

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

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CLONES DE  
*Eucalyptus saligna* Smith SOB DIFERENTES  
CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Lucas Zancan Pissinin**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2013**



**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus*  
*saligna* Smith SOB DIFERENTES CONDIÇÕES  
AMBIENTAIS**

**Lucas Zancan Pissinin**

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

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Renato Schneider**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pissinin, Lucas Zancan

Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* smith sob diferentes condições ambientais / Lucas Zancan Pissinin. -2013.

157 p. ; 30cm

Orientador: Paulo Renato Schneider

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2013

1. Produtividade florestal 2. Solo 3. Altitude 4. Declividade I. Schneider, Paulo Renato II. Título.

---

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Lucas Zancan Pissinin. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: [lpissinin@yahoo.com.br](mailto:lpissinin@yahoo.com.br)

---

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

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus saligna*  
Smith SOB DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

elaborada por  
**Lucas Zancan Pissinin**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Paulo Renato Schneider**, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

---

**Jorge Antônio de Farias**, Dr. (UFSM)

---

**Luciano Weber Scheeren**, Dr. (MP - RS)

Santa Maria, 1 de março de 2013.



*À minha Mãe, que  
dedicou sua vida e seu conhecimento para  
moldar meu caráter, dedico este trabalho.*



## **Agradecimentos**

A todos os que passaram por minha vida, tenham a certeza que deixo neste trabalho um pouco de cada um. De alguns aprendi a persistência, a atenção aos detalhes, a obstinação. De outros aprendi como agir, falar, pensar, e de outros simplesmente aprendi como não ser ou fazer.

Para todos estes, em especial para minha mãe Dineva, meu pai Saul, que aonde estiver, tenho a certeza que está me guiando neste caminho, meu irmão Fernando e minha namorada Anelise, não tenho palavras que possam traduzir meu agradecimento ao seu apoio.

Agradeço a meu Orientador Prof. Paulo Renato Schneider, por todo apoio na realização deste trabalho, e por ter me ensinado, mesmo sem perceber, que eu deveria pensar com mais calma para pensar certo.

Meu especial agradecimento à CMPC Celulose Riograndense, na pessoa do Sr. Rodrigo Alarcon Pardo, pelo apoio e disponibilização de informações para a realização deste trabalho.

Aos colegas de graduação, eternos amigos e colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, colegas do Laboratório de Manejo Florestal e colegas da Celulose Riograndense, dos quais não cito todos os nomes para não cometer a injustiça do esquecimento de qualquer um que seja, agradeço enormemente toda a convivência, as conversas e ideias trocadas que, tenham certeza, muito colaboraram neste meu caminho.

Por fim, agradeço a esta Universidade por ter formado o profissional que hoje sou.



*“Não fique ai  
parado, nada dura para sempre, apenas a terra  
e o firmamento, e todo o seu dinheiro nenhum  
minuto a mais comprará”*

*“Kerry Livgren”*



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus saligna* Smith SOB DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Autor: Lucas Zancan Pissinin

Orientador: Prof. Dr. Paulo Renato Schneider

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 1 de março de 2013

Este trabalho objetivou a análise de diferentes tendências de crescimento em altura dominante ( $h_{100}$ ) de dois clones de *Eucalyptus saligna* Smith, implantados em diferentes condições de solo e relevo. As diferenças no crescimento desta variável foram utilizadas para segregar os dois clones em distintos grupos de crescimento, com isso realizar a classificação de sítio em cada grupo e, posteriormente o ajuste, validação e estruturação de funções de número de árvores por hectare (N), diâmetro quadrático médio (dg), área basal e volumes comerciais com e sem casca, criando um sistema de prognose em nível de povoamento para os clones avaliados. A análise das tendências de crescimento indicou a existência de três distintos grupos: O primeiro formado pelo clone 2864 implantado em solos de aptidão superior (Grupo I), o segundo formado pelo mesmo clone 2864 sob solos de aptidão média e inferior (Grupo II), e o terceiro formado pelo clone 4039 (Grupo III), o qual não demonstrou a mesma diferença de crescimento entre classes de solo apresentada pelo clone 2864. As variáveis altitude e declividade, apesar de significativas em algumas análises, não justificaram a separação em diferentes grupos. A análise da mortalidade, através da tendência do número de árvores por hectare ao transcorrer da idade, mostrou-se diferenciada entre os dois clones, mas não entre os dois grupos formados pelo clone 2864, indicando que esse comportamento deve-se exclusivamente às características genéticas de cada material. No intervalo de densidade analisado, (entre 700 à 1500 árvores por hectare) a função ajustada estimou adequadamente, não apresentando diferente tendência de mortalidade quando do aumento da densidade. O diâmetro médio foi modelado pelas variáveis,  $h_{100}$ , N e idade para todos os grupos em conjunto, não necessitando de funções específicas para cada grupo de crescimento para que estimasse com acuracidade os diâmetros. Área basal e os volumes com e sem casca foram modelados em função das variáveis anteriores ( $h_{100}$ , N e dg) e se mostraram com tendências distintas entre grupos. A produção volumétrica final foi superior no grupo I, seguida do grupo II e por último do grupo III. As idades de maximização da produção (IMP) foram distintas entre cada grupo analisado, sendo que as menores IMP foram encontradas nos melhores sítios para todos os grupos. Os valores de IMP do melhor para o pior sítio variaram de 9,5 a 12 anos, de 8,5 a 10,5 anos e de 7 a 8,4 anos para os grupos I, II e III, respectivamente. O estudo permitiu concluir que existem diferenças no crescimento e produção final tanto entre os dois clones estudados, quanto entre as diferentes classes de aptidão de solos.

**Palavras chave:** Produtividade florestal. Solo. Altitude. Declividade.



## ABSTRACT

Master's Thesis  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **GROWTH AND YIELD OF *Eucalyptus saligna* Smith CLONES ON DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS**

Autor: Lucas Zancan Pissinin  
Adviser: Prof. Dr. Paulo Renato Schneider  
Date and place: Santa Maria, 1 de março de 2013

This study had as objective to analyze the differences in the dominant height ( $h_{100}$ ) growth trends of two *Eucalyptus saligna* Smith clones, implanted on different conditions of soil and relief. The differences due this variable growth were used to separate both clones in distinct growth groups, and this way to classify the sites to each group, to adjust, validate and organize a set of functions such as number of trees per hectare (N), average quadratic diameter (dg), basal area and commercial volumes with and without bark, building this way a whole stand prognosis system to the evaluated clones. The analysis of growth trends defined tree different groups: The first one encompassing the clone 2864 implanted on high quality soils (Group I), the second one the same clone 2864 but implanted on medium and low quality soils (Group II), and the third one that consisted in the clone 4039 on all soil classes (Group III), which did not show the same growth difference among the soil classes as the clone 2864 did. The variables altitude and slope, even showing some significant differences in the analysis, did not justify the separation in distinct groups. The analysis of number of trees per hectare showed different pattern between both clones, but did not between both groups based on 2864 clone, sharply indicating that this pattern is due the genetic characteristics of each clone. Among the stand density interval analyzed (700 to 1500 trees per hectare) the fitted equation estimated adequately, did not showing different mortality trends as the stand density changed. The average quadratic diameter was modeled by the variables dominant height ( $h_{100}$ ), N and age for all groups in conjunction, did not requiring an specific function to each growth group to estimate accurately the average diameters. Basal area and volumes with and without bark were modeled by the previous variables ( $h_{100}$ , N and dg) and showed different trends among the three groups. The final yield was highly superior in the group I, followed by the group II and after by the group III. The age of maximizing production (AMP) was distinct among each group and, the smaller AMP were found in the best sites to all groups. AMP values, from the best to the worst site, fluctuated from 9,5 to 12 years, from 8,5 to 10,5 years and from 7 to 8,4 years for the groups I, II and III, respectively. This study allowed concluding that there are differences in the growth and yield, not only between the two evaluated clones, but also between the different soils classes.

**Key-words:** Forestry productivity. Soil. Altitude. Slope.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição climática adequada ao <i>Eucalyptus saligna</i> Smith na Austrália. ....	35
Figura 2 - Relações entre crescimento e produção de um povoamento equiâneo.....	44
Figura 3 – Regiões geomorfológicas (A), temperatura média anual (B), precipitação média anual (C) e mapa hipsométrico (D). ....	53
Figura 4 – Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os clones 2864 e 4039 após detecção de diferença significativa pelo fator material genético.....	78
Figura 5 – Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os grupos I e II, após análise do fator solo.....	84
Figura 6 – Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os grupos III e IV, após análise do fator solo.....	85
Figura 7 – Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os grupos I-A e I-B.....	92
Figura 8 – Distribuição de dados idade x altura dominante para os grupos I-A e I-B.....	93
Figura 9 – Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os grupos III-A e III-B pelo modelo linearizado (A) e não linearizado (B) .....	96
Figura 10 – Distribuição das observações para os grupos III-A e III-B.....	97
Figura 11 – Curvas ajustadas para os grupos definidos (I e II) e em análise (III)....	100
Figura 12 – Curvas médias de crescimento em altura dominante para os três grupos definidos. ....	102
Figura 13 – Curvas de índice de sítio para o grupo I (clone 2864 – solos 1-2). ....	103
Figura 14– Curvas de índice de sítio para o grupo II (clone 2864 – solos 3-4-5). ...	104
Figura 15– Curvas de índice de sítio para o grupo III (clone 4039).....	105
Figura 16 – Dispersão dos desvios percentuais entre o número de árvores observado e o estimado na amostra de validação, para todos os grupos de crescimento. ....	109
Figura 17 – Curvas de número de árvores por hectare para os três grupos de crescimento considerando um índice de sítio de 30 m (7 anos) e um número inicial de árvores igual a 1111.....	111
Figura 18 – Curvas do número de árvores por hectare em cada sítio para o grupo de crescimento I.....	112
Figura 19 – Curvas do número de árvores por hectare em cada sítio para o grupo de crescimento II.....	112
Figura 20 – Curvas do número de árvores por hectare em cada sítio para o grupo de crescimento III.....	113

Figura 21 – Dispersão das diferenças percentuais entre os valores de dg estimados pela função de Kira com 3 parâmetros e os dg observados, em função da altura dominante observada. ....	115
Figura 22 – Dispersão das diferenças percentuais entre os valores de dg estimados pela função de Kira com 3 parâmetros e os dg observados, em função do número de árvores observado. ....	116
Figura 23 – Dispersão das diferenças percentuais entre os valores de dg estimados pela função construída e os dg observados, em função da altura dominante observada. ....	118
Figura 24 – Dispersão das diferenças percentuais entre os valores de dg estimados pela função construída e os dg observados, em função do número de árvores observado. ....	118
Figura 25 – Comportamento do dg para o grupo de crescimento I em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores. ....	120
Figura 26 – Comportamento do dg para o grupo de crescimento II em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores. ....	121
Figura 27 – Comportamento do dg para o grupo de crescimento III em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores. ....	121
Figura 28 – Comportamento da área basal para o grupo de crescimento I em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores. ....	122
Figura 29 – Comportamento da área basal para o grupo de crescimento II em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores. ....	123
Figura 30 – Comportamento da área basal para o grupo de crescimento III em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores. ....	123
Figura 31 – Comportamento da área basal para cada grupo de crescimento, a partir de um índice de sítio de 30 m aos 7 anos e número inicial de árvores de 1111. ....	124
Figura 32 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados, em função dos índices de sítio calculados para cada amostra de validação (parcela). ....	126
Figura 33 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados, em função da altura dominante para cada amostra de validação (parcela). ....	127
Figura 34 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados, em função da área basal para cada amostra de validação (parcela). ....	127
Figura 35 – Comportamento do volume sem casca para o grupo de crescimento I em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores. ....	129
Figura 36 – Comportamento do volume sem casca para o grupo de crescimento II em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores. ....	129

Figura 37 – Comportamento do volume sem casca para o grupo de crescimento III em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores. ....	130
Figura 38 – Tendências da produção em volume sem casca para cada grupo de crescimento, considerando uma densidade inicial de plantio de 1.111 árvores e um índice de sítio de 30 m. ....	131
Figura 39 – Dispersão das diferenças percentuais entre o número de árvores estimado e observado em função da idade final (projetada). ....	132
Figura 40 – Dispersão das diferenças percentuais entre o número de árvores estimado e observado em função do número inicial de árvores.....	133
Figura 41 – Dispersão das diferenças percentuais entre o número de árvores estimado e observado em função do índice de sítio. ....	133
Figura 42 – Dispersão das diferenças percentuais entre o dg estimado e observado em função da altura dominante. ....	134
Figura 43 – Dispersão das diferenças percentuais entre o dg estimado e observado em função do número de árvores estimado. ....	134
Figura 44 – Dispersão das diferenças percentuais entre a área basal estimada e observada em função do Dg estimado. ....	135
Figura 45 – Dispersão das diferenças percentuais entre a área basal estimada e observada em função do número de árvores estimado. ....	135
Figura 46 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados em função da área basal estimada. ...	136
Figura 47 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados em função da altura dominante. ....	136
Figura 48 – Idades de maximização da produção identificadas para índices de sítios inferior, médio e superior para o grupo de crescimento I. ....	138
Figura 49 – Idades de maximização da produção identificadas para índices de sítios inferior, médio e superior para o grupo de crescimento II. ....	138
Figura 50 – Idades de maximização da produção identificadas para índices de sítios inferior, médio e superior para o grupo de crescimento III. ....	139



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição das medições das parcelas permanentes com pelo menos uma remedição nas diferentes classes de idade e em cada clone.....	62
Tabela 2 – Distribuição das medições das parcelas permanentes com pelo menos uma remedição nas diferentes classes de aptidão de solos e em cada clone.....	63
Tabela 3 – Distribuição das medições das parcelas permanentes com pelo menos uma remedição nas diferentes classes de altitude e em cada clone.....	63
Tabela 4 – Distribuição das medições das parcelas permanentes com pelo menos uma remedição nas diferentes classes de declividade e em cada clone.....	63
Tabela 5 – Modelos avaliados para descrever o crescimento em altura dominante.....	65
Tabela 6 – Modelos avaliados para descrever o número de árvores por hectare ao longo do ciclo florestal dos povoamentos clonais de <i>E. saligna</i> . .....	69
Tabela 7 – Estatísticas avaliadas em cada modelo testado.....	74
Tabela 8 – Hierarquização dos modelos para cada estatística calculada. ....	74
Tabela 9 – Análise de covariância para o fator material genético. ....	76
Tabela 10 – Análise de covariância do fator solo para o material genético 2864.....	79
Tabela 11 – Análise de covariância do fator solo para o material genético 4039.....	79
Tabela 12 – Significância representada pelo valor de probabilidade “p” entre as classes de aptidão dos solos pela análise de covariância para o clone 2864.....	81
Tabela 13 – Significância representada pelo valor de probabilidade “p” entre as classes de aptidão dos solos pela análise de covariância para o clone 4039.....	81
Tabela 14 - Significância representada pelo valor de probabilidade “p” entre as classes de aptidão de solos agrupadas pela análise de covariância para o clone 2864.....	82
Tabela 15 - Significância representada pelo valor de probabilidade “p” entre as classes de aptidão de solos agrupadas pela análise de covariância para o clone 4039.....	82
Tabela 16 – Crescimento em altura dominante e diferenças de crescimento para cada curva ajustada nos grupos I, II, III e IV. ....	86
Tabela 17 – Análise de covariância do fator altitude para o Grupo I – clone 2864 e classe de aptidão de solos 1-2.....	87
Tabela 18 – Análise de covariância do fator altitude para o Grupo II – clone 2864 e classe de aptidão de solos 3-4-5.....	88

