ns	0,06 ns	0,40 ns	11,20 ns			
		1	2	1	1	5	1,25	X
	Ln-normal	0,038 ns	0,12 ns	0,73 ns	14,2 ns			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,03 ns	0,06 ns	0,47 ns	14,10 ns			
		2	1	2	2	7	1,75	
	Weibull	---	0,29**	2,16**	33,8**			
			4	4	4	12	4	
12	Gama	0,03 ns	0,05 ns	0,38 ns	9,57 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Ln-normal	0,037 ns	0,10 ns	0,64 ns	11,42 ns			
		3	3	3	2	11	2,75	
	Normal	0,03 ns	0,07 ns	0,55 ns	13,94 ns			
		2	2	2	3	9	2,25	
	Weibull	---	0,33**	2,38**	40,49**			
			4	4	4	12	4	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Continua ..

Continuação ..

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
13	Gama	0,03 ns	0,05 ns	0,35 ns	5,50 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Ln-normal	0,04 ns	0,10 ns	0,61 ns	8,05 ns			
		2	3	3	2	10	2,5	
	Normal	0,04 ns	0,07 ns	0,51 ns	10,56 ns			
		3	2	2	3	10	2,5	
	Weibull	---	0,33**	2,39**	67,20**			
			4	4	4	12	4	
14	Gama	0,03 ns	0,03 ns	0,26 ns	5,92 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Ln-normal	0,04 ns	0,07 ns	0,46 ns	6,82 ns			
		2	2	2	2	8	2	
	Normal	0,04 ns	0,07 ns	0,56 ns	9,73 ns			
		3	3	3	3	12	3	
	Weibull	---	0,35**	2,48**	25,62*			
			4	4	4	12	4	
15	Gama	0,04 ns	0,04 ns	0,28 ns	10,70 ns			
		1	1	1	2	5	1,25	X
	Ln-normal	0,05*	0,08 ns	0,49 ns	10,06 ns			
		3	2	2	1	8	2	
	Normal	0,05 ns	0,09 ns	0,58 ns	17,37 ns			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Weibull	---	0,37**	2,54**	45,54**			
			4	4	4	12	4	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Apêndice G – Seleção das equações de probabilidade em função das idades no tratamento com desbaste a 833 árvores/ha em plantios de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
3	Gama	0,08**	1,01**	6,71**	1402,22**			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Ln-normal	0,104**	1,77**	11,56**	4482,32**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,05**	0,34**	2,33**	104,65**			
	1	1	1	2	5	1,25	X	
	Weibull	---	0,72**	4,59**	43,12**			
			2	2	1	5	1,67	
4	Gama	0,07**	0,40**	2,43**	114035,16**			
		2	2	2	4	10	2,5	
	Ln-normal	0,08**	0,57**	3,44**	43,87**			
		3	3	3	1	10	2,5	
	Normal	0,06**	0,26**	1,70**	280,49**			
	1	1	1	3	6	1,5	X	
	Weibull	---	0,92**	6,44**	109,16**			
			4	4	2	10	3,33	
5	Gama	0,03 ns	0,07 ns	0,53 ns	2952,96 **			
		2	2	2	3	9	2,25	
	Ln-normal	0,04*	0,15*	1,07**	45022,01**			
		3	3	3	4	13	3,25	
	Normal	0,03 ns	0,05 ns	0,34 ns	44,59 ns			
	1	1	1	2	5	1,25	X	
	Weibull	---	0,54**	3,63**	30,19**			
			4	4	1	9	3,00	
6	Gama	0,04 ns	0,10 ns	0,56 ns	8764,65**			
		1	1	1	4	7	1,75	X
	Ln-normal	0,045**	0,18**	1,10**	9,67 ns			
		3	3	3	1	10	2,5	
	Normal	0,045**	0,11 ns	0,61 ns	45,78**			
	2	2	2	2	8	2		
	Weibull	---	0,65**	4,14**	64,08**			
			4	4	3	11	3,67	
7	Gama	0,04*	0,13*	0,80*	259,23**			
		2	2	2	3	9	2,25	
	Ln-normal	0,05 ns	0,26**	1,59**	1982,17**			
		3	3	3	4	13	3,25	
	Normal	0,03 ns	0,06 ns	0,37 ns	13,49 ns			
	1	1	1	1	4	1	X	
	Weibull	---	0,47**	2,93**	30,15**			
			4	4	2	10	3,33	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Continua..

Continuação..

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
8	Gama	0,04**	0,15*	0,95*	10,52 ns			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,05**	0,28**	1,77**	20,54**			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,026 ns	0,054 ns	0,36 ns	4,18 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,43**	2,78**	24,71**			
			4	4	4	12	4	
9	Gama	0,05**	0,22**	1,32**	23,68**			
		2	2	2	3	9	2,25	
	Ln-normal	0,06**	0,39**	2,37**	50,42**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,03 ns	0,05 ns	0,32 ns	5,26 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,32**	1,99**	21,44*			
			3	3	2	8	2,67	
10	Gama	0,05**	0,20**	1,21**	21,60**			
		2	2	2	3	9	2,25	
	Ln-normal	0,06**	0,36**	2,21**	49,06**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,03 ns	0,05 ns	0,28 ns	4,7 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,32**	1,98**	17,90 ns			
			3	3	2	8	2,67	
11	Gama	0,04*	0,20**	1,18**	28,4**			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,05**	0,35**	2,13**	46,43**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,03 ns	0,05 ns	0,29 ns	14,56 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,31**	1,96**	36,79**			
			3	3	3	9	3	
12	Gama	0,04 ns	0,13*	0,78*	17,80 ns			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,05**	0,25**	1,48**	26,77**			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,028 ns	0,05 ns	0,29 ns	14,67 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,37**	2,33**	133,7**			
			4	4	4	12	4	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Continua ..

Continuação ..

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
13	Gama	0,033 ns	0,07 ns	0,50 ns	16,64 ns			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,04*	0,15*	0,97*	20,83*			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,032 ns	0,06 ns	0,37 ns	16,5 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,47**	2,91**	79,18**			
			4	4	4	12	4	
14	Gama	0,04*	0,12 ns	0,79*	16,67 ns			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,06**	0,22**	1,46**	23,95**			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,03 ns	0,06 ns	0,34 ns	12,43 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,38**	2,27**	134,49**			
			4	4	4	12	4	
15	Gama	0,05**	0,14*	0,98*	17,18 ns			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,06**	0,25**	1,73**	23,29*			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,03 ns	0,06 ns	0,37 ns	15,87 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,33**	2,05**	437,44**			
			4	4	4	12	4	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Apêndice H – Seleção das equações de probabilidade em função das idades no tratamento com desbaste a 416 árvores/ha em plantios de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
3	Gama	0,07**	0,50**	3,32**	13,40**			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Ln-normal	0,08**	0,81**	5,32**	21,83**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,04*	0,14*	0,97*	3,02 ns			
		1	1	1	2	5	1,25	X
4	Weibull	---	0,25**	1,55**	1,64 ns			
			2	2	1	5	1,67	
	Gama	0,06**	0,14*	0,84*	6,33 ns			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,07**	0,22**	1,31**	10,11*			
		3	3	3	3	12	3	
5	Normal	0,04*	0,10 ns	0,60 ns	4,73 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,53**	3,40**	65,75**			
			4	4	4	12	4,00	
	Gama	0,05**	0,13*	0,81*	9,42 ns			
		2	2	2	2	8	2	
6	Ln-normal	0,04*	0,08 ns	0,50 ns	6,80 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Normal	0,07**	0,34**	2,03**	20,86**			
		3	3	3	3	12	3	
	Weibull	---	1,03**	6,61**	67,68**			
			4	4	4	12	4,00	
7	Gama	0,04 ns	0,09 ns	0,61 ns	9,14 ns			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,03 ns	0,08 ns	0,54 ns	7,43 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Normal	0,05**	0,22**	1,54**	21,55**			
		3	3	3	3	12	3	
8	Weibull	---	0,62**	4,49**	54,37**			
			4	4	4	12	4,00	
	Gama	0,046*	0,18**	1,08**	12,3 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Ln-normal	0,055**	0,22**	1,22**	13,40*			
		3	2	2	2	9	2,25	
9	Normal	0,05**	0,22**	1,5**	16,88*			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Weibull	---	0,44**	3,46**	34,42**			
			4	4	4	12	4,00	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Continua..

Continuação..