Tabela 19 –Análise de covariância do fator altitude para o Grupo III – clone 4039 e classe de aptidão de solos 1-2-3-4-5. ....	89
Tabela 20 –Diferenças detectadas entre as classes de altitude pela análise de covariância para o Grupo I (clone 2864 e solos 1-2). ....	89
Tabela 21 –Diferenças detectadas entre as classes de altitude pela análise de covariância para o Grupo II (clone 2864 e solos 3-4-5). ....	90
Tabela 22 –Análise de variância para o ajuste do modelo de Backman para os grupos I-A (clone 2864, classes de solos 1 e 2 e altitude 0-200 m) e grupo I-B (clone 2864, classes de solos 1 e 2 e altitude > 200 m).....	90
Tabela 23 –Coeficientes do ajuste do modelo de Backman para os grupos I-A (clone 2864, classes de solos 1 e 2 e altitude 0-200 m) e grupo I-B (clone 2864, classes de solos 1 e 2 e altitude > 200 m). ....	91
Tabela 24 –Análise de covariância entre classes de declividade para o Grupo I (clone 2864; classes de aptidão de solos 1 e 2). ....	94
Tabela 25 –Análise de covariância entre classes de declividade para o Grupo II (clone 2864; classes de aptidão de solos 3, 4 e 5). ....	94
Tabela 26 –Análise de covariância entre classes de declividade para o Grupo III (clone 4039; todas as classes de aptidão de solos). ....	95
Tabela 27 –Diferenças detectadas entre as classes de declividade pela análise de covariância para o Grupo III (clone 4039 e solos 1-2-3-4-5).....	95
Tabela 28 –Valores das estatísticas $X^2$ e “D” para os testes de Bartlett e Kolmogorov –Smirnov, respectivamente. ....	99
Tabela 29 –Coeficientes ajustados e curva média de crescimento em altura dominante para os três grupos finais definidos pelas análises de tendência de crescimento.....	101
Tabela 30 –Altura dominante em cada índice de sítio definido para o grupo I (clone 2864 – solos 1-2). ....	103
Tabela 31 –Altura dominante em cada índice de sítio definido para o grupo II (clone 2864 – solos 3-4-5). ....	104
Tabela 32 –Altura dominante em cada índice de sítio definido para o grupo III (clone 4039).....	105
Tabela 33 –Estatísticas avaliadas nas cinco funções ajustadas para o número de árvores.....	106
Tabela 34 –Diferenças percentuais médias entre os valores estimados e observados do número de árvores por hectare em cada grupo de crescimento, em cada classe de idade de projeção (Idade inicial) e em cada classe de idade projetada (Idade final). ....	107
Tabela 35 –Diferenças percentuais médias entre os valores estimados e observados do número de árvores por hectare em cada grupo de crescimento e em cada classe de número de árvores (inicial). ....	108
Tabela 36 –Análise de variância do ajuste do modelo de Pienaar e Schiver para cada grupo de crescimento.....	110

Tabela 37 –Coeficientes finais ajustados para cada grupo de crescimento.....	110
Tabela 38 –Estatísticas avaliadas nas funções de Kira com 3 e 4 parâmetros para descrever o diâmetro quadrático médio. ....	113
Tabela 39 –Diferenças percentuais entre os diâmetros observados nas amostras de validação e os diâmetros estimados pela função ajustada para cada grupo e pela função ajustada para todos os grupos em conjunto.....	114
Tabela 40 –Passos de seleção das variáveis transformadas para modelagem do diâmetro quadrático médio. ....	117
Tabela 41 –Parâmetros estimados para a amostra de ajuste considerando as variáveis incluídas no modelo via procedimento stepwise. ....	117
Tabela 42 –Análise de variância para o ajuste da função construída via procedimento stepwise e para a amostra total. ....	119
Tabela 43 –Parâmetros estimados para a amostra total considerando as variáveis incluídas no modelo via procedimento stepwise. ....	119
Tabela 44 –Diferenças percentuais entre os volumes observados nas amostras de validação e os volumes estimados pela função de Buckman.....	125
Tabela 45 –Parâmetros finais ajustados para função de volume para os diferentes grupos de crescimento. ....	128



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Distribuição dos solos descritos nas áreas de estudo conforme classes de aptidão, e as respectivas ordens (nível 1 de classificação) encontradas em cada classe. ....	56
Quadro 2 - Descrição dos solos enquadrados em cada classe de aptidão. ....	57
Quadro 3 – Resumo dos materiais genéticos (clones), das classes de solo, altitude e declividade associadas a cada parcela permanente para o estudo. ....	61
Quadro 4 – Agrupamentos sugeridos após análise de covariância dos fatores material genético (clone) e classe de aptidão de solos. ....	83



## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Distribuição das parcelas permanentes utilizadas para o ajuste dos modelos.....	155
Anexo 2 – Distribuição das parcelas permanentes utilizadas para a validação dos modelos.....	157



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>2 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>31</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	31
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>33</b>
3.1 GÊNERO <i>EUCALYPTUS</i> .....	33
3.1.1 <i>Eucalyptus saligna</i> Smith .....	34
3.2 CAPACIDADE PRODUTIVA.....	34
3.3 SOLOS E O CRESCIMENTO DAS FLORESTAS .....	36
3.4 ALTITUDE E DECLIVIDADE: FATORES DE INFLUÊNCIA NO CRESCIMENTO DAS FLORESTAS .....	41
3.5 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO .....	42
3.5.1 Componentes do Crescimento .....	42
3.5.1.1 Incremento .....	43
3.5.1.2 Ingresso.....	45
3.5.1.3 Mortalidade.....	45
3.5.2 Modelos de predição do crescimento e produção .....	47
3.6 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA MODELAGEM .....	50
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>53</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO .....	53
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS GENÉTICOS ESTUDADOS .....	54
4.3 MAPEAMENTO DE SOLOS E CARACTERIZAÇÃO DO RELEVO .....	55
4.4 PARCELAS PERMANENTES .....	61
4.5 METODOLOGIAS DE MODELAGEM E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES.....	64
4.5.1 Crescimento em altura dominante: Seleção e ajuste de modelos.....	64
4.5.2 Crescimento em altura dominante: Funções de índice de sítio .....	64
4.5.3 Crescimento em altura dominante: Tendências de crescimento .....	68
4.5.4 Modelos para prognose da produção .....	69
4.5.4.1 Número de árvores por hectare.....	69
4.5.4.2 Diâmetro médio quadrático .....	70
4.5.4.3 Área Basal.....	71

4.5.4.4 Volume com e sem casca.....	71
4.5.4.5 Bases de validação e ajuste dos modelos .....	72
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>73</b>
<b>5.1 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO .....</b>	<b>73</b>
5.1.1 Seleção dos modelos para descrever o crescimento em altura dominante .....	73
5.1.2 Análises de tendências para definição de grupos de curvas de índice de sítio .....	75
5.1.2.1 Material genético.....	76
5.1.2.2 Solo.....	78
5.1.2.3 Altitude.....	87
5.1.2.4 Declividade .....	93
5.1.2.5 Tendências de crescimento definidas pela análise de covariância.....	98
5.1.2.7 Curvas de índice de sítio .....	102
<b>5.2 PROGNÓSE DA PRODUÇÃO FLORESTAL .....</b>	<b>106</b>
5.2.1 Número de árvores por hectare .....	106
5.2.2 Diâmetro quadrático e área basal.....	113
5.2.3 Volume de madeira com e sem casca .....	125
5.2.4 Validação total do modelo.....	131
5.2.5 Idade de maximização da produção (IMP) .....	137
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>141</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>143</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>153</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Em qualquer sistema produtivo existe o conceito, mesmo que implicitamente, de sustentabilidade da produção. Este conceito implica na necessidade do sistema de produção, de planejar e executar as tarefas inerentes à sua atividade, de forma a permitir um fluxo contínuo do produto desta atividade durante todo seu horizonte de planejamento.

Sejam recursos naturais não renováveis, minério, petróleo entre outros, ou renováveis, como a produção agropecuária e florestal, sempre há a necessidade de se ter um horizonte ou prazo de planejamento, e dentro deste prazo, prognosticar os recursos dos quais se poderá dispor no futuro.

Tais horizontes de planejamento, que são requeridos para empresas ou grandes investidores da área florestal a exemplo, por si só já requerem métodos que possam prever produções futuras, seguindo-se a estes, um aperfeiçoado planejamento de receitas e despesas a longo prazo. Erros nas estimativas de estoques disponíveis podem ser determinantes e definir a diferença entre estas receitas e custos. Desta forma, a predição do crescimento e produção de florestas deixa de ser apenas um problema técnico, e passa abranger também a gestão de custos, tornando-se problema central de qualquer empreendimento florestal (TONINI, 2003).

Rodriguez et al. (1996) exemplificam de maneira bem simples que existem muitas semelhanças entre uma área de produção florestal e uma fábrica. A decisão acerca dos níveis de aplicação de insumos e a correta intensidade e época de intervenções, dependerá das corretas estimativas da produção, resultante de todas as combinações possíveis destas variáveis.

No caso do desenvolvimento das florestas, entretanto, temos uma importante diferença: "A floresta é o produto e também a fábrica", por isso a grande importância de um adequado balanço entre produção e armazenamento. Um estoque muito grande poderá causar uma redução da eficiência econômica do processo, através da disponibilidade de madeira em ciclos mais longos do que a idade econômica de corte, enquanto que estoques mais baixos podem impedir a exploração de todo o

potencial produtivo da floresta, ou mesmo comprometer um plano de suprimento de madeira.

Assim, uma empresa de base florestal necessitará de ferramentas que possam indicar as quantidades de determinado produto que sua floresta proverá, e as taxas em que estes produtos poderão ser explorados futuramente, permitindo um fluxo contínuo de saídas (exploração, venda) e entradas (incremento ou crescimento da floresta).

Neste ponto, as informações vindas de modelos apropriados de crescimento e produção são fundamentais para a determinação das idades de rotação, das densidades iniciais de plantio e do planejamento de intervenções na floresta (CLUTTER et al., 1983). Modelos para prever a produção futura têm, portanto, um papel muito importante como ferramenta de tomada de decisão, auxiliando a responder perguntas tais como: Aonde, quando, de que forma, e em que intensidade intervir na floresta?

## 2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo geral, estudar o comportamento do crescimento em dois clones de *Eucalyptus saligna* Smith implantados em áreas com diferentes condições de solo e relevo, gerando subsídios para a modelagem do crescimento e produção.

### 2.1 Objetivos específicos

Com o desenvolvimento deste trabalho, pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Definir e comparar os grupos de crescimento em altura dominante de clones de *Eucalyptus saligna* Smith implantados sob diferentes condições de solo e relevo;
- Ajustar funções para as variáveis de crescimento e produção em cada grupo definido;
- Estruturar e validar o conjunto de funções ajustadas, de forma a aplicá-las para a prognose e simulação do crescimento e produção de florestas monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith;
- Determinar a idade de maximização da produção para os grupos de crescimento definidos pelos objetivos anteriores.



## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Gênero *Eucalyptus*

O eucalipto é uma planta da família das Mirtáceas, nativa da Oceania, e cultivada em diversos países para finalidades variadas. No Brasil este gênero adaptou-se excepcionalmente bem, ocupando hoje área maior do que qualquer outra espécie exótica (HASSE, 2006). No Brasil os plantios deste gênero ocupam uma área de 4.516.000 hectares, sendo que no Rio Grande do Sul são 271.980 hectares que representam apenas 6% de toda área plantada no Brasil (ABRAF; STCP, 2010).

As árvores do gênero *Eucalyptus* são pouco ramificadas e com a casca grossa, rica em cortiça e quase sempre fendida (LORENZI et al., 2003). Seu fuste longo e reto favoreceu inicialmente seu uso como lenha e dormentes. Posteriormente, descobriu-se sua grande utilidade para postes de eletrificação, madeira serrada e para processos industriais (HASSE, 2006)

No Brasil, as espécies mais plantadas são o *Eucalyptus grandis* (55%), *Eucalyptus saligna* (17%), *Eucalyptus urophylla* (9%), *Eucalyptus viminalis* (2%), híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* (11%) e outras espécies(6%) (REMADE, 2001).

Desde os primeiros plantios no início do século XX, a arrancada dos plantios comerciais nos anos 50, e os incentivos fiscais para as florestas em meados dos anos 60, o gênero *Eucalyptus* mostrou espécies muito promissoras e que indicavam rápido crescimento em resposta à evolução nas técnicas de silvicultura.

Além dos avanços nas técnicas silviculturais, a evolução na qualidade genética dos povoamentos, através do desenvolvimento de mudas de sementes com diferentes níveis de melhoramento, as espécies híbridas e materiais genéticos clonais, elevaram a produtividade média anual de 24 m<sup>3</sup>/ha/ano sem casca nos anos 80, para 44 m<sup>3</sup>/ha/ano sem casca até 2009 (BRACELPA, 2011).

### 3.1.1 *Eucalyptus saligna* Smith

O *Eucalyptus saligna* Smith tornou-se no Brasil uma das espécies mais plantadas. No Rio Grande do Sul especialmente, destacou-se por possuir uma maior tolerância ao frio em relação ao *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, espécie atualmente muito produtiva na região sudeste do país, e que é recomendada para climas mais quentes e úmidos (IPEF, 2005). Mesmo sendo menos tolerante que o *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthami* Maiden & Canbage (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006), o *E. saligna* demonstrou aliar a estas características uma elevada produtividade e facilidade na obtenção de material clonal, devido a seu fácil enraizamento.

O *E. saligna*, assim como a grande maioria das espécies do gênero *Eucalyptus*, é nativo da Austrália onde é conhecido por “*Sydney Blue Gum*”. Nas áreas climáticas adequadas à espécie na Austrália (Figura 1), a precipitação média anual fica entre 700 – 2300 mm com um regime de distribuição que pode ser uniforme ou mais concentrado no verão ou inverno. Esta zona climática adequada apresenta ainda um período seco, ou de menor intensidade de chuvas, de no máximo seis meses. As temperaturas médias anuais ficam no intervalo de 10 °C a 22 °C; as médias das mínimas entre -1 °C a 17 °C; e a médias das máximas entre 23 °C a 34 °C. (JOVANOVIC; BOOTH, 2002)

## 3.2 Capacidade produtiva

Segundo Campos e Leite (2006), os três principais elementos para o manejo de florestas equiâneas são a classificação das terras (solo, topografia, espécies implantadas, etc.), os tratamentos silviculturais e a predição do crescimento e da produção das florestas. Dentro do enfoque de classificação de terras, insere-se a classificação ou mapeamento das áreas reflorestadas em classes de produtividade. Esta, por sua vez, pode ser definida como: “O potencial para produção de madeira de determinado lugar ou sítio, para uma dada espécie ou clone”.

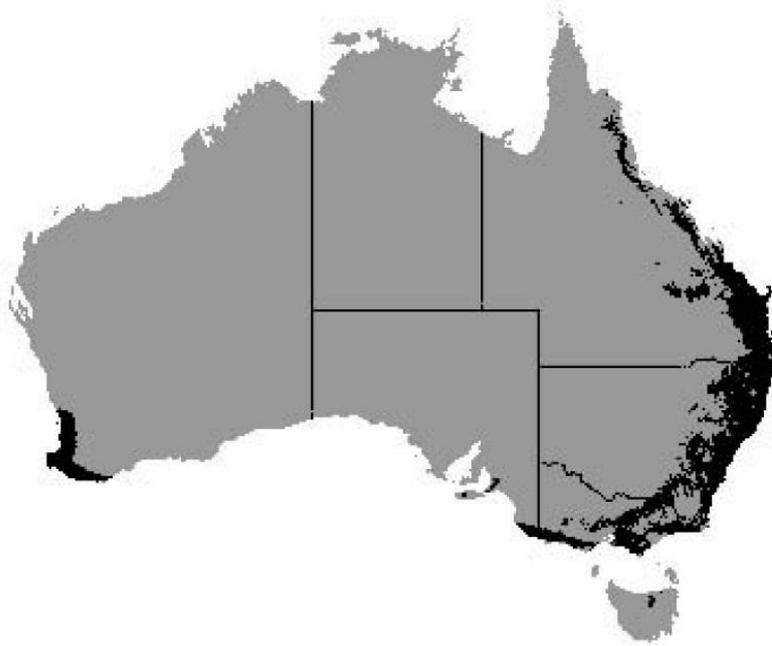


Figura 1 - Distribuição climática adequada ao *Eucalyptus saligna* Smith na Austrália.

(Fonte: JOVANOVIC; BOOTH, 2002)

Existem diferentes métodos para a classificação da capacidade produtiva das áreas com florestas, podendo-se ainda agrupar todos eles em três diferentes categorias: Avaliação pela vegetação indicadora, avaliação por fatores edafoclimáticos e avaliação pela relação altura dominante e idade (índices de sítio ou de local), sendo os dois primeiros considerados métodos indiretos, e o último como um método direto de classificação (GONÇALVES, 1988), embora que Carvalho et al., (1999) classifique os mesmos como métodos extrínsecos e intrínsecos, respectivamente.

O primeiro destes métodos, qual seja, a avaliação pela vegetação indicadora, apresenta-se ainda como o mais incipiente deles. Por outro lado, métodos de classificação por fatores edafoclimáticos, por índices de sítio e o estudo da correlação entre estes, tem sido amplamente estudados por diversos autores como Gonçalves (1988), Scolforo (1992), Carvalho (1999), Tonini et al. (2002), Tonini (2003), Tonini et al. (2004), Tonini et al. (2006).

A forma mais apropriada de identificar a qualidade do local é através da quantificação do material produzido em um dado período, ou seja, através de um método direto de classificação. As árvores dominantes conseguem captar e expressar no seu crescimento os recursos ambientais a elas oferecidos, além disso, por não serem afetadas por competição, dentro de certos limites, e por terem forte correlação com o volume de um povoamento, estas variáveis são importantes preditoras do crescimento e produção da floresta (SOARES et al. 2004).

Clutter et al. (1983) citam que no caso de espécies que tem seu crescimento em altura significativamente influenciado pela densidade do povoamento, o método de classificação da capacidade produtiva por índices de sítio pode trazer resultados pouco confiáveis. Entretanto, segundo o mesmo autor, na maioria das espécies de importância madeireira, a densidade tem pouca influência sobre o crescimento em altura das árvores dominantes, fazendo com que este método torne-se um dos mais utilizados para a avaliação da produtividade dos sítios florestais.

### **3.3 Solos e o crescimento das florestas**

A variação do potencial produtivo entre diferentes classes de produtividade é uma resposta a diversos fatores do meio, dentre eles o solo, com suas características físicas, químicas e suas restrições ao crescimento das plantas.

De acordo com a Sociedade Americana de Ciência do Solo, Soil Science Society of America (1973 apud SCHUMACHER e HOPPE, 1999) o solo é o material mineral inconsolidado sobre a superfície da terra, que serve como meio natural para as plantas, refletindo desta forma, suas condições no melhor ou pior desenvolvimento das mesmas.

O solo é o resultado da interação entre diversos fatores de formação, como o material de origem, clima, relevo, microorganismos e tempo. Juntos, estes fatores são responsáveis pela formação de cada solo com suas características específicas, e que, desta forma, conseguem oferecer um suporte adequado em maior ou menor grau às plantas através das suas raízes (ROSA et al., 2007).

Como consequência das diferentes condições de suporte dos solos às plantas, o ritmo ou a forma de crescimento das florestas impactam o resultado final

deste processo, ou seja, a produção em madeira ou outro produto. O conhecimento e a modelagem destes mecanismos que regem o crescimento das florestas tornam-se importantes na medida em que os projetos de implantação e manejo necessitam de prognoses da produção futura, para com estas informações, afirmar a viabilidade técnica e econômica dos mesmos.

Muitas plantas conseguem desenvolver-se quando seu sistema radicular é submetido a restrições como impedimentos de natureza física no solo. Entretanto, a energia gasta por elas para romper tais impedimentos pode refletir direta e negativamente sobre a expressão de seu potencial produtivo (REICHERT, 2007), ou mesmo indiretamente, pois tais restrições físicas podem reduzir a expressão dos efeitos das propriedades químicas dos solos sobre o crescimento das plantas (BELLOTE; DEDECEK, 2006).

Finger et al. (1996) também citam que as características físicas do solo, como a existência de camadas de impedimento, podem ser fatores limitantes ao crescimento e à expressão do potencial produtivo do sítio, fazendo com que, nestes casos, o rompimento destes impedimentos físicos através de técnica apropriada, venha a favorecer o aproveitamento da água e dos nutrientes pelas plantas.

A água disponível no solo por sua vez, além de ser regulada pelos ciclos de chuvas e estiagens, é altamente influenciável pelas características do solo, como a macro e microporosidade, que são nada mais do que a expressão das diferentes combinações das frações areia, silte e argila de um solo, ou seja, propriedades físicas do solo (REINERT; REICHERT, 2006).

Sabe-se que a água como componente principal da solução do solo, limita o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, de forma que as afirmações de autores como Bellote e Dedecek (2006) e Reinert e Reichert (2006), complementam-se pois, a água disponível no solo sendo regulada por características físicas do mesmo, por consequência regula a absorção dos nutrientes do solo pelas plantas, reiterando-se assim a interdependência entre estas características.

Em resumo, a melhor ou pior adaptação das plantas à determinado sítio pode ser influenciada pelas características físicas, que por sua vez regulam o ciclo da água no solo, e a água por fim, regula o crescimento e a produção das espécies neste sítio através de maior ou menor oferta de nutrientes através da solução do solo.

Ademais a esta lógica, a densidade do solo, através da sua expressão na resistência à penetração das raízes, é fator de importância para o desenvolvimento das plantas. O crescimento de florestas de Pinus no estado do Paraná, a exemplo, foi principalmente influenciado pela água disponível e pela resistência à penetração das raízes (BELLOTE; DEDECEK, 2006). O crescimento de *Eucalyptus grandis*(Hill) ex. Maiden até os 3,5 anos de idade também foi afetado pela camada de impedimento em um solo da unidade de mapeamento Santa Maria no Rio Grande do Sul (FINGER et al., 1996).

Ribeiro et al. (2010) constataram em estudo com diferentes graus de compactação do solo e doses de fósforo, realizado com cultura agrícola e florestal (soja e eucalipto), que o eucalipto apresentou maior susceptibilidade ao efeito da compactação do solo, ou seja, a uma limitação física ao desenvolvimento. O mesmo autor ainda cita que este efeito foi mais pronunciado sobre os solos mais argilosos utilizados naquele experimento.

Observações semelhantes foram feitas por Ortiz et al. (2006) em trabalho que relacionou os atributos físicos e químicos do solo com o potencial produtivo de florestas de eucalipto, expresso pelo seu índice de sítio. Neste trabalho os autores concluíram que os atributos físicos do solo, principalmente textura e estrutura mostraram ter mais influência sobre a expressão do potencial da floresta através de seu índice de sítio. Ainda observaram que as áreas de maior potencial produtivo eram aquelas onde ocorriam menores teores de alumínio, argila total e umidade, e maiores teores de manganês, soma de bases e areia total e grossa, além de ocuparem cotas de intermediárias a baixas na área de estudo. Este cenário teria determinado uma maior porosidade e permeabilidade ao solo, permitindo melhor penetração e crescimento do sistema radicular, que por sua vez viu melhorada sua capacidade de absorver água e nutrientes.

A associação dos fatores já mencionados pode também influenciar no suprimento de oxigênio para o sistema radicular. Costa et al. (2009a) atribuíram as maiores limitações ao desenvolvimento de eucalipto no Rio Grande do Sul, à deficiência de oxigênio e aos impedimentos ao manejo do solo, tendo classificado os diversos tipos de solo de um mapeamento em grande escala em cinco classes potenciais (apta superior, apta inferior, marginal superior, marginal inferior e inapta ou inferior), com base na definição de desvios em relação a deficiência de

nutrientes, água, oxigênio, susceptibilidade à erosão e aos impedimentos ao manejo.

O mesmo autor em trabalho desenvolvido conjuntamente ao supracitado relacionou a mortalidade de plantas de eucalipto aos 60 dias com o risco de anoxia (deficiência de oxigênio), concluindo que em geral as maiores taxas de mortalidade ocorreram nas classes de solo classificados como de risco alto e muito alto à anoxia. (COSTA et al., 2009b).

Portanto, os efeitos das limitações físicas dos solos podem afetar a curto prazo o desenvolvimento do povoamento, através de uma maior mortalidade ou inibição do crescimento. Estes são casos extremos em que os efeitos destas limitações não afetam o comportamento do crescimento das árvores, mas simplesmente impedem que ele ocorra.

As restrições químicas dos solos geralmente influenciam em taxas constantes o crescimento das florestas, o que faz com que povoamentos adubados e não adubados, a exemplo, tenham uma tendência de crescimento semelhante, embora sua produção final seja diferenciada. Neste sentido, Barros et al. (1984) detectaram que a tendência de crescimento de *Eucalyptus saligna* submetidos a tratamentos com e sem adubação de N:P:K foi similar, entretanto a taxa de crescimento foi bastante superior naqueles tratamentos que receberam adubação.

Restrições físicas por outro lado, podem impactar de forma diferente o crescimento ao longo do ciclo da floresta. Solos rasos como exemplo, poderão oferecer suporte nutricional e hídrico adequados à floresta até determinada idade, e a partir daí restringir o seu crescimento, devido ao sistema radicular das plantas terem explorado todo o potencial do solo quanto à sua capacidade de armazenamento e disponibilização de água. Segundo Campos e Leite (2009) o crescimento em altura dominante como exemplo, depende de condições usualmente ligadas a determinadas propriedades do solo, como a textura dos horizontes.

Baseando-se nestas constatações, pode-se supor que as restrições físicas e químicas tendem a influenciar de maneira diferenciada o crescimento das plantas. Enquanto que restrições físicas, por si só podem afetar negativamente o desenvolvimento das plantas, as características químicas, em muitos solos considerados quimicamente adequados, podem dependendo das características físicas do mesmo, se apresentar como limitantes ao desenvolvimento. Alguns Chernossolos, como os Chernossolos Ebânicos Carbonáticos Vertissólicos (Unidade

Uruguaiana), são um exemplo típico desta situação. São considerados solos com alta fertilidade (saturação por bases  $>$  ou  $=$  a 65%) e alta CTC em todo perfil, entretanto apresentam limitações físicas, principalmente devido à presença de argilas expansivas, o que os torna extremamente duros quando secos, e plásticos e pegajosos quando úmidos, dificultando muitas vezes, sua adequada drenagem (STRECK et al., 2008).

Estas possíveis diferenças de desenvolvimento das plantas frente às diversas características do solo têm levado muitos pesquisadores da área florestal a considerarem as características dos solos como variáveis qualitativas para a modelagem da forma de crescimento das florestas. Tonini et al. (2002), estudaram o comportamento do crescimento em altura dominante de *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo no Rio Grande do Sul. As unidades de mapeamento Ibaré, com solos eutróficos, bem drenados e de textura média; Pinheiro Machado, com solos litólicos distróficos, bem drenados e de textura média; e a Unidade Curumim, como solos de areias quartzosas hidromórficas distróficas, mal ou imperfeitamente drenados e fortemente ácidos, demonstraram diferenças estatísticas na forma das curvas de altura dominante x idade, através de testes de covariância. Devido a esta diferença ter sido pequena os autores não separaram as unidades de mapeamento, entretanto demonstraram a existência de curvas específicas para determinadas unidades, sendo as piores curvas de índice de sítio encontradas na unidade de mapeamento Curumim, onde havia restrições de drenagem do solo, e as melhores na unidade Ibaré.

Em trabalhos posteriores com clones de *Eucalyptus saligna* Smith, Tonini et al.(2006) detectaram diferentes tendências de crescimento em altura dominante quando um mesmo clone era submetido a distintas condições de solo. Um dos clones avaliados demonstrou três tendências de crescimento, sendo que a tendência de crescimento sob cambissolos mostrou-se bastante diferenciada, gerando uma curva com maior achatamento, provavelmente devido às limitações deste tipo de solo quanto à sua profundidade e capacidade de armazenamento de água.

Lourenço (1996), em estudo com *Eucalyptus dunnii* em uma toposequência detectou diferenças no crescimento em diâmetro e altura aos 7 anos de idade, tendo concluído que houve uma alta correlação entre a profundidade do horizonte A nos perfis avaliados com o crescimento em diâmetro.

Uma análise das observações dos autores supracitados nos permite inferir que as restrições de natureza química de determinados solos afetam significativamente a produção final e, as restrições de natureza física, além de afetarem a produção final de determinada espécie, podem afetar a forma como se desenvolverá esta espécie até atingir esta produção.

Assim, a consideração das características dos solos quando das análises e modelagens do crescimento das florestas deve ser reiterada, de forma que a utilização de técnicas específicas para este fim, incluindo-se variáveis qualitativas nas análises, pode ser uma ferramenta para aumentar a precisão e a confiabilidade dos estudos de crescimento e produção florestal.

### **3.4 Altitude e declividade: fatores de influência no crescimento das florestas**

Como visto, diversos fatores podem influenciar o ritmo de crescimento das florestas nativas ou plantadas. Além do solo, suporte básico e essencial a qualquer vegetal, outras características abióticas, como climáticas e de relevo, também podem impactar a produção florestal.

O relevo tem influência direta sobre o crescimento, pois está relacionado às diferenças de microclima, de profundidade do solo, risco de erosão, disponibilidade de água e de nutrientes entre outras características (TONINI, 2003).

Sterba (1990 apud Finger, 2006) exemplificou que a distribuição do incremento anual em *Picea abies*, foi diferenciada em regiões de maior e menor altitude. O autor concluiu que a distribuição do incremento tenderia a ser mais concentrada em poucos meses naquelas regiões de maior altitude, refletindo isto, provavelmente, o menor período de condições favoráveis ao crescimento nestas regiões mais elevadas. Esta afirmação concorda com a citação de Tonini (2003) acima, no sentido que, o relevo influencia condições microclimáticas, e estas por sua vez, tendem a influenciar o desenvolvimento das florestas.

Sabe-se que existe uma relação positiva direta entre os incrementos em diâmetro, altura e volume. Desta forma, presume-se que povoamentos implantados em diferentes altitudes, sofram influência desta. A resposta a essa influência na

variável altura dominante, poderia indicar tendência de crescimento diferenciada para as variações nesta característica de relevo.

A variação do relevo, expressa por diferentes declividades, também é tema de diversos estudos correlacionando-os ao crescimento florestal. Sobre isto, Braga et al. (1999), concluíram que as características ambientais mais importantes para a definição da capacidade produtiva dos locais foram a altitude, pedoforma, declividade, radiação solar e, posteriormente algumas características químicas, tendo os autores ainda encontrado que as áreas de maior produtividade apresentavam menor declividade, exposição norte-nordeste, pedoforma côncava e posição mediana/baixa nas encostas.

### **3.5 Crescimento e produção**

O crescimento das florestas constitui o resultado final da interação de numerosos processos fisiológicos, sendo que as condições edafoclimáticas de uma região atuam e definem o comportamento fisiológico de uma espécie. (HOPPE, 1999). Vanclay (1994) define crescimento como o incremento em dimensão de um ou mais indivíduos de uma floresta, sendo que a produção constitui as dimensões finais do indivíduo num determinado período de tempo. A produção, por sua vez, é o resultado da acumulação dos ganhos de crescimento (RODRIGUEZ et al., 1996).

Portanto, o crescimento é o processo fisiológico, e a produção em volume ou outra variável é o resultado acumulado ou produto deste processo delimitado por um intervalo de tempo.

#### **3.5.1 Componentes do Crescimento**

O crescimento das florestas pode ser explicado por vários fatores, que juntos influenciam a formação dos estoques futuros de madeira. A mortalidade e o ingresso de indivíduos, os cortes parciais ou desbastes (Intervenções), e as

produções corrente e futura (incrementos) são alguns deles (CAMPOS; LEITE, 2006).

#### 3.5.1.1 Incremento

Segundo Schneider (2004) o incremento é o resultado do aumento da dimensão individual, como volume ou área basal, expresso por unidade de área e tempo. Desta forma podemos definir que incremento é a diferença entre valores futuro e atual de determinada variável de crescimento.