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
8	Gama	0,0306 ns	0,045 ns	0,35 ns	978,72**	7	1,75	(def. graf.) X
	Ln-normal	0,04*	0,09 ns	0,62 ns	13703,94**	12	3	
	Normal	0,0304 ns	0,08 ns	0,70 ns	28,67**	7	1,75	
	Weibull	---	0,59**	4,23**	136,09**	10	3,33333333	
	Gama	0,023 ns	0,032 ns	0,23 ns	12,68 ns	4	1	X
	Ln-normal	0,028 ns	0,062 ns	0,427 ns	17,24*	9	2,25	
	Normal	0,033 ns	0,063 ns	0,434 ns	12,35 ns	11	2,75	
	Weibull	---	0,53**	3,67**	38,52**	12	4,00	
10	Gama	0,023 ns	0,046 ns	0,33 ns	0,09 ns	7	1,75	
	Ln-normal	0,032 ns	0,10 ns	0,69 ns	14,37 ns	12	3	
	Normal	0,0216 ns	0,031 ns	0,24 ns	6,91 ns	5	1,25	X
	Weibull	---	0,51**	3,54**	88,49**	12	4,00	
	Gama	0,04*	0,10 ns	0,68 ns	20,30*	8	2	
	Ln-normal	0,05**	0,19**	1,20**	30,30**	12	3	
	Normal	0,022 ns	0,04 ns	0,29 ns	14,61 ns	5	1,25	X
	Weibull	---	0,47**	3,24**	160,18**	12	4	
12	Gama	0,033 ns	0,096 ns	0,62 ns	17,66 ns	7	1,75	
	Ln-normal	0,04*	0,17*	1,10**	29,82**	12	3	
	Normal	0,034 ns	0,06 ns	0,37 ns	10,13 ns	5	1,25	X
	Weibull	---	0,55**	3,65**	44,08**	12	4	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Continua ..

Continuação ...

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
13	Gama	0,05**	0,13*	0,80*	20,25*			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,056**	0,23**	1,36**	37,57**			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,031 ns	0,06 ns	0,38 ns	10,10 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,50**	33,60**	43,04**			
			4	4	4	12	4	
14	Gama	0,05**	0,17**	1,03**	37,64**			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,06**	0,28**	1,73**	67,91**			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,031 ns	0,057 ns	0,38 ns	22,10 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,43**	3,01**	150,7**			
			4	4	4	12	4	
15	Gama	0,04*	0,15*	0,95*	26,11*			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,05**	0,26**	1,65**	64,56**			
		3	3	3	4	13	3,25	
	Normal	0,03 ns	0,05 ns	0,32 ns	7,34 ns			
		1	1	1	1	4	1	X
	Weibull	---	0,39**	2,64**	39,82**			
			4	4	3	11	3,67	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Apêndice I – Seleção das equações de probabilidade em função das idades no tratamento com desbaste a 208 árvores/ha em plantios de *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
3	Gama	0,07**	0,50**	3,32**	13,4**			
		2	3	3	3	11	2,75	
	Ln-normal	0,08**	0,81**	5,32**	21,83**			
		3	4	4	4	15	3,75	
	Normal	0,04*	0,139*	0,968*	3,02 ns			
		1	1	1	2	5	1,25	X
4	Weibull	---	0,25**	1,55**	1,64 ns			
			2	2	1	5	1,67	
	Gama	0,06 **	0,14*	0,84*	6,33 ns			
		2	2	2	2	8	2,00	
	Ln-normal	0,07**	0,22**	1,31**	10,11*			
		3	3	3	3	12	3,00	
5	Normal	0,04*	0,10 ns	0,60 ns	4,73 ns			
		1	1	1	1	4	1,00	X
	Weibull	---	0,53**	3,40**	65,75**			
			4	4	4	12	4,00	
	Gama	0,05**	0,13*	0,81*	9,42 ns			
		2	3	2	2	9	2,25	
6	Ln-normal	0,04*	0,08 ns	0,50 ns	6,80 ns			
		1	1	1	1	4	1,00	X
	Normal	0,07**	0,34**	2,03**	20,86**			
		3	4	3	3	13	3,25	
	Weibull	---	1,03**	6,61**	67,68**			
			2	4	4	10	3,33	
7	Gama	0,04 ns	0,09 ns	0,61 ns	9,13 ns			
		2	2	2	2	8	2,00	
	Ln-normal	0,03 ns	0,08 ns	0,54 ns	7,43 ns			
		1	1	1	1	4	1,00	X
	Normal	0,05 **	0,22**	1,54 **	21,55**			
		3	3	3	3	12	3,00	
8	Weibull	---	0,62**	4,49**	54,37**			
			4	4	4	12	4,00	
	Gama	0,050*	0,19**	1,08**	12,30 ns			
		1	1	1	1	4	1,00	X
	Ln-normal	0,055**	0,22**	1,22**	13,4 ns			
		3	2	2	2	9	2,25	
9	Normal	0,051**	0,22**	1,50**	16,90*			
		2	2	3	3	10	2,50	
	Weibull	---	0,44**	3,46**	34,4**			
			3	4	4	11	3,67	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Continua...

Continuação...

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
8	Gama	0,031 ns	0,04 ns	0,35 ns	972,7**			
		2	1	1	3	7	1,75	X
	Ln-normal	0,04 ns	0,09 ns	0,62 ns	13703,90**			(por graf.)
		3	3	2	4	12	3	
	Normal	0,03 ns	0,085 ns	0,68 ns	28,67**			
	1	2	3	1	7	1,75		
	Weibull	---	0,59**	4,23**	136,09**			
			4	4	2	10	3,33333333	
9	Gama	0,02 ns	0,03 ns	0,23 ns	12,68 ns			
		1	1	1	2	5	1,25	X
	Ln-normal	0,03 ns	0,06 ns	0,43 ns	17,23*			
		2	2	2	3	9	2,25	
	Normal	0,032 ns	0,063 ns	0,433 ns	12,35 ns			
	3	3	3	1	10	2,5		
	Weibull	---	0,53**	3,67**	38,52**			
			4	4	4	12	4,00	
10	Gama	0,024 ns	0,046 ns	0,33 ns	9,09 ns			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,03 ns	0,10 ns	0,69 ns	14,37 ns			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,02 ns	0,03 ns	0,24 ns	6,91 ns			
	1	1	1	1	4	1		
	Weibull	---	0,51**	3,54**	88,49**			
			4	4	4	12	4,00	
11	Gama	0,04*	0,10 ns	0,68 ns	20,30*			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,05**	0,19**	1,20**	30,3**			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,022 ns	0,039 ns	0,29 ns	14,61 ns			
	1	1	1	1	4	1	X	
	Weibull	---	0,47**	3,24**	160,18**			
			4	4	4	12	4	
12	Gama	0,033 ns	0,10 ns	0,62 ns	17,66 ns			
						0	0	
	Ln-normal	0,04*	0,17*	1,10**	29,82**			
						0	0	
	Normal	0,035 ns	0,06 ns	0,37 ns	10,13 ns			
					0	0		
	Weibull	---	0,55**	3,65**	44,08**			
					0	0		

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Continua ...

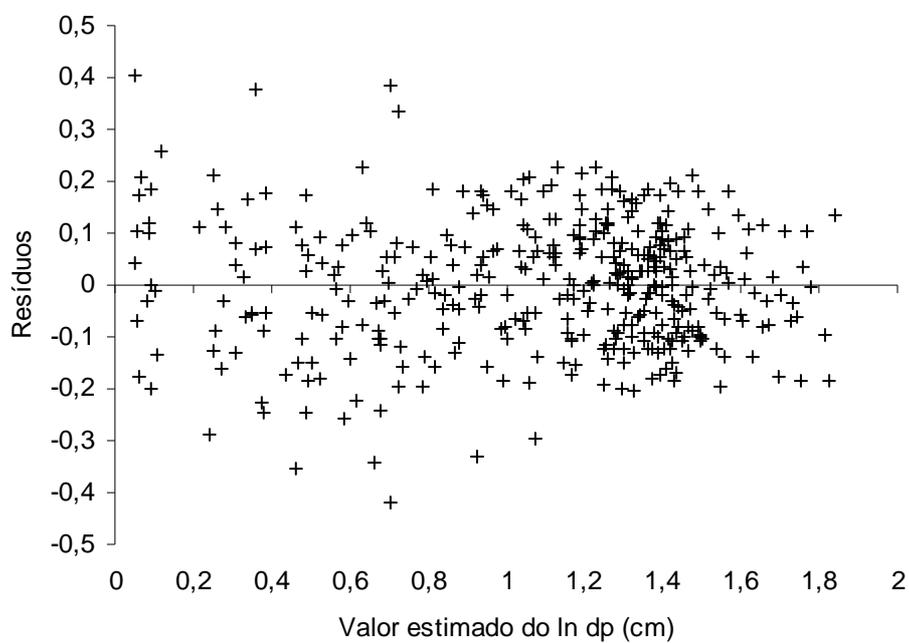
Continuação...

Idade	Função	Teste de Aderência				Ranqueamento		Seleção
		KS	W-sq	A-sq	χ^2	Total	Média	
13	Gama	0,05**	0,13*	0,8*	20,25*			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,06**	0,23**	1,37**	37,57**			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,03 ns	0,06 ns	0,38 ns	10,10 ns			
	1	1	1	1	4	1	X	
	Weibull	---	0,49**	3,36**	43,04**			
			4	4	4	12	4	
14	Gama	0,05**	0,17*	1,03**	37,64**			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,06**	0,28**	1,73**	67,9**			
		3	3	3	3	12	3	
	Normal	0,03 ns	0,06 ns	0,38 ns	22,10 ns			
	1	1	1	1	4	1	X	
	Weibull	---	0,43**	3,01**	150,71**			
			4	4	4	12	4	
15	Gama	0,04*	0,15*	0,95*	26,11*			
		2	2	2	2	8	2	
	Ln-normal	0,05**	0,26**	1,65**	64,56**			
		3	3	3	4	13	3,25	
	Normal	0,032 ns	0,05 ns	0,32 ns	7,34 ns			
	1	1	1	1	4	1	X	
	Weibull	---	0,39**	2,64**	39,82**			
			4	4	3	11	3,67	

Sendo: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling; χ^2 = Qui-quadrado;

*Significativo a 10%; **Significativo a 5%; *** Significativo a 1%; NS – Não-significativo.

Apêndice J – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do logaritmo neperiano do desvio padrão do diâmetro.

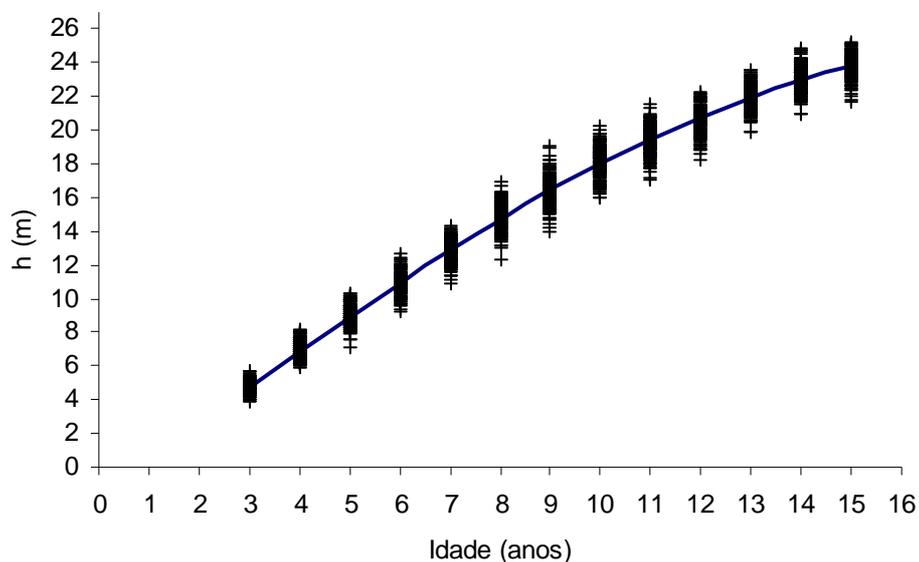


Apêndice K – Resultado da análise da covariância para comprimento de copa em percentagem correspondente às combinações de árvores remanescentes/ha (AR); Número de podas (NP) e percentagem de copa remanescente (CR) após a poda para *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

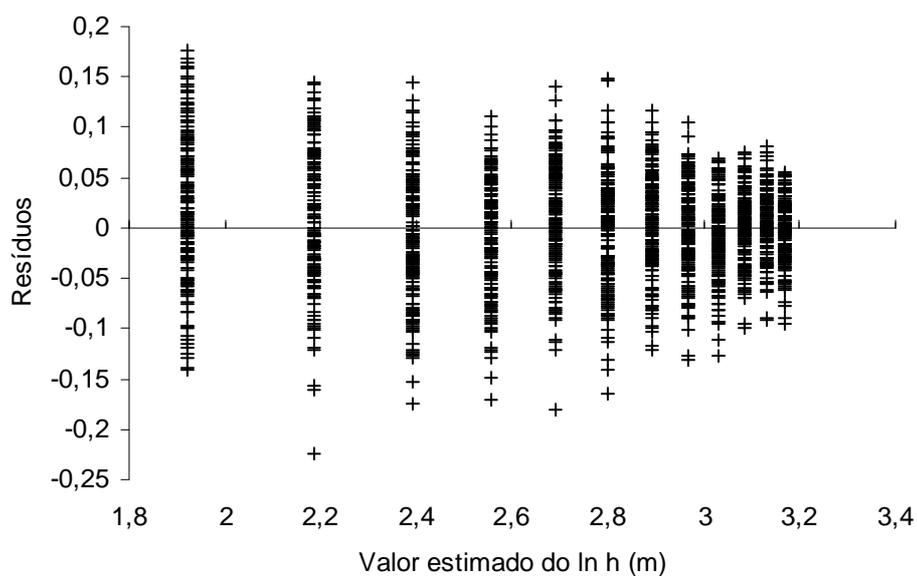
Fatores (níveis)				Idade (anos)											
AR	NP	CR	Tratamento	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1666	1	100	1												
1666	2	70	2		ns										
1666	2	50	5			ns									
1666	3	70	3				ns								
1666	3	50	6					ns							
1666	4	70	4						ns						
1666	4	50	7					ns							
833	1	100	8												
833	2	70	9					ns							
833	2	50	12							ns					
833	3	70	10				ns								
833	3	50	13						ns						
833	4	70	11					ns							
833	4	50	14							ns					
416	1	100	15												
416	2	70	16						ns						
416	2	50	19							ns					
416	3	70	17					ns							
416	3	50	20								ns				
416	4	70	18									ns			
416	4	50	21										ns		
208	1	100	22												
208	2	70	23					ns							
208	2	50	26							ns					
208	2	30	29								ns				
208	3	70	24									ns			
208	3	50	27										ns		
208	3	30	30												
208	4	70	25												
208	4	50	28												

Sendo: AR = N° de árvores remanescentes/ha; NP = Número de podas; CR = percentagem de copa remanescente após a poda; ns = a média do tratamento não difere pelo teste de t ($p < 0,1$) da média da testemunha do mesmo grupo de densidade (AR).

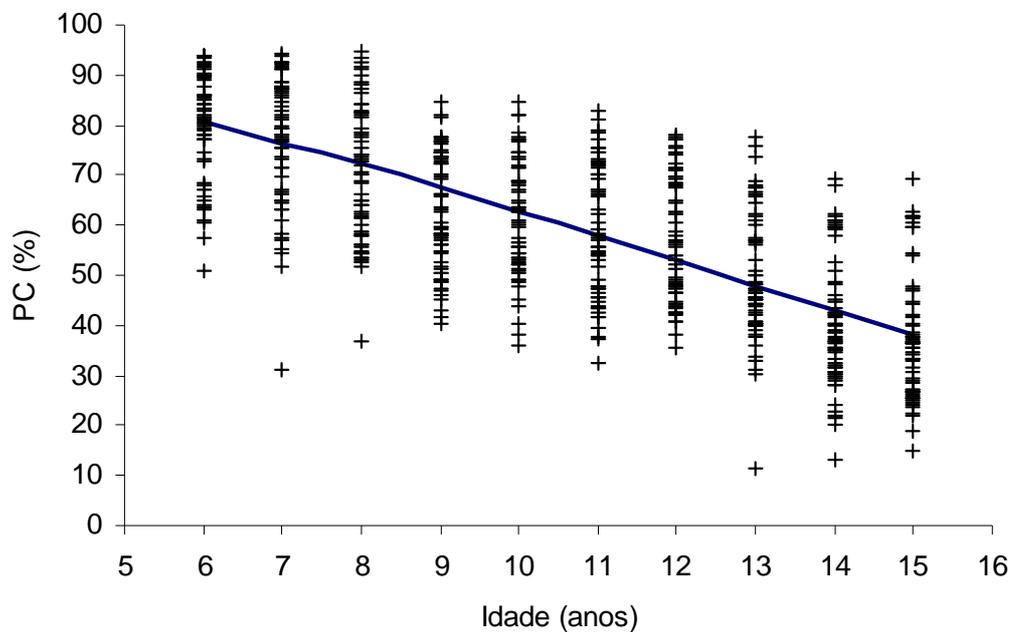
Apêndice L – Ajuste da equação de regressão da altura média em função da idade para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.