Ainda segundo o autor supracitado, no caso da diferença de produção corrente e futura estar compreendida entre a implantação de uma floresta até uma determinada idade, tem-se o Incremento Médio Anual (IMA). Se esta informação representar um determinado ano do desenvolvimento, temos o Incremento Corrente Anual (ICA), que pode também representar um período maior que um ano, sendo então denominado Incremento Periódico Anual (IPA).

As curvas de ICA e IMA observadas na Figura 2, guardadas as respectivas proporções, demonstram um comportamento esperado de uma espécie florestal. O ponto de máximo incremento corrente anual (ICA) corresponde ao ponto de inflexão da curva de produção. O ponto de máximo incremento médio anual (IMA) corresponde ao ponto onde o ICA torna-se igual ao IMA, representado pelo cruzamento das curvas (FINGER, 1992). Esse mesmo ponto na curva de produção indica o ponto do início do declínio da produção, o que por sua vez, indica tecnicamente a idade de colheita. A partir deste ponto, o ICA será sempre menor que o IMA, fazendo assim com que as taxa de incremento médio baixe ano após ano (LOETSCH et al., 1973).

Por fim, a idade técnica de colheita pode variar conforme a qualidade do sítio. Os piores sítios tendem a demonstrar uma idade técnica de colheita mais avançada aquela encontrada em sítios de qualidade superior. Nos melhores sítios, todos os recursos necessários ao bom desenvolvimento da floresta estarão presentes, garantindo que as árvores do povoamento atinjam e expressem a plenitude de sua capacidade genética na forma de crescimento e acúmulo de biomassa. Neste ponto,

a competição entre as árvores poderá se iniciar e causar a diminuição dos incrementos médios, alcançando assim o ICA, a curva média de incremento.

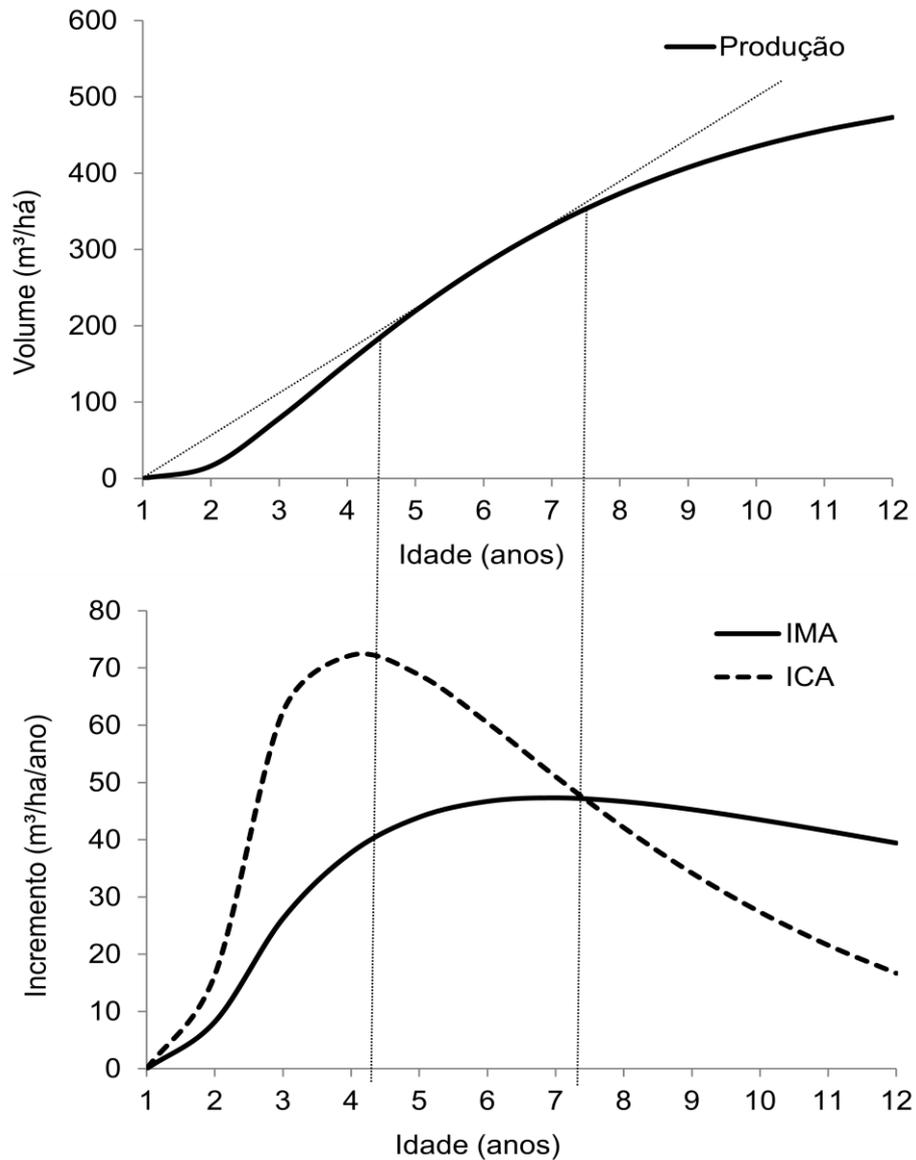


Figura 2 - Relações entre crescimento e produção de um povoamento equiânneo.

(Fonte: Adaptado de Campos e Leite, 2006)

### 3.5.1.2 Ingresso

O ingresso refere-se às árvores medidas em uma idade “1”, e que não foram medidas na idade “1-1” por não terem alcançado um diâmetro ou altura mínima pré-determinados. Este tipo de informação é obtido apenas quando da instalação e remedição de uma rede de parcelas permanentes (CAMPOS; LEITE, 2006).

Segundo Demolinari (2006), trabalhos de modelagem de crescimento e produção em florestas equiâneas normalmente desconsideram o variável ingresso. Isso se deve usualmente ao fato de que na primeira medição dos inventários contínuos, normalmente adota-se um limite mínimo de DAP baixo, fazendo com que a quase totalidade das plantas seja considerada já na primeira medição da parcela permanente.

Essa variável, entretanto, se acompanhada através de medições de parcelas permanentes e, juntamente com dados de mortalidade e incremento, pode enriquecer os modelos de crescimento e produção, gerando informações precisas da dinâmica da floresta.

### 3.5.1.3 Mortalidade

Campos e Leite (2006) definem mortalidade como o volume ou número de árvores, que inicialmente existiam em um povoamento e que por diversas causas morreram dentro de um determinado período. O estudo deste parâmetro serve para a predição do número de árvores vivas ou remanescentes por hectare em uma determinada idade da floresta. Essa informação em alguns tipos de modelo de crescimento pode constituir uma das variáveis independentes que explicam o crescimento da floresta.

Segundo Díaz e Couto (1999), o estudo da combinação rendimento x densidade pode ser dividido em vários processos inter-relacionados, e que dentro destes, o crescimento real (plantas sobreviventes) e a mortalidade constituem importantes fatores para a predição da produção. Citam ainda que o estudo do

comportamento da mortalidade deve estar presente na construção de sistemas de predição do crescimento.

A maneira com que as plantas de um povoamento morrem, e assim deixam de contribuir para o acúmulo de biomassa, pode ser classificada basicamente em dois tipos segundo Campos e Leite (2009): Mortalidade catastrófica e mortalidade regular. No primeiro caso, podemos considerar danos por incêndio, pragas, ventos, etc. os agentes causadores deste tipo de mortalidade. Este tipo de fenômeno é muito difícil ou impossível de ser previsto, desta forma, não deve ser considerado nos estudos de mortalidade regular.

A mortalidade regular por sua vez, é aquela ocasionada pelo desenvolvimento normal dos povoamentos, nos quais a competição entre os indivíduos aumenta à medida que aumentam as dimensões individuais e a demanda por água, luz e nutrientes, e causa a morte das plantas menos aptas à competição.

Um terceiro tipo de mortalidade que pode ocorrer é aquela relacionada às falhas de plantio. Esse tipo de perda é geralmente ocasionado por problemas inerentes à implantação florestal, e não propriamente ao manejo. Qualidade das mudas, temperatura elevada ou muito baixa, falta de água ou mesmo excesso, pragas como formigas cortadeiras e grilos podem ser os agentes causadores deste tipo de perda.

Visto isso, muitos pesquisadores e profissionais da área florestal buscam descrever a mortalidade dos povoamentos no intervalo de tempo posterior ao estabelecimento, isolando-se assim as perdas advindas da implantação florestal, bem como aquelas ocasionadas por fatores catastróficos.

A mortalidade regular poderia ser desconsiderada apenas em florestas implantadas sob excelentes condições ambientais, manejadas em rotações curtas e com baixa densidade de plantas por hectare. Como na grande maioria das vezes isto não é o que ocorre, essa variável assume grande importância para os modelos de crescimento e produção (TONINI, 2003).

### 3.5.2 Modelos de predição do crescimento e produção

Uma grande variedade de modelos de predição do crescimento e produção tem sido apresentadas na literatura técnica especializada a cada ano. A complexidade destes modelos variam desde funções simples que descrevem o volume como sendo uma função da idade, índice de sítio e área basal [ $V = f(I, IS, G)$ ], até detalhados sistemas de equações que simulam o crescimento individual de cada árvore dentro do povoamento, relacionando-o com suas próprias características e as características das árvores circunvizinhas (CLUTTER et al., 1983).

Vanclay (1994) faz uma classificação dos modelos de crescimento e produção conforme o nível de detalhamento da informação gerada pelos mesmos. O autor define como modelos a nível de povoamento, ou de povoamento total, aqueles em que a unidade básica de informação é uma área ou talhão. Modelos por classes, de diâmetro ou outra variável, geram informações a nível dessas classes dentro do povoamento. Por último, modelos de árvores individuais simulam o crescimento individual de cada indivíduo, sendo o seu somatório equivalente ao resultado para o povoamento.

Campos e Leite (2006) subclassificam os modelos de crescimento e produção a nível de povoamento, em modelos dos tipos normais, empíricos e modelos de densidade variável. Citam ainda que os modelos em nível de povoamento não explicam diretamente a variação no tamanho das árvores, mas sim, estimam o crescimento e a produção através da relação com atributos como idade, sítio e área basal.

Segundo Tonini (2003), os modelos em nível de povoamento ou do tipo povoamento total, são geralmente construídos através de um estudo individualizado de funções que estimam a produção por hectare em função de variáveis de fácil obtenção e de alta correlação com a produção, utilizando-se a análise de regressão.

O autor supracitado, compilando informações de vários pesquisadores da área florestal, descreve que as primeiras formas de predição do crescimento e produção se deram através da utilização de tabelas de produção que relacionavam idade e índices de sítio. Estas eram denominadas tabelas de produção normais e se

aplicavam para povoamentos completamente estocados, isto é, considerava-se que a floresta crescia ocupando a capacidade máxima do sítio.

Modelos empíricos por sua vez, considerados uma evolução dos modelos normais, também eram estáticos, mas envolviam funções do tipo  $[V = f(I, IS, G)]$ , sendo a área basal representada pelas áreas com estoque médio e a prognose expressa para esta densidade ou estoque médio dos povoamentos Hush (1982 apud TONINI, 2003).

Quando alguma variável que represente densidade do povoamento, como número de árvores ou área basal, é parte dinâmica de um sistema de equações para a predição do crescimento, temos os modelos de densidade variável. Estes modelos se caracterizam por permitirem simulações com diferentes níveis de área basal, como a aplicação de desbastes.

Clutter et al. (1983) faz uma separação dentro dos modelos de densidade variável em modelos de produção corrente e futura. No primeiro caso, não há projeção do número de árvores por hectare, enquanto que no segundo caso, há estimativas da mortalidade populacional para uma idade futura. Para exemplificar, podemos assumir que se um modelo de produção em função da idade, índice de sítio e área basal  $[V = f(I, IS, G)]$ , ajustado com dados de parcelas permanentes, representando todas as idades, sítios e variações de área basal, for utilizado para predizer o volume de um povoamento aos 10 anos, que hoje esteja com 5 anos e com uma determinada área basal, este será um método de predição da produção corrente com densidade variável. Por outro lado, um sistema de equações que permita projetar o número futuro de árvores ou área basal  $[N_2 = f(N_1, I_1, I_2)]$ , e este seja uma das entradas de um modelo de densidade variável, pode-se considerar um sistema de predição do crescimento e produção futuros.

Até 1962, os modelos de crescimento eram obtidos independentemente dos modelos de produção. Assim, quando sucessivos incrementos estimados eram adicionados a um volume inicial, geralmente não apresentavam os mesmos valores de volume preditos pela equação de produção (TONINI, 2003). Foi nesta época que Jerome L. Clutter desenvolveu seu modelo de crescimento e produção que é hoje um dos mais difundidos nas empresas do setor florestal no Brasil (CAMPOS; LEITE, 2006). Foi também a partir dos trabalhos de Robert E. Buckman em 1962 e de Jerome L. Clutter em 1963, que a compatibilidade, ou seja, o modelo de crescimento capaz de, por meio de sua integral, gerar o respectivo modelo de produção,

solucionou as divergências de predição entre modelos de crescimento e produção, por tais modelos serem construídos separadamente até então (LEITE et al., 2001).

Alguns pesquisadores consideram que os modelos de povoamento total devem ser utilizados quando não são requeridas informações detalhadas sobre a produção do povoamento por classes de diâmetro ou sortimentos, já que não fornecem informações que permitam avaliações técnico-econômicas destas várias opções de utilização dos produtos Burkhart et al. (1981 apud FIGUEIREDO, 2005).

Outro enfoque para a predição do crescimento e produção é dado pelos modelos de distribuição diamétrica (MDD). Estes modelos, como o próprio nome sugere, permitem a estimação do crescimento e produção por classes diamétricas e utilizam funções de densidade probabilística para as estimativas do número de árvores nestas classes diamétricas (NOGUEIRA et al., 2005).

As funções de densidade probabilística, dentre elas as funções Weibull, Gamma, Beta, Normal, Log-Normal e Sb de Johnson, definem, por meio das estimativas de seus parâmetros, as frequências estimadas do número de árvores por classe de diâmetro. Estes valores estimados do número de árvores por classes, associados, posteriormente, com as devidas equações de volume, trazem informações detalhadas para diferentes sortimentos (BARTOSZECK et al., 2004; NOGUEIRA et al., 2005; LEITE et al., 2006).

Dentre os modelos de crescimento e produção, os de distribuição diamétrica são mais indicados para predizer a produção de povoamentos manejados com desbaste, visto o detalhamento alcançado por este tipo de modelo, fazendo-se possível a simulação de desbastes a partir de número de árvores por classe de DAP e não apenas com base na área basal (LEITE et al., 2006).

Um terceiro e mais refinado nível de detalhamento é alcançado por modelos de crescimento de árvores individuais. Nestes casos, informações mais detalhadas são requeridas para a modelagem, como o tamanho de cada árvore no povoamento ou parcela, e posições ou distâncias entre uma árvore e outra conforme Mitchell e Vanclay (1988 apud VANCLAY, 1994).

### 3.6 Métodos estatísticos para modelagem

Há uma grande diversidade de metodologias que podem ser utilizadas para se obter resultados semelhantes para uma mesma situação. Para os objetivos deste estudo há, particularmente, o interesse do uso de técnicas de análise de variância para o ajuste e validação de regressões múltiplas, e algumas técnicas particulares de ajuste e análise de tendências, como a análise de covariância.

A análise de variância engloba um conjunto de procedimentos e testes de hipóteses que constituem os métodos mais utilizados em todas as situações de análise de dados (SCHNEIDER et al., 2009).

Outro tipo particular de ajuste de modelos de regressão através da análise de variância consiste na inserção de variáveis qualitativas (variáveis dummy ou class), que possam indicar diferenças de inclinação ou níveis nas curvas dos modelos ajustados.