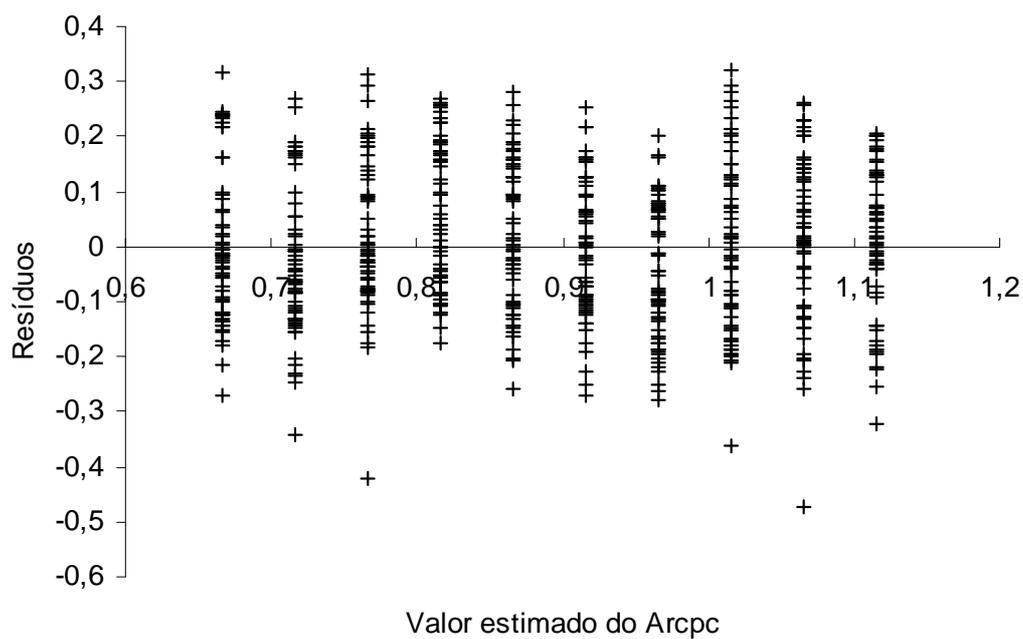
Apêndice M – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do logaritmo neperiano da altura média.



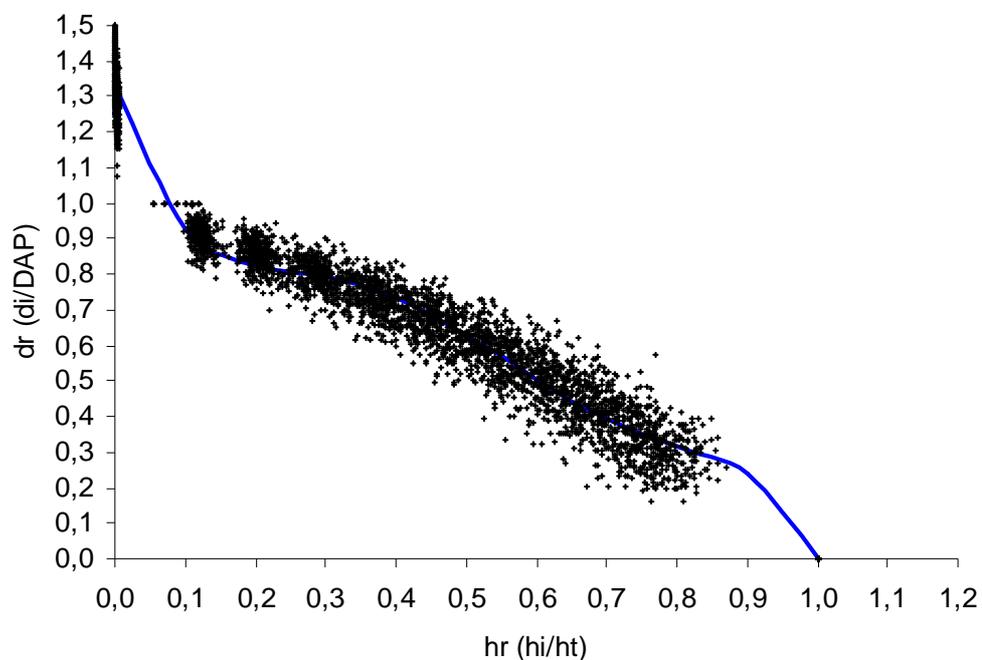
Apêndice N – Ajuste da equação de regressão da proporção de copa (%) em função da idade para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.



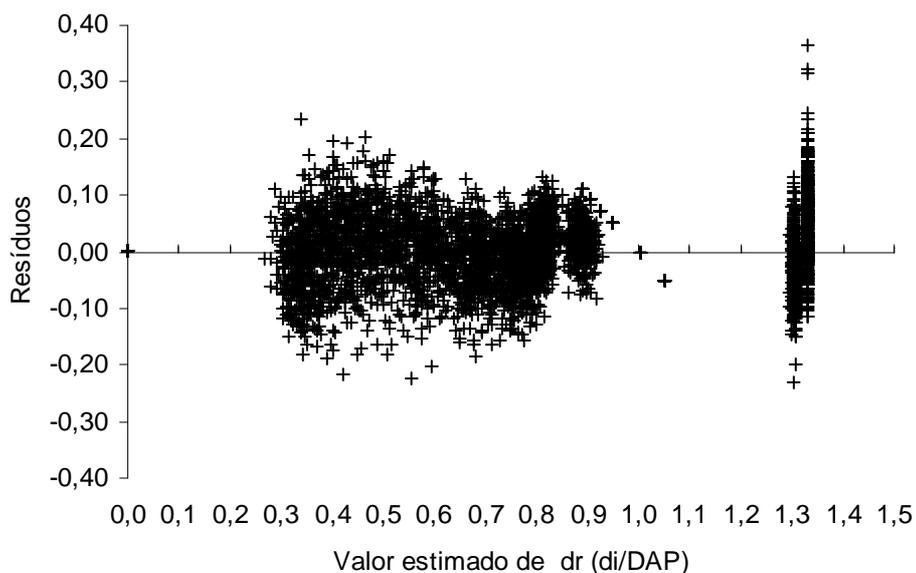
Apêndice O – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do arcosseno raiz quadrada da proporção de copa.



Apêndice P – Ajuste da equação de regressão do diâmetro relativo em função da altura relativa para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.



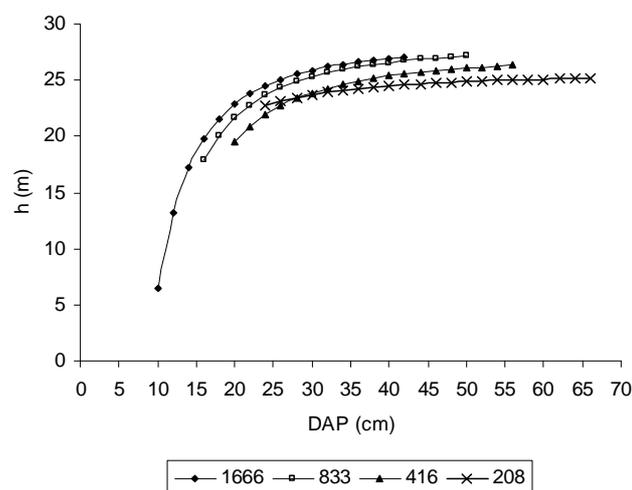
Apêndice Q – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do diâmetro relativo.



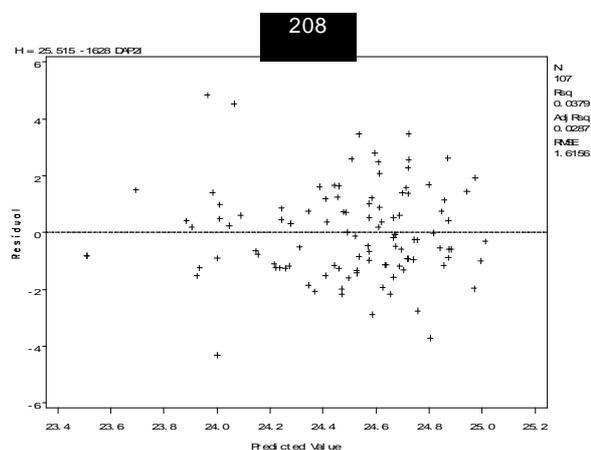
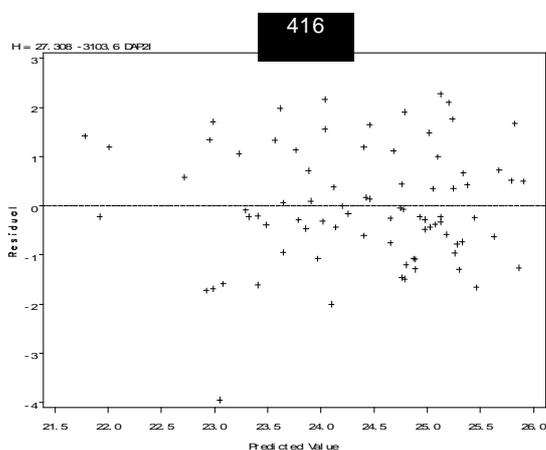
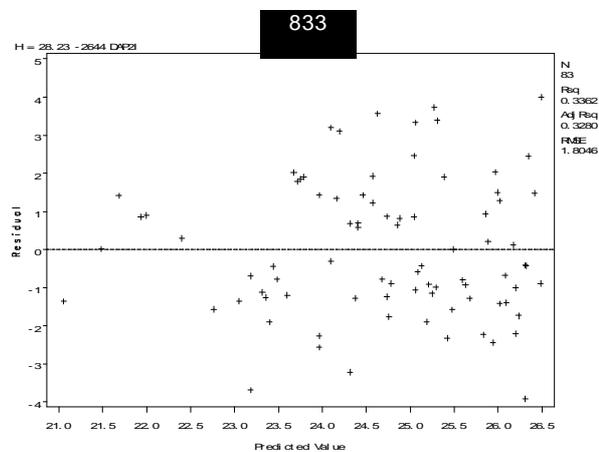
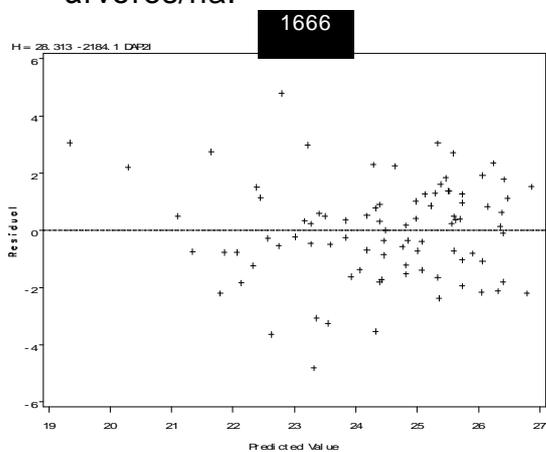
Apêndice R – Modelo hipsométrico para estimar a altura (h) em função do diâmetro à altura do peito (DAP) para quatro densidades de árvores/ha para plantios de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

1 - Representação gráfica, coeficientes e estatísticas do modelo $h(m) = b_0 + b_1(1/DAP^2)$ para as densidades estudadas.

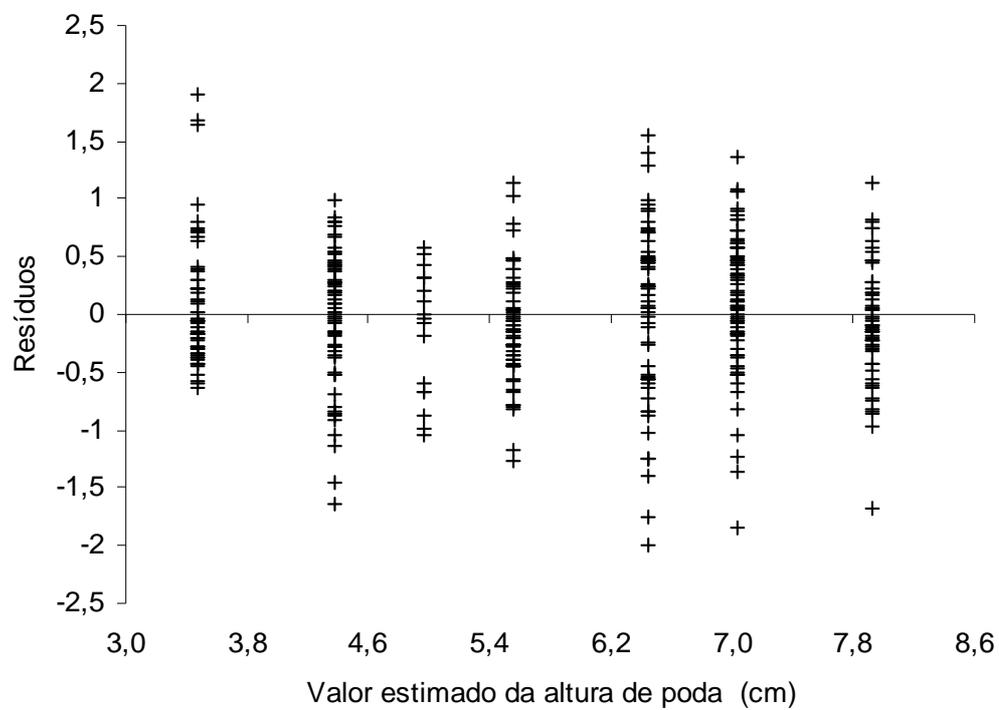
N/ha	b_1	b_0	R^2	CV %	F
1666	-2184,13	28,31	0,46	6,7	74,9
833	-2644,04	28,22	0,33	7,3	41,03
416	-3103,63	27,31	0,4	4,8	53,13
208	-1628,01	25,51	0,04	6,6	4,13



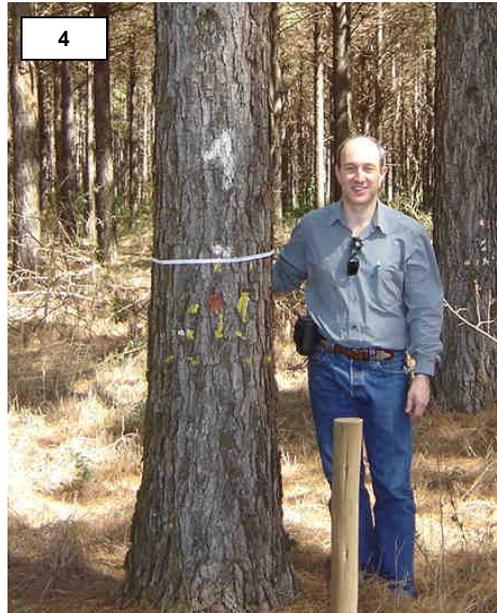
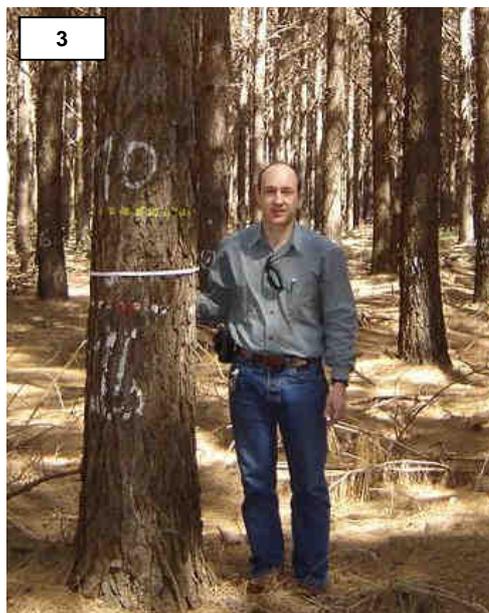
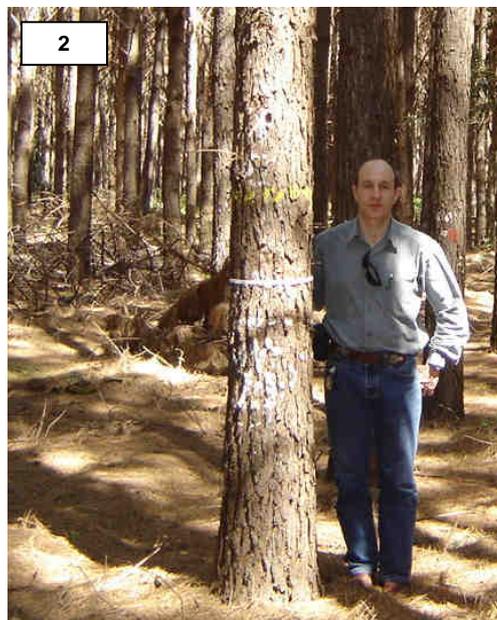
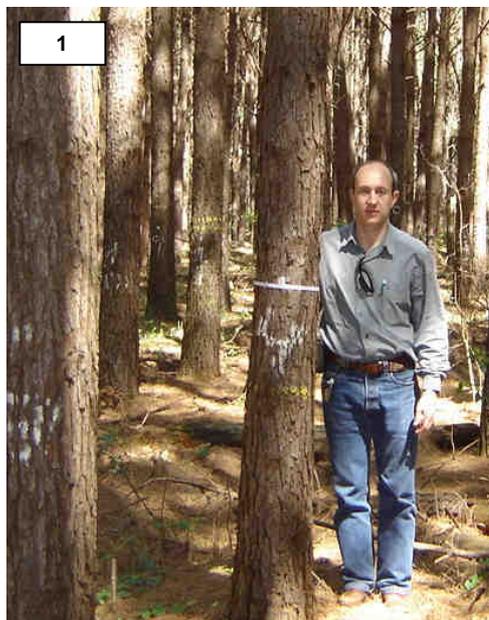
2 – Resíduos dos modelos para as densidades de 1666, 833, 416 e 208 árvores/ha.