A utilização de variáveis dummy consiste na inserção de variáveis independentes de distribuição discreta, ou variáveis binárias em um ajuste de funções para uma dada variável dependente. Exemplo da utilização desta técnica pode ser dado pela utilização de variáveis binárias 0 e 1 em funções de afilamento, como a demonstrada por Leite e Garcia (2001 apud CAMPOS; LEITE, 2006), em que as variáveis binárias 0 e 1 representam a estimativa dos diâmetros com e sem casca respectivamente.

A análise de covariância é um método estatístico que permite avaliar a necessidade de construção de diferentes equações de regressão para um conjunto de dados, ou se o conjunto de dados pode ser agrupado e formar uma única equação de regressão (SCHNEIDER et al., 2009).

Segundo Tonini (2003) a análise de covariância permite a comparação de curvas de crescimento em relação ao seu paralelismo, podendo indicar a existência de diferentes padrões de crescimento e, deve ser realizada em duas etapas: Na primeira delas testa-se a hipótese de haver diferenças na inclinação das curvas ajustadas e na segunda etapa é testada a hipótese de haver diferença de níveis entre estas curvas.

Diversos softwares estatísticos podem ser utilizados para a realização destas análises e ajustes. Os procedimentos Proc GLM no SAS e o GLM – Homogeneity of slopes model no Statística podem ser citados como exemplos.

O processo “Homogeneity of slopes model” (modelo de homogeneidade de inclinações) pode ser usado para testar se as variáveis contínuas e categóricas interagem influenciando as respostas, e assim decidir se o processo tradicional de análise de covariância (modelo com diferentes níveis) ou o procedimento “Separate slopes model” (modelo com diferentes inclinações ou diferentes inclinações e níveis) deve ser usado para modelar as respostas das variáveis dependentes (STATSOFT, 2012).



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da região de estudo

O Rio Grande do Sul está dividido em quatro regiões geomorfológicas: O planalto, a depressão periférica, o escudo sul-rio-grandense e a planície costeira. (STRECK et al., 2008). As áreas de interesse para o presente estudo (delimitadas em vermelho) encontram-se distribuídas pelas três últimas regiões citadas, conforme se observa na Figura 3 (A) abaixo.

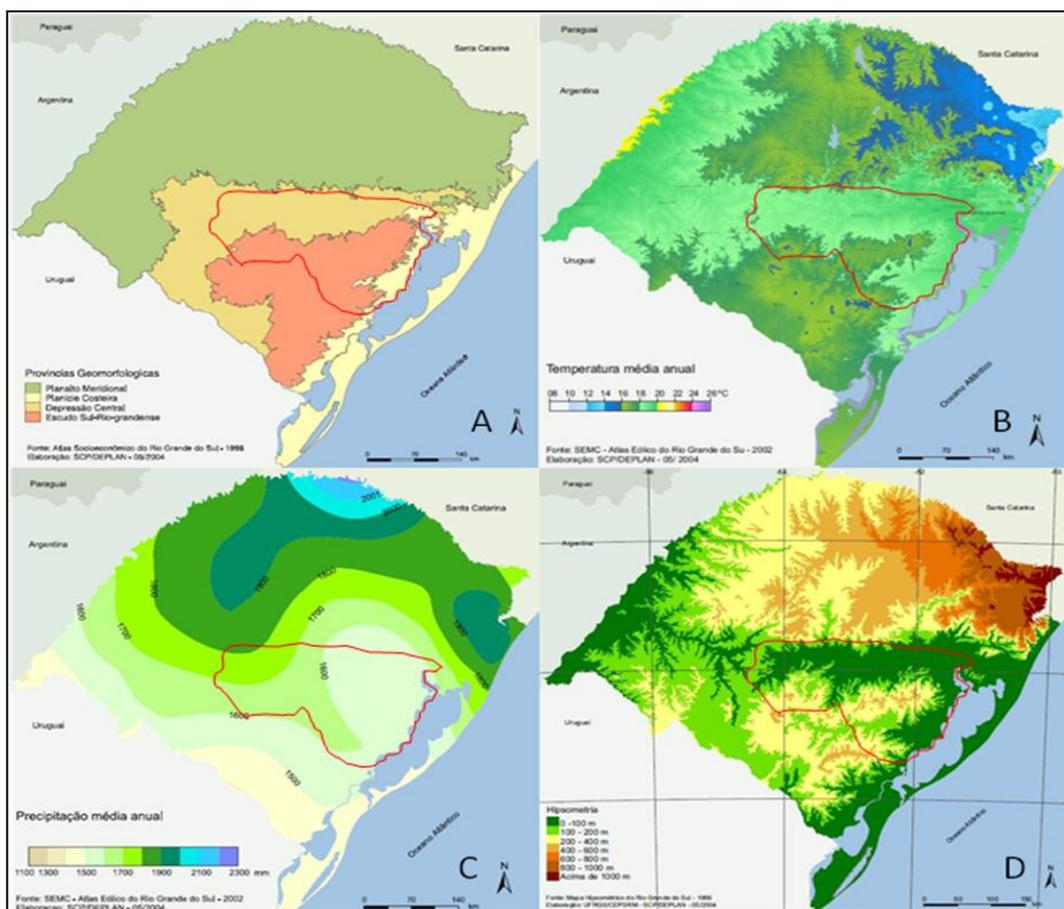


Figura 3 – Regiões geomorfológicas (A), temperatura média anual (B), precipitação média anual (C) e mapa hipsométrico (D).

(Fonte: Adaptado de SEPLAG-RS)

Segundo a classificação de Köppen (1931), o clima do Estado do Rio Grande do Sul é dividido em duas variedades climáticas, Cfa e Cfb. A variedade Cfb é restrita ao planalto superior (nordeste do estado) e à região do escudo sul-riograndense. As demais regiões do estado registram a variedade Cfa (MORENO, 1961). A região de estudo portanto, além da variabilidade de formação geológica, mostra uma diferença inclusive quanto a classificação climática.

A classificação de Köppen (1931) baseia-se principalmente nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação. Já a classificação de Thornthwaite (1948) utiliza basicamente de dois índices, o de umidade e o de eficiência térmica, índices estes que tem larga aplicação prática na distribuição da vegetação, para a agricultura e recursos hídricos (KUINCHTNER; BURIOL, 2001).

Pela classificação de Thornthwaite (1948), a região de interesse do estudo mostra os tipos climáticos B<sub>2r</sub>, B<sub>3r</sub> e B<sub>4r</sub> para os índices de Umidade, e os tipos B'<sub>2</sub> a' e B'<sub>3</sub> a' para o índice de eficiência térmica. O tipo B<sub>3r</sub> e o tipo B<sub>4r</sub> aparecem associados à serra do sudeste ou escudo sul-riograndense e ao oeste da depressão central, enquanto o tipo B<sub>2r</sub> compreende a parte leste da depressão central. Para o índice de eficiência térmica, o tipo B'<sub>2</sub> a' é restrito a parte do escudo sul-riograndense, enquanto que o tipo B'<sub>3</sub> a' estende-se pelo restante da região de interesse do estudo (KUINCHTNER; BURIOL, 2001).

Esta grande variabilidade na formação geológica, no relevo e nas condições climáticas no estado do Rio Grande do Sul gerou uma grande variedade de tipos de solos que contribuíram para diferentes padrões de ocupação das terras (STRECK et al., 2008).

#### **4.2 Caracterização dos materiais genéticos estudados**

Os plantios clonais estabelecidos na área de estudo, pertencentes à empresa Celulose Riograndense LTDA, compreendem hoje uma área significativa, e correspondem a cerca de 70% da área plantada com o gênero *Eucalyptus* pela companhia.

Dentre todos os plantios clonais, os clones de *Eucalyptus saligna* Smith destacam-se pela sua produtividade e grande plasticidade a diferentes sítios, o que fez com que se tornassem os materiais genéticos mais plantados atualmente.

Dois materiais genéticos de *Eucalyptus saligna*, os denominados clone 2864 e clone 4039 são hoje os materiais mais plantados. Devido à sua grande área plantada e conseqüente importância para os planos de suprimento de matéria prima para a fabricação de celulose, estes dois clones foram selecionados para a realização deste estudo.

### **4.3 Mapeamento de solos e caracterização do relevo**

As áreas nas quais estão implantados os povoamentos clonais de *E. saligna* possuem um mapeamento de solo no nível de plantio (menor unidade de manejo), sendo que as informações de inventário para os clones descritos se encontram distribuídas em nove ordens de solos (argissolos, cambissolos, chernossolos, gleissolos, luvisolos, neossolos, nitossolos, planossolos e plintossolos). Estas nove ordens foram sub-categorizadas em mais duas sub-ordens, e outros dois níveis de classificação em relação à textura do solo e o relevo. Posteriormente foram agrupados em cinco classes de aptidão (apta superior, apta inferior, marginal superior, marginal inferior e inferior ou inapta) para o cultivo de *Eucalyptus*, partindo-se do conceito desenvolvido no trabalho realizado por Costa et al. (2009).

O Quadro 1 resume o número de diferentes tipos de solos mapeados por classe de aptidão e ordem (conforme classificação de primeiro nível). As variáveis IQS e CAD refletem o índice de qualidade de solo e a capacidade de água disponível, respectivamente. No mapeamento de solos da empresa Celulose Riograndense LTDA, o IQS foi determinado com sendo o somatório ponderado das seguintes características dos solos: armazenar e suprir água, promover o crescimento das raízes, armazenar, ciclar e suprir nutrientes e promover atividade biológica, sendo cada um destas características associadas à características químicas, físicas e biológicas dos solos. Detalhes metodológicos desta classificação são encontrados em Freitas et al. (2012), Mendes et al. (2008) e Melo Filho et al.

(2007). A variável CAD por sua vez, foi determinada neste mesmo mapeamento, conforme metodologia de Libardi (2010)

Classe Produtividade	Ordem de Solos	Número de solos descritos	IQS	CAD
1	Argissolo	2	0,80	428
	Nitossolo	1	0,90	348
2	Argissolo	7	0,71	300
	Cambissolo	2	0,73	248
	Chernossolo	4	0,70	383
	Luvissolo	3	0,65	238
	Neossolo	2	0,70	143
	Nitossolo	1	0,87	348
3	Argissolo	8	0,62	244
	Cambissolo	6	0,63	248
	Luvissolo	1	0,70	241
	Neossolo	1	0,65	40
4	Argissolo	2	0,53	250
	Cambissolo	2	0,55	233
	Neossolo	2	0,50	89
	Planossolo	1	0,50	225
	Plintossolo	3	0,50	350
5	Gleissolo	3	0,40	184
	Planossolo	2	0,45	214

Quadro 1 - Distribuição dos solos descritos nas áreas de estudo conforme classes de aptidão, e as respectivas ordens (nível 1 de classificação) encontradas em cada classe.

Fonte: Mapeamento de solos da empresa Celulose Riograndense LTDA

Dentro de cada classe de aptidão foram enquadrados os diferentes solos, conforme as características acima descritas, além das características de textura e relevo. Os níveis de classificação taxonômica, quais sejam, ordem, sub-ordem e um

terceiro nível de classificação, também foram utilizados para segregar os solos em cada classe de aptidão, visto que esta classificação expressa também o material de origem do solo, e este, por sua vez influencia nas características de qualidade do solo supracitadas. O Quadro 2 demonstra para cada classe de aptidão todos os solos identificados.

Classe de aptidão	Descrição taxonômica e características texturais
1	Argissolo Vermelho Distrófico nitossólico- textura média-média com cascalho/argilosa-argilosa com cascalho
	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico- textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta
	Nitossolo Vermelho típico - textura argilosa
2	Argissolo Vermelho Alumínico típico- textura média ou média cascalhenta/argilosa ou argilosa cascalhenta
	Argissolo Vermelho Distrófico abruptico- textura média-média com cascalho/argilosa-argilosa com cascalho
	Argissolo Vermelho Distrófico típico- textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta-argilosa muito cascalhenta
	Argissolo Vermelho Distrófico típico- textura média-média com cascalho/argilosa-argilosa com cascalho
	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico- textura média leve/média/argilosa
	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico- textura média ou média com cascalhos/argilosa ou argilosa com cascalhos
	Argissolo Vermelho-Amarelo Distróficogleissólico- textura média ou média com cascalhos/argilosa ou argilosa com cascalhos
	Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico- textura média-média cascalhenta/argilosa-argilosa cascalhenta

Continua...

Quadro 2 - Descrição dos solos enquadrados em cada classe de aptidão.

2	Cambissolo Húmico Distrófico léptico- textura média com cascalho-média cascalhenta/argilosa cascalhenta
	Chernossolo Argilúvico Eutrófico gleissólico- textura média/argilosa
	Chernossolo Argilúvico Órtico adensado- textura média/argilosa
	Chernossolo Argilúvico Órtico- textura média/argilosa
	Chernossolo Háptico Eutrófico típico- textura média/argilosa
	Luvissolo Crômico típico - textura média/argila ou média com cascalhos/argila com cascalhos
	Luvissolo Crômico típico raso- textura média/argila ou média com cascalhos/argila com cascalhos
	Luvissolo Órtico típico - textura média/argila ou média com cascalhos/argila com cascalhos
	Neossolo Litólico Húmico- textura média muito cascalhenta
	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico léptico- textura média cascalhenta
	Nitossolo Háptico típico - textura argilosa
3	Argissolo Acinzentado típico - textura arenosa / argilosa
	Argissolo Amarelo Distrófico arênico- textura arenosa/média; arenosa/média/argilosa
	Argissolo Amarelo Distrófico típico- textura arenosa/média; arenosa/média/argilosa
	Argissolo Vermelho Distrófico arênico- textura arenosa/média argilosa
	Argissolo Vermelho Distrófico arênico- textura média-média com cascalho/argilosa-argilosa com cascalho
	Argissolo Vermelho Distrófico plíntico- textura média-média com cascalho/argilosa-argilosa com cascalho
	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico adensado- textura média ou média com cascalhos/argilosa ou argilosa com cascalhos
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico espessarênico- textura arenosa/média; arenosa/média argilosa	

Continua...

Quadro 2 - Descrição dos solos enquadrados em cada classe de aptidão.

## Continuação Quadro 2...

3	Cambissolo Flúvico Distrófico- textura média
	Cambissolo Háptico Alumínico- textura média com cascalho-média cascalhenta
	Cambissolo Háptico distrófico plíntico- textura média com cascalho-média cascalhenta
	Cambissolo Háptico Tb Distrófico adensado- textura média-média cascalhenta/argilosa-argilosa cascalhenta
	Cambissolo Háptico Tb Distrófico léptico- textura média com cascalho/argilosa com cascalho
	Cambissolo Háptico Tb Distrófico úmbrico- textura média cascalhenta-média muito cascalhenta/argilosa cascalhenta-muito argilosa cascalhenta
	Luvissolo Háptico típico - textura média/argila ou média com cascalhos/argila com cascalhos
	Neossolo Litólico Ta Distro-úmbrico típico- textura média com cascalho-média muito cascalhenta
4	Argissolo Amarelo Distrófico gleissólico- textura arenosa/média; arenosa/média/argilosa
	Argissolo Amarelo Distrófico plíntico- textura arenosa/média; arenosa/média/argilosa
	Cambissolo Háptico distrófico gleissólico- textura média com cascalho-média cascalhenta
	Cambissolo Húmico Distrófico gleissólico- textura média com cascalho-média cascalhenta/argilosa cascalhenta
	Neossolo Flúvico Tb distrófico- textura média
	Neossolo Quartzarênico típico - textura arenosa
	Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico- textura arenosa/média leve/média
	Plintossolo Argilúvico distrófico típico- textura areia/argilosa
Plintossolo Háptico distrófico típico - textura areia/média ou areia/argila	

Continua...

Quadro 2 - Descrição dos solos enquadrados em cada classe de aptidão.

4	Plintossolo Pétrico concrecionário- textura média/argilosa
5	Gleissolo Háptico Distrófico típico- textura argilosa
	Gleissolo Melânico Distrófico típico- textura arenosa
	Gleissolo Melânico Distrófico típico- textura média
	Planossolo Háptico Alumínico gleissólico- textura média/argilosa
	Planossolo Háptico Distrófico arênico- textura média leve/argilosa

Quadro 2 - Descrição dos solos enquadrados em cada classe de aptidão

Fonte: Mapeamento de solos da empresa Celulose Riograndense LTDA.

Para a obtenção das informações de altitude e declividade para cada parcela ou plantio, partiu-se da construção de um modelo digital do terreno (MDE) com dados do imageamento do projeto ASTER. Este sistema de imageamento possui uma resolução de 30 metros, comparando-se a outro modelo usualmente utilizado para a construção de modelos digitais como o SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), (SILVA JUNIOR e FUCKNER, 2010).

Para cada pixel (30 m x 30 m) extraiu-se a informação de atitude e declividade. As informações de altitude foram agrupadas dentro de um plantio, obtendo-se a cota média no nível do plantio, pela média das observações de cada pixel. O valor de declividade do terreno foi obtido para cada parcela permanente através da associação das suas coordenadas geográficas com o valor da declividade obtida para o pixel.

Após a identificação no nível de parcela do fator declividade, os dados foram separados em três distintos grupos para este fator: relevo plano; suave-ondulado e ondulado, sendo os mesmos caracterizados por apresentarem declividades percentuais de até 5%, 15% e maiores de 15%, respectivamente.

As cotas médias de altitude foram posteriormente agrupadas em quatro classes: 0 – 100 m; 100 – 200 m; 200 – 300 m e maiores de 300 m de altitude para cada plantio e, posteriormente associadas para todas as parcelas permanentes presentes em cada plantio.

O Quadro 3 resume os clones, classes de solo, altitude e declividade que foram associadas às parcelas permanentes para as análises posteriores.

Fator de análise	Classe/Grupo	Descrição
Material Genético	Clone I	<i>E. saligna</i> 2864
	Clone II	<i>E. saligna</i> 4039
Solo	1	Apta - superior
	2	Apta - inferior
	3	Marginal - superior
	4	Marginal - inferior
	5	Inferior
Altitude	1	0-100 m
	2	100-200 m
	3	200-300 m
	4	> 300 m
Declividade	0-5%	Plano
	5-15%	Suave-ondulado
	> 15%	Ondulado

Quadro 3 – Resumo dos materiais genéticos (clones), das classes de solo, altitude e declividade associadas a cada parcela permanente para o estudo.

#### 4.4 Parcelas Permanentes

Este trabalho utilizou-se de um banco de dados com medições de parcelas permanentes dos materiais genéticos descritos no item anterior. Estas parcelas foram remedidas anual ou bi anualmente a fim de proporcionar dados sequenciais dos parâmetros de crescimento dos povoamentos.

Todas as parcelas foram instaladas em formato circular, de raio 11,285 m. Dentro de cada parcela foram tomados todos os DAP a 1,30 m do nível do solo e as alturas das duas fileiras centrais, bem como as alturas das árvores dominantes

segundo conceito de Assmann, em que se consideram dominantes as 100 árvores por hectare com maior DAP.

As informações geradas pelas remedições de cada parcela foram basicamente o número de árvores vivas, mortas, e falhas; o diâmetro (DAP) médio, mínimo, máximo e quadrático; altura média, mínima, máxima e altura dominante; os coeficientes de variação do diâmetro (DAP) e altura; a área basal, e os volumes comerciais com e sem casca.

Um total de 6800 parcelas foram utilizadas neste estudo. Destas, 2253 parcelas possuíam de 2 até 6 remedições, ou seja, foram remedidas pelo menos em uma ocasião, totalizando 5013 medições. As demais 4547 parcelas foram medidas em apenas uma ocasião, sendo utilizadas apenas para as análises e classificação de sítios.

A Tabela 1 abaixo demonstra a distribuição de todas as medições em cada classe de idade e em cada material genético.

Tabela 1 – Distribuição das medições das parcelas permanentes com pelo menos uma remedição nas diferentes classes de idade e em cada clone.

Clone	Classes de idade (anos)				Total
	2-4	4-6	6-8	8-10	
2864	1127	852	245	60	2284
4039	1495	1133	101		2729
Total	2622	1985	346	60	5013

As parcelas com pelo menos uma remedição estavam distribuídas inicialmente na seguinte magnitude para cada classe de aptidão, conforme mapeamento de solos (de 1 a 5; da classe superior até a inapta ao cultivo): 1651 parcelas na classe 1; 2100 na classe 2; 903 na classe 3; 161 na classe 4 e 198 na classe 5. A Tabela 2 abaixo demonstra a distribuição das parcelas permanentes em cada classe de aptidão de solos e em cada material genético, enquanto que as Tabelas 3 e 4 demonstram a distribuição destas medições nas classes de altitude e declividade, respectivamente.

Tabela 2 – Distribuição das medições das parcelas permanentes com pelo menos uma remedição nas diferentes classes de aptidão de solos e em cada clone.

Clone	Classe de aptidão de solos					Total
	1	2	3	4	5	
2864	570	1107	385	111	111	2284
4039	1081	993	518	50	87	2729
Total	1651	2100	903	161	198	5013

Tabela 3 – Distribuição das medições das parcelas permanentes com pelo menos uma remedição nas diferentes classes de altitude e em cada clone.

Clone	Classes de altitude (m)				Total
	0-100	100-200	200-300	> 300	
2864	1186	696	252	150	2284
4039	1311	966	207	245	2729
Total	2497	1662	459	395	5013

Tabela 4 – Distribuição das medições das parcelas permanentes com pelo menos uma remedição nas diferentes classes de declividade e em cada clone.

Clone	Classes de declividade (%)				Total
	< 5 - plano	5-15 - suave-ond	> 15 - ondulado	S.I.	
2864	502	1305	359	118	2284
4039	556	1551	464	158	2729
Total	1058	2856	823	276	5013

\* S.I. - Dados de declividade que foram excluídos das análises, por serem considerados out-liers (5,5% das observações).

## 4.5 Metodologias de modelagem e análise das informações

### 4.5.1 Crescimento em altura dominante: Seleção e ajuste de modelos

Dividiu-se a seleção e ajuste dos modelos em duas etapas: Na primeira etapa os modelos, conforme a Tabela 5, foram ajustados para todo o conjunto de dados, gerando-se seis diferentes estatísticas de avaliação. Após essa análise selecionou-se os melhores modelos com os quais seriam realizadas as análises de covariância para os fatores material genético, solo, altitude e declividade, buscando evidenciar estatisticamente tendências diferenciadas de crescimento entre esses fatores.

Após a definição do melhor modelo e as análises de tendência de crescimento, partiu-se para uma segunda etapa de ajuste do modelo selecionado para cada grupo definido.

Nesta segunda etapa, a base de dados foi separada nos grupos definidos pela análise de tendência de crescimento em altura dominante. Testaram-se a homogeneidade de variância e a normalidade na distribuição dos resíduos. Para tanto foram aplicados os testes de Bartlett e Kolmogorov-Smirnov respectivamente.

Após estas análises pode-se definir a necessidade de transformação e/ou ponderação das variáveis dependentes e independentes, com a finalidade de gerar os estimadores da regressão de forma não tendenciosa e desta maneira gerar as curvas finais de crescimento em altura dominante para cada grupo

### 4.5.2 Crescimento em altura dominante: Funções de índice de sítio

Na primeira etapa de seleção, foram testados seis diferentes modelos, entre lineares e não lineares, para descrever o crescimento em altura dominante. A Tabela 5 abaixo apresenta os modelos testados com os respectivos métodos de ajuste utilizados.

Tabela 5 – Modelos avaliados para descrever o crescimento em altura dominante.

Modelo	Método	Forma de Ajuste	Bibliografia
Schumacher 3 parâmetros	Curva Guia	$\text{Ln}h_{100} = b_0 + b_1 \times t^{b_2}$	Campos e Leite (2006)
Backman	Curva Guia	$\text{Ln}h_{100} = b_0 + b_1 \times \text{Ln}(t) + b_2 \times \text{Ln}^2(t)$	Tonini (2003)
Prodan	Curva Guia	$h_{100} = t^2 / (b_0 + b_1 \times t + b_2 \times t^2)$	Tonini (2003)
Chapman- Richards	Curva Guia	$h_{100} = b_0 \times (1 - \exp(-b_1 \times t))^{\frac{1}{1-b_2}}$	Clutter (1983)
Schumacher 3 parâmetros	Diferença Algébrica	$\text{Ln}h_{100f} - \text{Ln}h_{100i} = b_0 \times \left( \left( \frac{1}{t_f} \right)^{b_2} - \left( \frac{1}{t_i} \right)^{b_2} \right)$	Campos e Leite (2006)
Chapman- Richards	Diferença Algébrica	$h_{100f} = h_{100i} \times \frac{((1 - \exp(-b_1 \times t_f))^{\frac{1}{1-b_2}})}{((1 - \exp(-b_1 \times t_i))^{\frac{1}{1-b_2}})}$	Clutter (1983)

Sendo:  $h_{100}$  = Altura dominante (m) segundo conceito de Assmann;  $t$  = Idade (anos);  $\text{Ln}$  = logaritmo de base natural;  $\exp$  = Função exponencial inversa do  $\text{Ln}$ ;  $h_{100f}$  = Altura dominante na idade final;  $h_{100i}$  = Altura dominante na idade inicial;  $t_f$  = Idade final;  $t_i$  = Idade inicial.

O pacote estatístico “*Statística 9.1*”, licenciado para Celulose Riograndense LTDA, foi utilizado para os ajustes dos modelos. Pelo método “*General Linear Models*” – “*Multiple Regression*” e pelo método “*Nonlinear-Estimation*” foram ajustados os modelos lineares e não lineares, respectivamente.

Para cada modelo foram estabelecidas as avaliações de  $R^2$  ajustado, distribuição gráfica dos resíduos, estabilidade das curvas geradas, erro padrão residual percentual (Syx%), índice de Furnival (IF%) e BIAS % ou tendência relativa.

A estatística  $R^2$ , para as equações lineares foi calculado por:

$$R^2 = \frac{SQ_{regressão}}{SQ_{total}}$$

Para as equações não lineares o coeficiente de determinação foi calculado por:

$$R^2 = 1 - \left( \frac{SQ_{resíduos}}{SQ_{total\ corrigido}} \right)$$

O coeficiente de determinação foi corrigido para o número de variáveis independentes das equações, determinando-se o  $R^2$  ajustado pela fórmula:

$$R^2_{aj} = R^2 - \left( \frac{K - 1}{N - K} \right) \cdot (1 - R^2)$$

Sendo K= número de variáveis independentes da equação; N=número de observações;  $R^2$ =coeficientes de determinação

Para a avaliação gráfica dos resíduos, levou-se em consideração a tendenciosidade ou não de cada modelo e não necessariamente a dispersão dos resíduos, visto que uma função ajustada para altura dominante representa apenas a regressão média ou curva guia sobre a qual, posteriormente, serão construídas as curvas de índice de sítio, que por sua vez deverão cobrir essa variação de altura para cada idade.

Para a verificação da estabilidade das curvas de sítio pelos modelos ajustados, selecionaram-se aleatoriamente do banco de dados, 72 parcelas com 3 ou mais medições. A partir destas parcelas, para cada remedição e com cada modelo estimou-se os respectivos índices de sítio. O percentual de estabilidade foi obtido pela razão entre somatório das parcelas que durante todas as remedições mudaram de sítio no máximo uma vez e o número total de parcelas avaliado.

O erro padrão residual percentual foi obtido pela seguinte expressão:

$$Syx\% = \left( \frac{\sqrt{QM_{res}}}{\bar{Y} Var. Dep.} \right) \cdot 100$$

O índice de Furnival foi calculado através da metodologia proposta por Silva e Bailey (1991), na qual se propôs um fator de correção sobre o índice originalmente proposto por Furnival (1961).

Originalmente, o índice era calculado por:

$$IF = antilog \left( \frac{\sum_{i=0}^n (\log(B'))}{n} \right)^{-1} \cdot Syx$$

Com a modificação proposta, o índice passa a ser calculado pela expressão:

$$IF = antilog \left( \frac{\sum_{i=0}^n (\log(B'))}{n} \right)^{-1} \cdot Syx \cdot \left( \exp \left( \frac{n-p}{2 * n} \right) \right)$$

Para a obtenção do IF% divide-se o IF calculado pela média aritmética da variável dependente não transformada:

$$IF\% = \left( \frac{IF}{\bar{Y}} \right) \cdot 100$$

A justificativa para essa proposição é a de que o índice como foi originalmente concebido não levava em consideração o número de parâmetros das funções, fazendo com que aquelas que tivessem o menor número de parâmetros fossem favorecidas por tal avaliação (SILVA; BAILEY, 1991).

Pela utilização do índice originalmente descrito, o mesmo deveria ser calculado para modelos com transformação da variável dependente e comparados com o Syx% dos modelos sem transformação. Devido a isso, na proposição original, o IF% calculado para modelos sem transformação, é igual ao seu erro padrão residual em porcentagem.

Sob esta nova ótica o IF% passa a ser uma nova estatística de avaliação, não devendo ser mais comparado com o Syx%, mas sim com o próprio IF% agora calculado para todos os modelos, com e sem transformação da variável dependente.

Uma última estatística avaliada foi a tendência relativa ou BIAS %. Esta foi calculada pela expressão:

$$BIAS\% = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{n} \right)}{\left( \sum_{i=0}^n \frac{\hat{Y}_i}{n} \right)} \right) \cdot 100$$

#### 4.5.3 Crescimento em altura dominante: Tendências de crescimento

A função selecionada conforme parâmetros descritos no item 4.5.2 foi utilizada para, através da análise “*General Linear Models*” – “*Homogeneity of slopes model*” do software *Statistica 9.1*, licenciado para Celulose Riograndense LTDA, indicar diferenças estatísticas significativas de interação entre os fatores material genético, solo, altitude, declividade e o crescimento em altura dominante.

A ordem de análise dos fatores respeitou a seguinte magnitude de importância: Material genético, solo, altitude e declividade. Desta forma, primeiramente testou-se a existência de diferentes comportamentos no crescimento em altura dominante entre os dois clones. Caso tal diferença fosse significativa, ou seja, sugerisse a formação de dois grupos de curvas separando-se os materiais genéticos, a análise do fator solo seria realizada separadamente para cada clone. O mesmo ocorrendo para os demais fatores analisados.

Todas estas etapas basearam-se em análises de forma cruzada, ou seja, dentro de um fator de análise como solo, havendo 3 ou mais classes a análise seria sempre realizada da seguinte forma: Fator solo: 5 categorias – C1 x C2; C1 x C3; C1 x C4, e assim sucessivamente, até que todas as combinações de classes dentro de um mesmo fator fossem cruzadas entre si.

Apesar de este processo tornar as análises relativamente mais complexas, gera um resultado mais robusto, no sentido em que permite a análise das diferenças estatísticas de forma lógica no momento de tomada de decisão para agrupamento dos fatores.

#### 4.5.4 Modelos para prognose da produção

##### 4.5.4.1 Número de árvores por hectare

Diferentes funções para descrever a mortalidade regular dos povoamentos, expressando-a na forma do número de árvores sobreviventes dentro de um intervalo de tempo definido, foram testadas a fim de obter aquela que melhor descrevesse de forma consistente esta tendência. A Tabela 6 descreve as funções testadas.

Tabela 6 – Modelos avaliados para descrever o número de árvores por hectare ao longo do ciclo florestal dos povoamentos clonais de *E. saligna*.