Apêndice S – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da altura de poda.

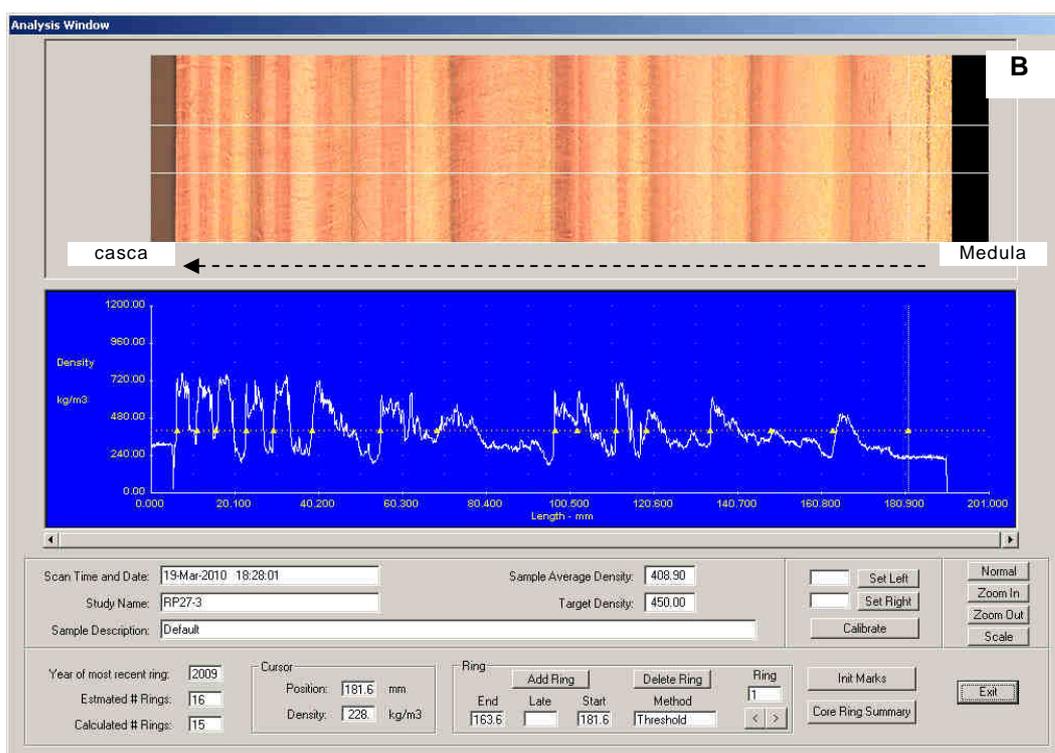
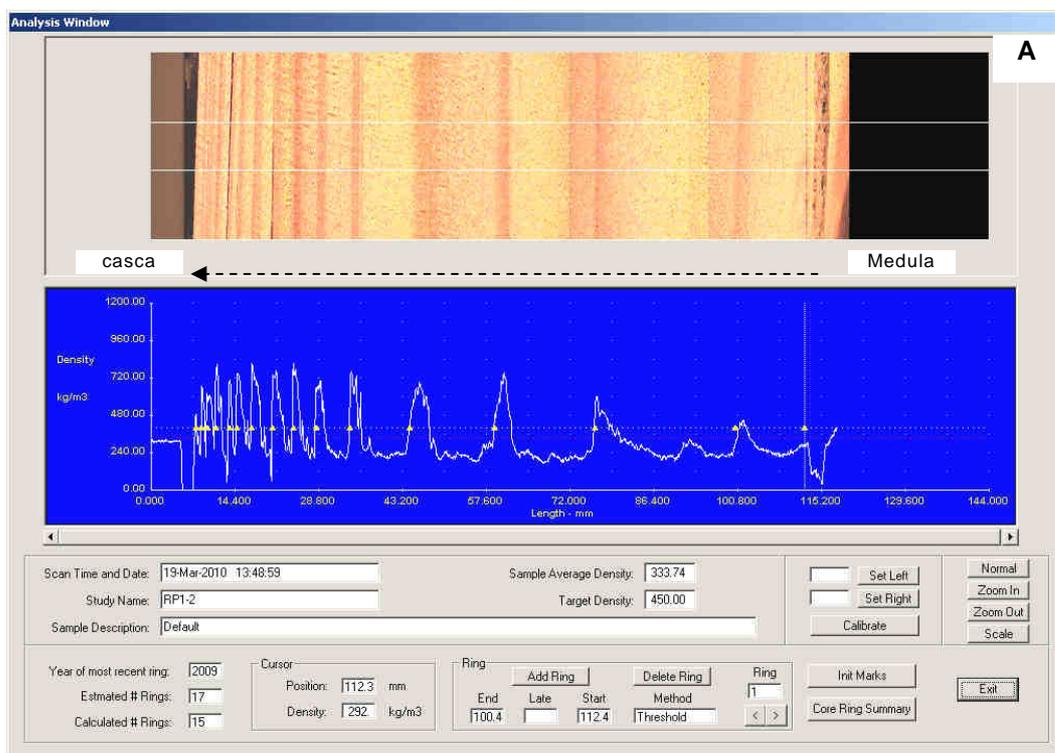


Apêndice T – Fotografia dos tratamentos estudados (16 anos de idade) com diferentes densidades de árvores por hectare após o desbaste pré comercial, realizado aos 3 anos de idade, no experimento de *Pinus taeda* estabelecido na província de Corrientes, Argentina.

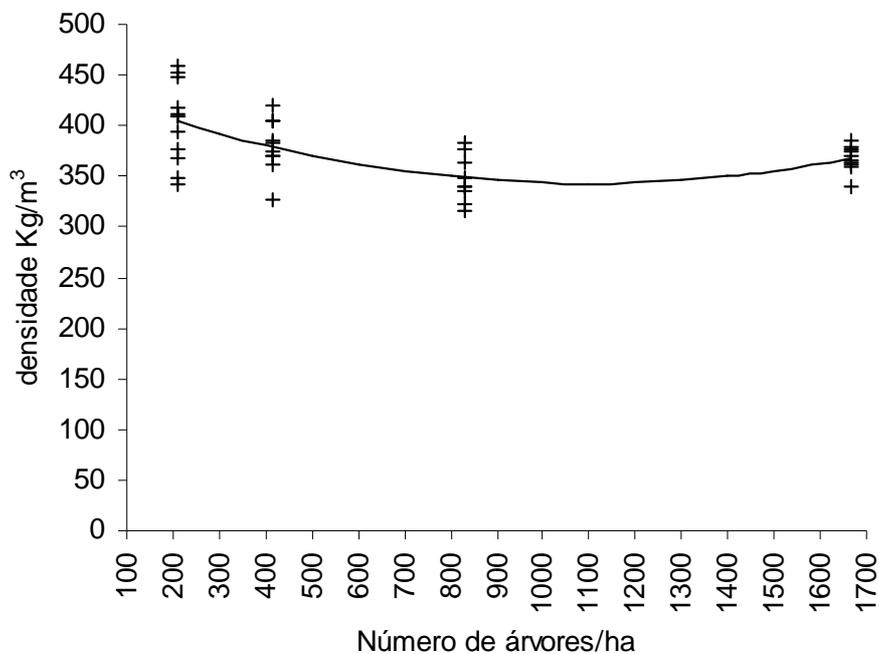


Fotografia 1 = 1666 árvores/ha (testemunha sem desbaste); Fotografia 2= 833 árvores/ha; Fotografia 3= 416 árvores/ha; Fotografia 4= 208 árvores/ha.

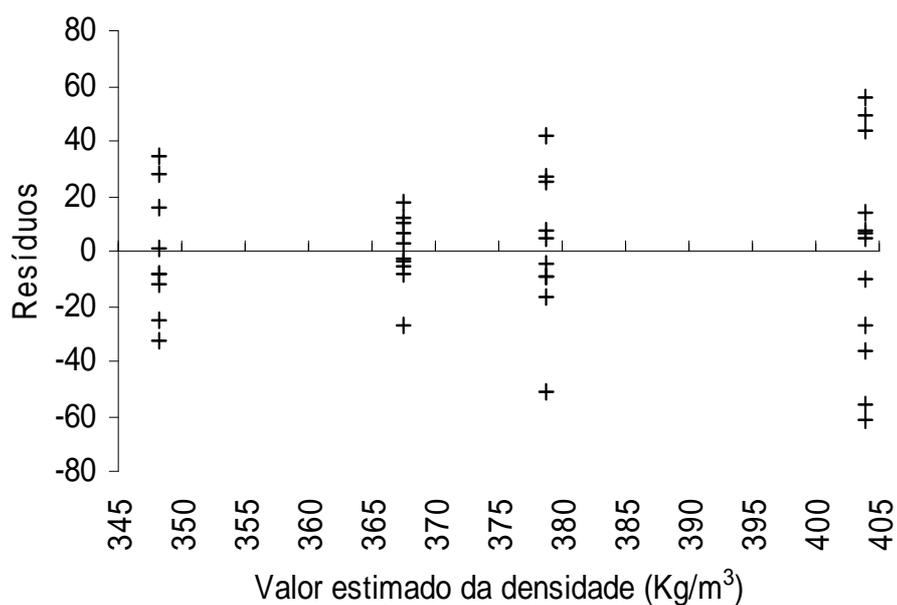
Apêndice U – Perfil de densidade da madeira do tratamento 1, repetição 2 (A) e do tratamento 27, repetição 3 (B). A imagem acima de cada perfil de densidade corresponde à amostra de madeira de *Pinus taeda* avaliada. A área de medição é a área compreendida entre as duas linhas horizontais brancas (2 mm entre linhas).