N	Modelo	Forma de Ajuste	Bibliografia
1	Pienaar e Schiver (1981)	$N_f = N_i * \exp\{-b_0 * [(t_f)^{b_1} - (t_i)^{b_1}]\}$	Campos e Leite (2009)
2	Pienaar e Schiver (1981) + IS	$N_f = N_i - (b_0 * IS) * [(t_f)^{b_1} - (t_i)^{b_1}]\}$	Campos e Leite (2009)
3	Pienaar e Schiver (1981) + IS - transf.	$\ln N_f = \ln N_i - (b_0 * IS) * [(t_f)^{b_1} - (t_i)^{b_1}]\}$	Campos e Leite (2009)
4	Modelo 4	$N_f = N_i * \{1 - b_0 * \exp[-\frac{b_1}{h_{100}}]\}$	Tonini (2003)
5	Modelo 5	$N_f = N_i * [1 - b_0 + b_1 * h_{100} * \exp(-\frac{b_2}{t})]$	Tonini (2003)

Sendo:  $h_{100}$  = Altura dominante (m) segundo conceito de Assmann;  $t$  = Idade (anos);  $\ln$  = logaritmo de base natural;  $\exp$  = Função exponencial inversa do  $\ln$ ;  $t_f$  = Idade final;  $t_i$  = Idade inicial;  $N_f$  = Número de árvores na idade final  $f$ ;  $N_i$  = Número de árvores na idade inicial  $i$ .

As estatísticas  $R^2$  aj., CV%, IF% e valor de F foram utilizadas para indicar a melhor função. A partir da indicação da função que melhor representasse a tendência média de mortalidade do conjunto de dados, realizou-se o ajuste para cada grupo definido e uma validação na estimativa do número de árvores utilizando para isso a base de validação separada para o estudo conforme item 4.5.4.5.

#### 4.5.4.2 Diâmetro médio quadrático

Para as estimativas do diâmetro quadrático médio, testaram-se as funções de Kira, de 3 e 4 parâmetros.

Modelo de Kira de 3 parâmetros:

$$dg = 1/(b_0 * N + b_1 * H_{100}^{b_2})$$

Modelo de Kira de 4 parâmetros:

$$dg = 1/(a_0 * H_{100}^{a_1} * N + b_0 * H_{100}^{b_1})$$

Sendo:  $h_{100}$  = Altura dominante (m) segundo conceito de Assmann; dg = Diâmetro quadrático médio ou diâmetro da árvore de área basal média; N = Número de árvores por hectare.

Assim como na avaliação das funções de mortalidade, as estatísticas  $R^2$  aj., CV% e valor de F foram utilizadas para selecionar a função que descrevesse de forma mais adequada a tendência geral dos dados.

Posteriormente, utilizou-se a base de validação para inferir quanto aos desvios das estimativas dos modelos ajustados para todos os grupos definidos pelas análises de tendências de crescimento.

Adicionalmente ao ajuste das funções de Kira, e caso estas não apresentassem resultado satisfatório na validação descrita acima, testou-se a criação de um modelo com variáveis independentes (idade,  $h_{100}$  e número de árvores) e suas transformações através do processo de seleção “Stepwise” do SAS, e considerando-se as estatísticas  $R^2$  parcial e total, valor de F e C(p) de Mallow. A

estatística C(P) de Mallow segundo Schneider et al. (2009) indica, quando seu valor for próximo ao número de parâmetros adicionados ao modelo, que todas as variáveis importantes estão inseridas na modelagem.

#### 4.5.4.3 Área Basal

A partir da predição do número de árvores por hectare e o diâmetro médio quadrático, a área basal foi obtida simplesmente pela fórmula:

$$G = \left( \frac{\pi * dg^2}{4} \right) * N$$

Sendo:  $G$  = Área basal por hectare ( $m^2$ );  $\pi$  = pi (3,14159);  $dg$  = Diâmetro quadrático médio;  $N$  = Número de árvores por hectare.

#### 4.5.4.4 Volume com e sem casca

A produção volumétrica com e sem casca para os volumes comerciais foram estimadas através da função de produção de Buckman, obtida do modelo original descrito por Robert E. Buckman em 1962, em que:

$$Y = b_0 + b_1 * (G * H_{100})$$

Sendo:  $ICG$  = Incremento corrente anual em área basal ( $m^2$ );  $t$  = idade;  $G$  = Área basal por hectare ( $m^2$ );  $h_{100}$  = Altura dominante;  $Y$  = Produção volumétrica ( $m^3$ ).

Assim, a função de produção ( $Y$ ) do modelo foi utilizada para as estimativas de produção em função da área basal e da altura dominante. Posteriormente, e seguindo o mesmo procedimento dos ajustes dos modelos de diâmetro quadrático e número de árvores, as estimativas volumétricas foram cruzadas com os dados reais da base de validação dos modelos.

#### 4.5.4.5 Bases de validação e ajuste dos modelos

De toda a base de dados disponível para o ajuste dos modelos descritos separaram-se as parcelas com pelo menos 2 e no máximo 4 medições, somando esse montante, 3789 parcelas. Para cada grupo de crescimento definido pelas análises descritas no item 4.5.3 e para cada número de medições por parcela (2, 3 e 4) buscou-se aleatoriamente, através de uma função de randomização do Microsoft Excel 2007, licenciado para Celulose Riograndense S.A, a separação de aproximadamente 20 % da base para validação, resultando em 795 parcelas com um total de 1769 medições para a base de validação dos modelos.

Após este procedimento, a cada parcela foi associada a informação de amostra de “ajuste” ou de “validação”. A amostra de ajuste foi utilizada para obtenção dos parâmetros dos modelos, com os quais se procedeu a validação das estimativas sobre os dados reais da amostra de “validação”. Após, foram também obtidas as estimativas dos parâmetros para a amostra total (ajuste + validação) que foram então utilizados para a estruturação das funções e simulação da produção. Os Anexos 1 e 2 trazem a distribuição geográfica das parcelas de ajuste e validação dos modelos de prognose da produção, respectivamente.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Classificação de sítio

#### 5.1.1 Seleção dos modelos para descrever o crescimento em altura dominante

Cada modelo para descrever o crescimento em altura dominante foi ajustado com todo o conjunto de dados, gerando as estatísticas  $R^2$  ajustado, tendências nos resíduos, estabilidade das curvas ajustadas, erro padrão residual, índice de Furnival e tendência relativa (BIAS%).

Pode-se observar pela Tabela 7 que todos os modelos apresentaram adequados valores de  $R^2$  ajustado, visto que para curvas índice de sítio, a função média nunca descreverá toda a variação do crescimento em altura dominante, e que esta por sua vez, é descrita por um feixe de diversas curvas derivadas da curva média ajustada.

A distribuição dos resíduos foi semelhante e sem tendências significativas para quaisquer modelos testados, à exceção do modelo de Chapman-Richards ajustado pelo método da equação das diferenças. A estabilidade das curvas foi significativamente maior nas equações de Backman, Schumacher e Chapman-Richards, a primeira ajustada pelo método da curva guia, e as duas últimas pelo método da equação das diferenças. O erro padrão residual percentual e o índice de Furnival também foram inferiores nas funções de Schumacher e Backman.

Para a seleção do melhor modelo, montou-se uma matriz de seleção, na qual cada modelo foi hierarquizado de 1 a n para cada estatística avaliada. O somatório das pontuações em cada estatística gerou um valor para o modelo, sendo escolhido o de menor pontuação como o que melhor descreveu o crescimento em altura dominante para todo o conjunto de dados. A Tabela 8 mostra a matriz de seleção dos modelos.

Tabela 7 – Estatísticas avaliadas em cada modelo testado

Função	Método	R <sup>2</sup> aj.	Resíduos	Est. %	Syx %	IF %	BIAS %
Schumacher 3 parâmetros	Curva Guia	0,82	sem tend.	47	6,4	0,1	4.85 <sup>-8</sup>
Backman	Curva Guia	0,82	sem tend.	57	6,0	0,1	3 <sup>-13</sup>
Prodan	Curva Guia	0,89	sem tend.	53	13,2	6,6	0,0084
Chapman-Richards	Curva Guia	0,89	sem tend.	49	13,3	6,6	0,0014
Schumacher 3 parâmetros	Eq. das diferenças	0,72	sem tend.	58	22,2	1,0	0,4024
Chapman-Richards	Eq. das diferenças	0,71	Moderada	57	9,3	4,6	1,134

Tabela 8 – Hierarquização dos modelos para cada estatística calculada.

Matriz de seleção	R <sup>2</sup> aj.	Resíduos	Estabilidade	Syx%	IF %	BIAS	Totais
Schumacher 3 parâmetros	2	1	5	2	1	2	13
Backman	2	1	2	1	1	1	8
Prodan	1	1	3	4	4	4	17
Chapman-Richards	1	1	4	5	4	3	18
Schumacher 3 parâmetros	3	1	1	6	2	5	18
Chapman-Richards	4	2	2	3	3	6	20

Em que: R<sup>2</sup> aj.= Coeficiente de determinação ajustado; Syx = Erro padrão residual; IF% = Índice de Furnival (%); Est(%) = percentual de estabilidade obtido pelas curvas conforme descrito no item 4.5.2; BIAS(%) = Tendência relativa.

Pela análise de todas as estatísticas conclui-se que, para todo o conjunto de dados, o modelo de Backman (modelo linear) foi o que se demonstrou mais

adequado para representar o crescimento em altura dominante para os clones de *Eucalyptus saligna*.

Dentre os modelos não-lineares, o modelo de Schumacher com 3 parâmetros ajustado pelo método da curva guia apresentou-se como o mais adequado.

O mesmo modelo de Backman foi utilizado com sucesso por Tonini (2003), em que o autor descreveu as tendências de crescimento em altura dominante para clones do gênero *Eucalyptus*. No estudo, o autor também utilizou-se desta função para realizar testes de nível e inclinação nas curvas, definindo padrões de crescimento para diferentes materiais genéticos e outros tratamentos como preparo de solo, adubação, tipo de solo, posição no relevo, exposição e inclinação. Selle (2009) também utilizou esta mesma função para descrever o crescimento em altura dominante em distintos sítios implantados com *Hovenia dulcis* Thunberg na região central do estado do Rio Grande do Sul, demonstrando que a função de Backman mostra-se bastante flexível para descrever diferentes tendências de crescimento.

Na maioria dos casos, apenas um segmento de toda a vida da floresta é avaliado nos estudos de crescimento e produção com florestas plantadas no Brasil, nos quais geralmente os dados coletados em inventários contínuos nesse tipo de floresta não englobam idades inferiores nem superiores aos pontos de inflexão de crescimento. Podendo então este segmento ser representado por uma função quadrática, a função de Backman acaba por descrever de maneira satisfatória essas tendências. Uma função com propriedades biológicas, como por exemplo, a função de Chapman-Richards, na qual a curva parte do valor “zero” da variável dependente quando a variável independente também for “zero”, e que estabelece uma assíntota, pode muitas vezes “forçar” um ajuste que na realidade não está presente nos dados.

#### 5.1.2 Análises de tendências para definição de grupos de curvas de índice de sítio

A partir da definição da função de Backman como sendo a que melhor descreve todo o conjunto de dados de altura dominante e idade, partiu-se para as análises do comportamento das curvas para cada fator analisado: Material genético, solos, altitude e declividade.

## 5.1.2.1 Material genético

A análise de homogeneidade de inclinações (através do teste “*Homogeneity of slopes model*” do software Statistica) avalia as interações entre as variáveis contínuas e as covariáveis (fatores de análise), para o fator estudado. Como no mesmo teste pode-se detectar as possíveis diferenças de nível (significância do fator) e de inclinação (significância da interação fator \* variável independente), Este procedimento será tratado neste estudo como “análise de covariância” de uma maneira genérica.

A análise de covariância do fator material genético indicou haver diferenças significativas entre os clones estudados. Na Tabela 9 pode ser observada a significância estatística para este fator a um nível de probabilidade de erro de 1%.

Tabela 9 – Análise de covariância para o fator material genético.

Efeito	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	13,53025	1	13,53025	529,71177	0,00000
MG	0,60825	1	0,60825	23,81313	0,00000
Ln(t)	0,49718	1	0,49718	19,46480	0,00001
Ln <sup>2</sup> (t)	0,11603	1	0,11603	4,54256	0,03309
MG*Ln(t)	0,38910	1	0,38910	15,23343	0,00010
MG*Ln <sup>2</sup> (t)	0,20810	1	0,20810	8,14713	0,00432
Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,36354	1	0,36354	14,23277	0,00016
MG*Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,09914	1	0,09914	3,88150	0,04885
Erro	244,03461	9554	0,02554		

Sendo: MG = Material genético (clone); t = Idade.

Pela análise dos resultados acima, pode-se concluir que ambas as variáveis independentes do modelo, Ln(t) e Ln<sup>2</sup>(t) sofrem influência significativa do fator material genético, representada pelos valores de 0,00010 e 0,00432 para a

estatística  $p$  (significância), indicando diferenças na inclinação das curvas de crescimento. A diferença em nível das curvas também é indicada pela significância do fator de análise (MG – material genético).

Em termos práticos este resultado indica que, apesar destes materiais genéticos serem ambos clones da mesma espécie, possuem comportamentos distintos de crescimento, sugerindo assim a formação de pelo menos dois grupos de curvas de índice de sítio.

Esta diferença entre clones pode ser claramente observada na Figura 4. Nela, o modelo de Backman foi previamente ajustado na sua forma linearizada, separadamente para cada clone, com o intuito de demonstrar graficamente o resultado estatístico obtido.

O clone 4039 apresenta a partir de 2,5 anos, um crescimento mais acentuado em altura dominante, porém, próximos aos 7 anos o clone 2864 tem em média sua altura maior que o primeiro. Esta característica é provavelmente inerente ao genótipo de cada material genético e tem forte influência sobre as curvas de crescimentos de outras variáveis dendrométricas derivadas da altura dominante, como diâmetro, área basal e volume.

Trugilho et al. (2001) detectaram diferenças de crescimento em altura média, diâmetro e volume para diferentes clones de mesma espécie. Os autores estudaram 7 diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus grandis* e 3 materiais de *E. saligna* e concluíram que existiam diferenças significativas entre clones de uma mesma espécie, principalmente nos clones de *E. grandis*. Como os plantios avaliados neste estudo encontram-se regularmente distribuídos em diferentes sítios, pode-se concluir que as diferenças detectadas são consistentes e advindas das características genóticas de cada clone, e portanto dever-se-iam manter dois grupos de crescimento em altura dominante (um para cada clone) para as análises dos fatores solo, altitude e declividade.

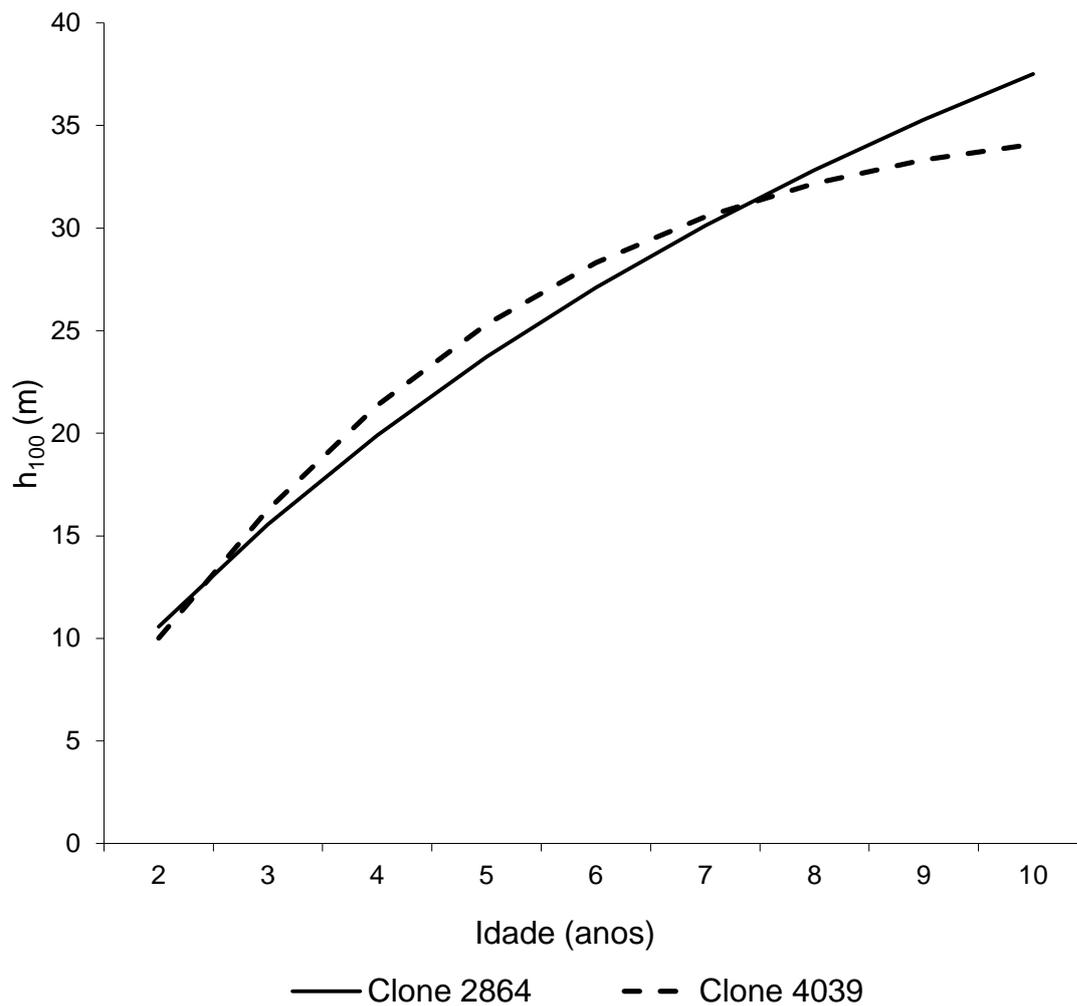


Figura 4 – Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os clones 2864 e 4039 após detecção de diferença significativa pelo fator material genético.