Apêndice V – Ajuste da equação de regressão da densidade da madeira em função do número de árvores/ha após o desbaste pré-comercial realizado aos 3 anos de idade em um povoamento de *Pinus taeda*, com 16 anos de idade, no nordeste de Corrientes, Argentina.



Apêndice W – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da densidade da madeira de *Pinus taeda*.



Apêndice X - Análise da covariância para avaliação de interceptos da equação que estima densidade da madeira em função do número de árvores após o desbaste pré-comercial por hectare para um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.

The GLM Procedure

Dependent Variable: D

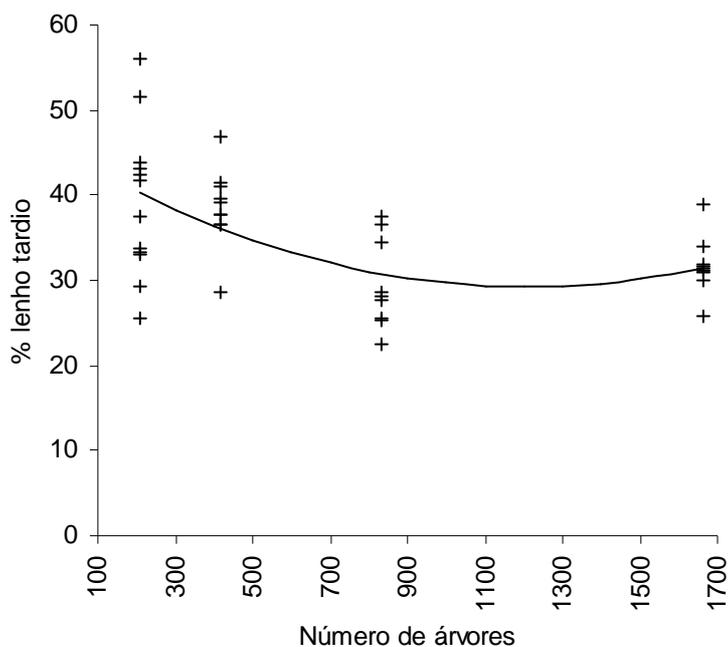
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	18915.06435	6305.02145	8.69	0.0002
Error	37	26845.25625	725.54747		
Corrected Total	40	45760.32060			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	D Mean
0.413351	7.150894	26.93599	376.6800

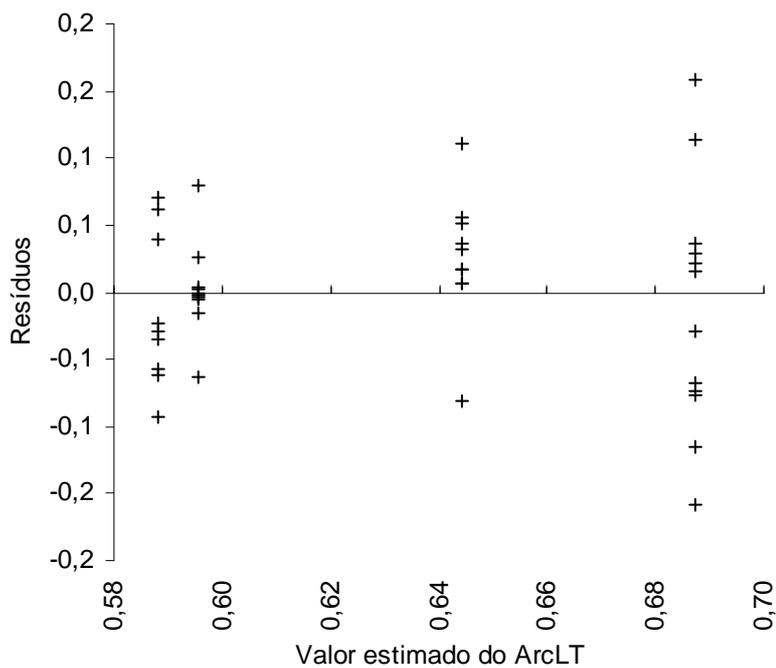
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
AR	1	14001.23970	14001.23970	19.30	<.0001
AR2	1	11015.06374	11015.06374	15.18	0.0004
CR	1	1808.15171	1808.15171	2.49	0.1229

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	429.7743892 B	13.66126570	31.46	<.0001
AR	-0.1717537	0.03909811	-4.39	<.0001
AR2	0.0000782	0.00002008	3.90	0.0004
CR 50	13.2965704 B	8.42277343	1.58	0.1229
CR 100	0.0000000 B	.	.	.

Apêndice Y – Ajuste da equação de regressão da porcentagem de lenho tardio em função do número de árvores/ha após o desbaste pré-comercial para um povoamento de *Pinus taeda* no nordeste Argentino.



Apêndice Z – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do arcoseno da raiz quadrada da proporção de lenho tardio.



Apêndice ZA Análise da covariância para avaliação de interceptos da equação que estima o Arcosseno da raiz quadrada da proporção de lenho tardio em função do número de árvores por hectare.

The GLM Procedure

Dependent Variable: AsL

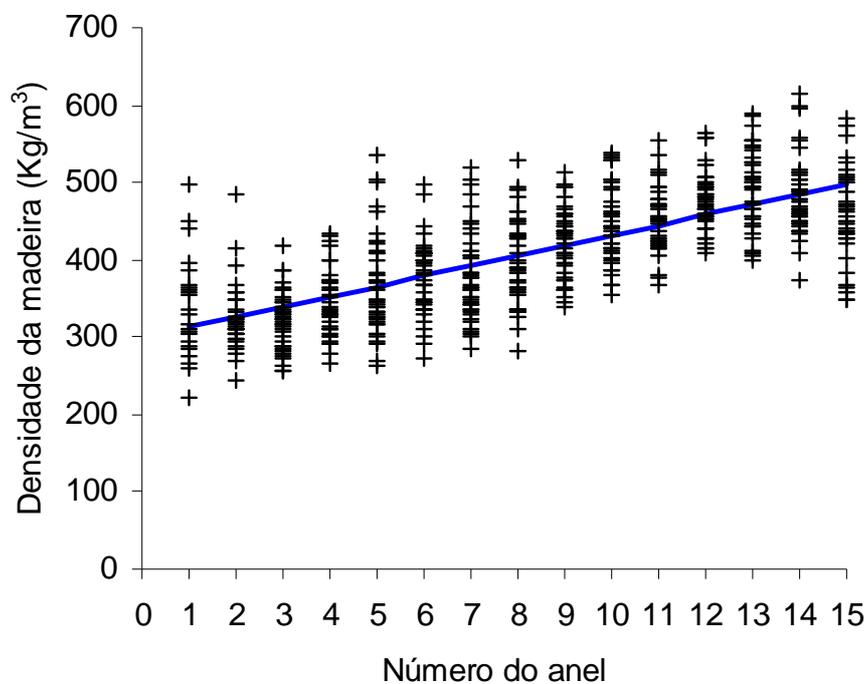
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.08377763	0.02792588	6.95	0.0008
Error	37	0.14859523	0.00401609		
Corrected Total	40	0.23237286			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	AsL Mean
0.360531	10.01747	0.063373	0.632621

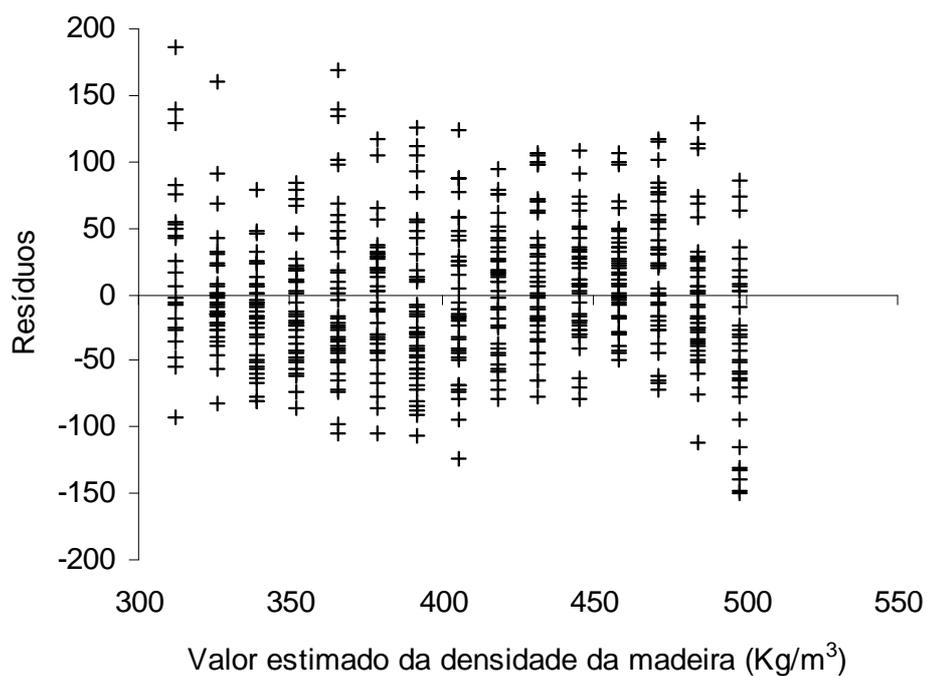
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
AR	1	0.03876973	0.03876973	9.65	0.0036
AR2	1	0.02540058	0.02540058	6.32	0.0164
CR	1	0.01494123	0.01494123	3.72	0.0615

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	0.7227915995 B	0.03214102	22.49	<.0001
AR	-.0002858046	0.00009199	-3.11	0.0036
AR2	0.0000001188	0.00000005	2.51	0.0164
CR 50	0.0382221746 B	0.01981636	1.93	0.0615
CR 100	0.0000000000 B	.	.	.

Apêndice ZB – Ajuste da equação de regressão da densidade da madeira de em função do número do anel para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.



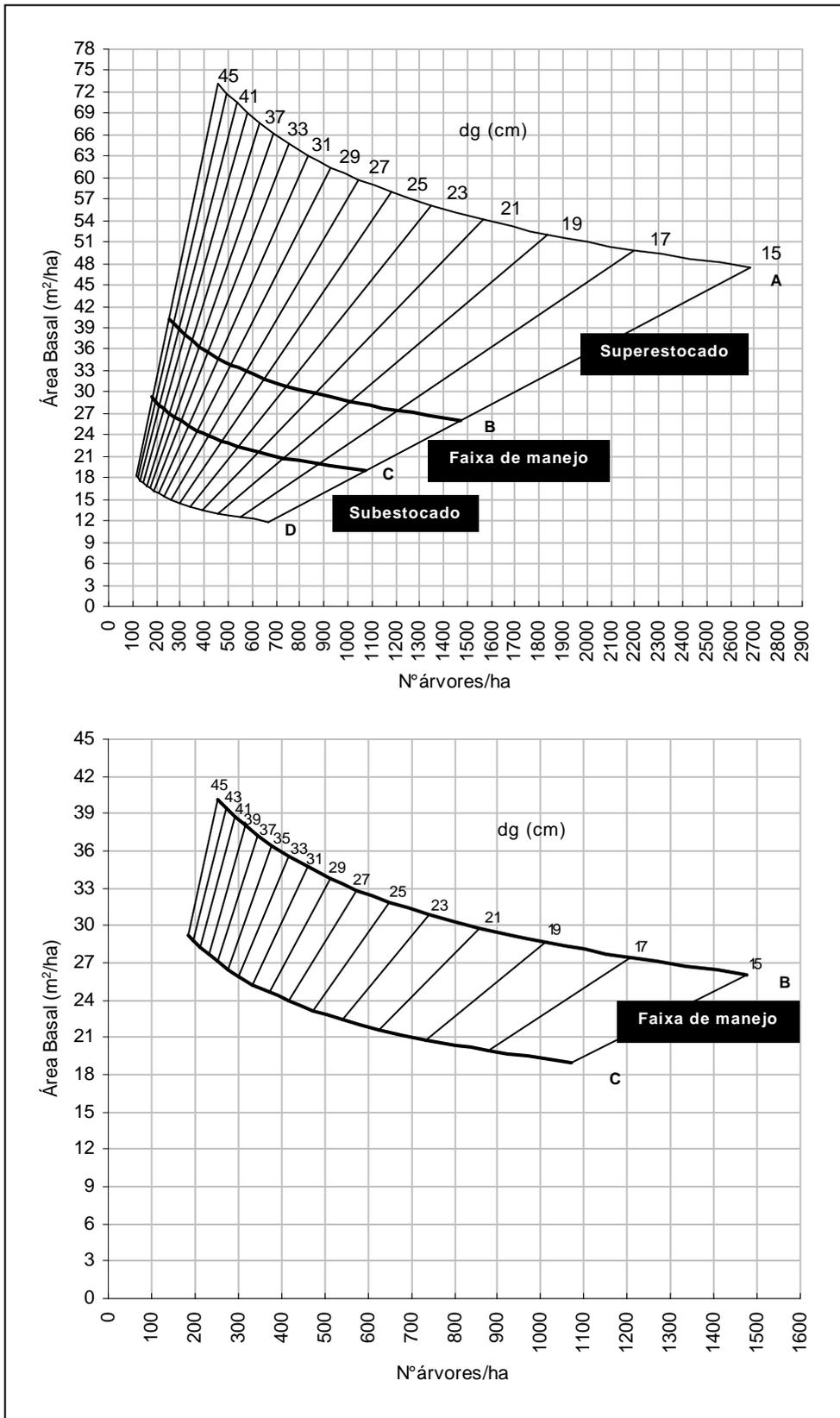
Apêndice ZC – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da densidade da madeira de *Pinus taeda*.



Apêndice ZD – Densidade populacional para as linhas A (máxima densidade), B (limite superior de manejo), C (limite inferior de manejo) e D (fechamento de copas) para *Pinus taeda* no nordeste de Corrientes, Argentina.

dg (cm)	Linha D		Linha C		Linha B		Linha A	
	N/ha	G (m ² /ha)						
15	670	11,8	1073	19,0	1475	26,1	2681	47,4
16	604	12,2	967	19,4	1330	26,7	2418	48,6
17	548	12,4	877	19,9	1206	27,4	2193	49,8
18	500	12,7	800	20,4	1101	28,0	2001	50,9
19	459	13,0	734	20,8	1009	28,6	1835	52,0
20	422	13,3	676	21,2	929	29,2	1690	53,1
21	391	13,5	625	21,6	859	29,8	1563	54,1
22	363	13,8	580	22,0	798	30,3	1450	55,1
23	338	14,0	540	22,4	743	30,9	1350	56,1
24	315	14,3	504	22,8	694	31,4	1261	57,1
25	295	14,5	472	23,2	650	31,9	1181	58,0
26	277	14,7	444	23,6	610	32,4	1109	58,9
27	261	14,9	418	23,9	574	32,9	1044	59,8
28	246	15,2	394	24,3	542	33,3	985	60,6
29	233	15,4	372	24,6	512	33,8	931	61,5
30	220	15,6	353	24,9	485	34,3	881	62,3
31	209	15,8	335	25,2	460	34,7	836	63,1
32	199	16,0	318	25,6	437	35,2	795	63,9
33	189	16,2	303	25,9	416	35,6	756	64,7
34	180	16,4	288	26,2	397	36,0	721	65,5
35	172	16,6	275	26,5	379	36,4	688	66,2
36	164	16,7	263	26,8	362	36,8	658	67,0
37	157	16,9	252	27,1	346	37,2	630	67,7
38	151	17,1	241	27,4	332	37,6	603	68,4
39	145	17,3	231	27,6	318	38,0	579	69,1
40	139	17,5	222	27,9	306	38,4	556	69,8
41	133	17,6	214	28,2	294	38,8	534	70,5
42	128	17,8	205	28,5	283	39,1	514	71,2
43	124	18,0	198	28,7	272	39,5	495	71,8
44	119	18,1	191	29,0	262	39,9	477	72,5
45	115	18,3	184	29,3	253	40,2	460	73,1

Em que: dg=diâmetro da árvore de área basal média; N/ha=número de árvores por hectare;
G=área basal por hectare.



Apêndice ZE – Diagrama de manejo de densidade para *Pinus taeda* no nordeste da Argentina. A (linha de máxima densidade); B (linha superior de manejo); C (linha inferior de manejo); D (linha de fechamento de copas). Diagrama inferior da figura: faixa de manejo.