#### 5.1.2.2 Solo

Com base no resultado da análise de covariância para o fator material genético, analisou-se para cada clone a influência do fator solo no crescimento em altura dominante. As Tabelas 10 e 11 apresentam os resultados para os clones 2864 e 4039, respectivamente.

Tabela 10 – Análise de covariância do fator solo para o material genético 2864.

Efeito	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	4,05290	1	4,05286	178,58910	0,00000
Solo	1,12090	4	0,28023	12,34830	0,00000
Ln(t)	0,03220	1	0,03224	1,42080	0,23333
Ln <sup>2</sup> (t)	0,07860	1	0,07855	3,46140	0,06288
Solo*Ln(t)	1,09420	4	0,27354	12,05350	0,00000
Solo*Ln <sup>2</sup> (t)	1,03890	4	0,25972	11,44440	0,00000
Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,14160	1	0,14161	6,23980	0,01252
Solo*Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,96290	4	0,24073	10,60760	0,00000
Erro	113,51430	5002	0,02269		

Sendo: Solo = Classe de aptidão de solos; t = Idade.

Tabela 11 – Análise de covariância do fator solo para o material genético 4039.

Efeito	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	1,12740	1	1,12736	42,72131	0,00000
Solo	0,49380	4	0,12345	4,67824	0,00091
Ln(t)	0,04120	1	0,04122	1,56212	0,21142
Ln <sup>2</sup> (t)	0,24840	1	0,24844	9,41475	0,00217
Solo*Ln(t)	0,57350	4	0,14337	5,43304	0,00023
Solo*Ln <sup>2</sup> (t)	0,61120	4	0,15279	5,78996	0,00012
Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,35540	1	0,35538	13,46718	0,00025
Solo*Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,62390	4	0,15597	5,91043	0,00010
Erro	119,27670	4520	0,02639		

Sendo: Solo = Classe de aptidão de solos; t = Idade.

Observando-se as tabelas acima se detecta que o fator solo mostrou-se significativo para ambos os materiais genéticos, assim como a sua interação com as variáveis independentes Ln(t) e Ln<sup>2</sup>(t).

Os atributos físicos do solo podem influenciar significativamente o desenvolvimento de florestas de Eucalipto. As características como camadas de impedimento, diferentes graus de compactação, textura e estrutura do solo foram detectadas como sendo influenciadoras no desenvolvimento de plantios do gênero no Rio Grande do Sul e no estado de São Paulo (FINGER et al., 1996; RIBEIRO et al., 2010; ORTIZ et al., 2006)

Diferentes tipos de solos apresentam diferenças no crescimento em altura e diâmetro segundo Lourenço (1996). O autor encontrou que a espécie *Eucalyptus dunnii* cresceu de forma diferenciada em latossolos e cambissolos, sendo que nos primeiros, a floresta atingiu maiores diâmetros e alturas aos 7 anos de idade.

Como as classes de aptidão de solo segregadas para este estudo consideram em primeiro nível também a ordem taxonômica do solo, além das outras características descritas, presume-se que estas diferenças estatísticas encontradas vão ao encontro à literatura técnica.

A partir desta detecção da influência significativa do fator solo para ambos os clones, analisaram-se para cada material genético a existência de diferenças significativas entre cada classe de aptidão. As Tabelas 12 e 13 resumem os resultados encontrados em cada análise cruzada, mostrando o valor de probabilidade “p” associada à interação do fator com a variável independente  $\ln(t)$  do modelo de Backman:  $Ln h_{100} = b_0 + b_1 \times Ln(t) + b_2 \times Ln^2(t)$ .

Pela observação dos resultados se pode concluir a existência de diferenças significativas entre algumas classes de aptidão de solos, embora não se possa identificar claramente algum tipo de agrupamento entre classes semelhantes. Quando ocorre a separação do banco de dados nestas classes o número de observações de cada uma delas diminui e portanto a significância estatística pode ser influenciada pelo número de observações em cada classe. Desta forma, esta primeira análise serviu apenas para indicar possíveis agrupamentos de classes, já que não houveram diferenças entre todas elas, e assim não se justificaria a separação nas cinco classes.

Tabela 12 – Significância representada pelo valor de probabilidade “p” entre as classes de aptidão dos solos pela análise de covariância para o clone 2864.

Classe/Classe	1	2	3	4	5
1		0,05425	<b>0,00060</b>	0,36648	0,09677
2	0,05425		<b>0,00000</b>	0,81407	<b>0,00321</b>
3	<b>0,00060</b>	<b>0,00000</b>		<b>0,00946</b>	0,33571
4	0,36648	0,81407	<b>0,00946</b>		0,09646
5	0,09677	<b>0,00321</b>	0,33571	0,09646	

\* Valores de probabilidade  $p < 0,01$  em negrito indicam diferenças significativas de inclinação ou nível pela análise de covariância entre as diferentes classes de aptidão de solos sob um nível de probabilidade de erro de 1%.

Tabela 13 – Significância representada pelo valor de probabilidade “p” entre as classes de aptidão dos solos pela análise de covariância para o clone 4039.

Classe/Classe	1	2	3	4	5
1		<b>0,00514</b>	0,43066	0,90656	<b>0,00002</b>
2	<b>0,00514</b>		0,08557	0,50014	<b>0,00565</b>
3	0,43066	0,08557		0,23184	<b>0,00042</b>
4	0,90656	0,50014	0,23184		0,25098
5	<b>0,00002</b>	<b>0,00565</b>	<b>0,00042</b>	0,25098	

\* Valores de probabilidade  $p < 0,01$  em negrito indicam diferenças significativas de inclinação ou nível pela análise de covariância entre as diferentes classes de aptidão de solos sob um nível de probabilidade de erro de 1%.

Para o clone 2864 se observa que a classe 3 diferenciou-se das demais, exceto da classe 5. Já para o clone 4039 a classe 5 mostrou-se significativamente diferente das demais, exceto da classe 4.

Para a tomada decisão a respeito de que agrupamentos poderiam resultar significativamente distintos e lógicos, optou-se por sugerir um agrupamento de classes único para os dois clones. Assim, a classe 3, que mostrou-se diferente para o clone 2864 e as classes 4 e 5 (diferentes para o clone 4039) e que não diferiram entre si, formaram novos grupos, complementando-se com as classes 1 e 2.

Esta sugestão de agrupamento é a mais lógica quanto às características de cada solo, conforme descritas no item 4.3. Desta forma, repetiram-se as análises cruzadas agora com os grupos de solos “1-2”; “3” e “4-5”, para ambos os clones. Os resultados podem ser encontrados nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Significância representada pelo valor de probabilidade “p” entre as classes de aptidão de solos agrupadas pela análise de covariância para o clone 2864.

Classe/Classe	1-2	3	4-5
1-2		<b>0,00000</b>	<b>0,00348</b>
3	<b>0,00000</b>		0,03809
4-5	<b>0,00348</b>	0,03809	

\* Valores de probabilidade  $p < 0,01$  em negrito indicam diferenças significativas de inclinação ou nível pela análise de covariância entre as diferentes classes de aptidão de solos sob um nível de probabilidade de erro de 1%.

Tabela 15 - Significância representada pelo valor de probabilidade “p” entre as classes de aptidão de solos agrupadas pela análise de covariância para o clone 4039.

Classe/Classe	1-2	3	4-5
1-2		0,61504	<b>0,00034</b>
3	0,61504		<b>0,00041</b>
4-5	<b>0,00034</b>	<b>0,00041</b>	

\* Valores de probabilidade  $p < 0,01$  em negrito indicam diferenças significativas de inclinação ou nível pela análise de covariância entre as diferentes classes de aptidão de solos sob um nível de probabilidade de erro de 1%.

Nesta nova análise as diferenças estatísticas foram confirmadas entre classes. Se pode facilmente concluir de forma lógica que, para o clone 2864 a nova classe 1-2 diferiu das demais, sugerindo que sejam construídos dois sistemas de curvas distintos: Um para os grupos de solos 1-2 e outro para os grupos 3-4-5. Da

mesma forma, para o clone 4039, há claramente a sugestão de separação em dois grupos, um formado pelas classes 1-2-3 e outro pelas classes 4-5.

Após a sugestão de separação dos grupos de materiais genéticos em subgrupos de classes de solo indicada pelas análises estatísticas e, com a finalidade de comparar graficamente as diferenças, fez-se um ajuste prévio do modelo de Backman na sua forma linearizada, para os grupos descritos no Quadro 4.

Material Genético (Clone)	Classes de aptidão de solos	Nomenclatura novo grupo
2864	1-2	I
	3-4-5	II
4039	1-2-3	III
	4-5	IV

Quadro 4 – Agrupamentos sugeridos após análise de covariância dos fatores material genético (clone) e classe de aptidão de solos.

A finalidade dos ajustes prévios é verificar graficamente a lógica das diferenças entre as curvas de cada agrupamento sugerido, e se estas diferenças justificam a criação de grupos de curvas distintos. Para isso, partiu-se do pressuposto lógico de que as classes de solo com maior aptidão deverão demonstrar maior desenvolvimento ao final do período de análise (10 anos), que as diferenças entre curvas devem ser maiores do que os erros admitidos para medição de alturas a campo e ainda, que apenas a diferença de nível no desenvolvimento em altura dominante não justificaria a criação de um grupo distinto, visto que em uma classificação de sítio, estas diferenças de nível do crescimento são cobertas pelas curvas dos diferentes índices de sítio. Nas Figuras 5 e 6 podem ser visualizadas as curvas ajustadas para os grupos I, II, III e IV.

A Tabela 16 complementa a informação dos ajustes apresentados nas Figuras 5 e 6, na qual se pode observar o crescimento em altura dominante para cada grupo e a diferença entre estes em cada idade.

Pelos resultados expressos graficamente e pela Tabela 16, se observa que para o clone 2864 é recomendado a manutenção dos grupos I e II de forma separada, pois as diferenças estatísticas foram comprovadas pelo gráfico da curva

média ajustada e pelas diferenças crescentes de altura a partir dos 5 – 6 anos de idade, o que gerou um comportamento bastante distinto de crescimento. As classes de solos 1 e 2, que compreendem basicamente Argissolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Nitossolo Vermelho, alguns Cambissolos, Chernossolos e Luvisolos, com valores médios de IQS de 0,76 e CAD 304 mostraram-se superiores em crescimento a partir de cinco anos de idade. Por outro lado, e de forma lógica, as classes 3, 4 e 5 com valores médios de IQS e de CAD de 0,55 e 211, respectivamente, apresentaram menor crescimento em altura dominante.

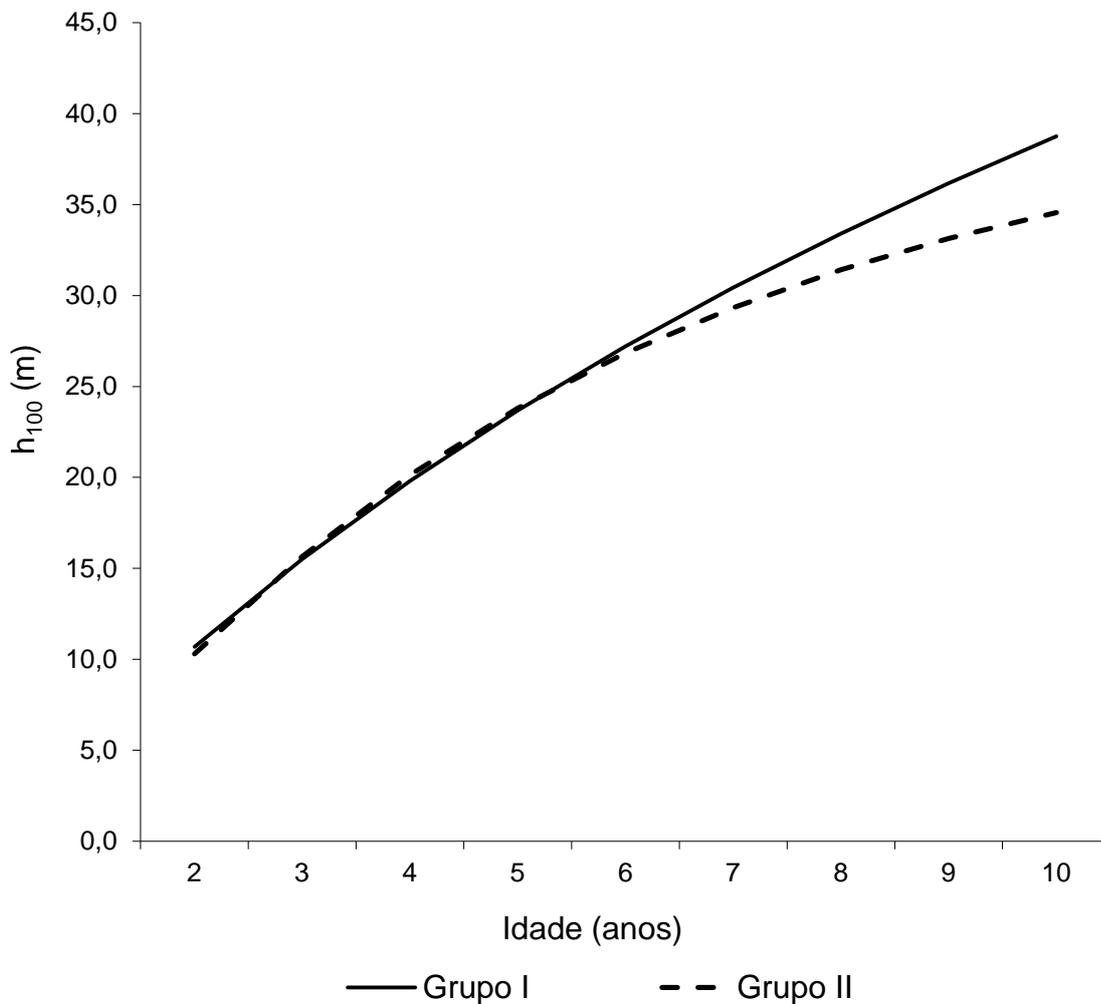


Figura 5– Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os grupos I e II, após análise do fator solo.

O maior crescimento em altura dominante do grupo formado por solos de melhor qualidade (classes 1 e 2) deve estar indicando a maior capacidade desses solos em sustentar o crescimento, dando maior suporte hídrico e nutricional à floresta à medida que as árvores crescem e demandam mais do sítio.

Para o clone 4039 as diferenças estatísticas não se mostraram claras quando os grupos tiveram seus ajustes em separado. Observa-se pela Figura 6 e pela Tabela 16 que as diferenças entre os grupos são pequenas durante todo o período de desenvolvimento analisado.

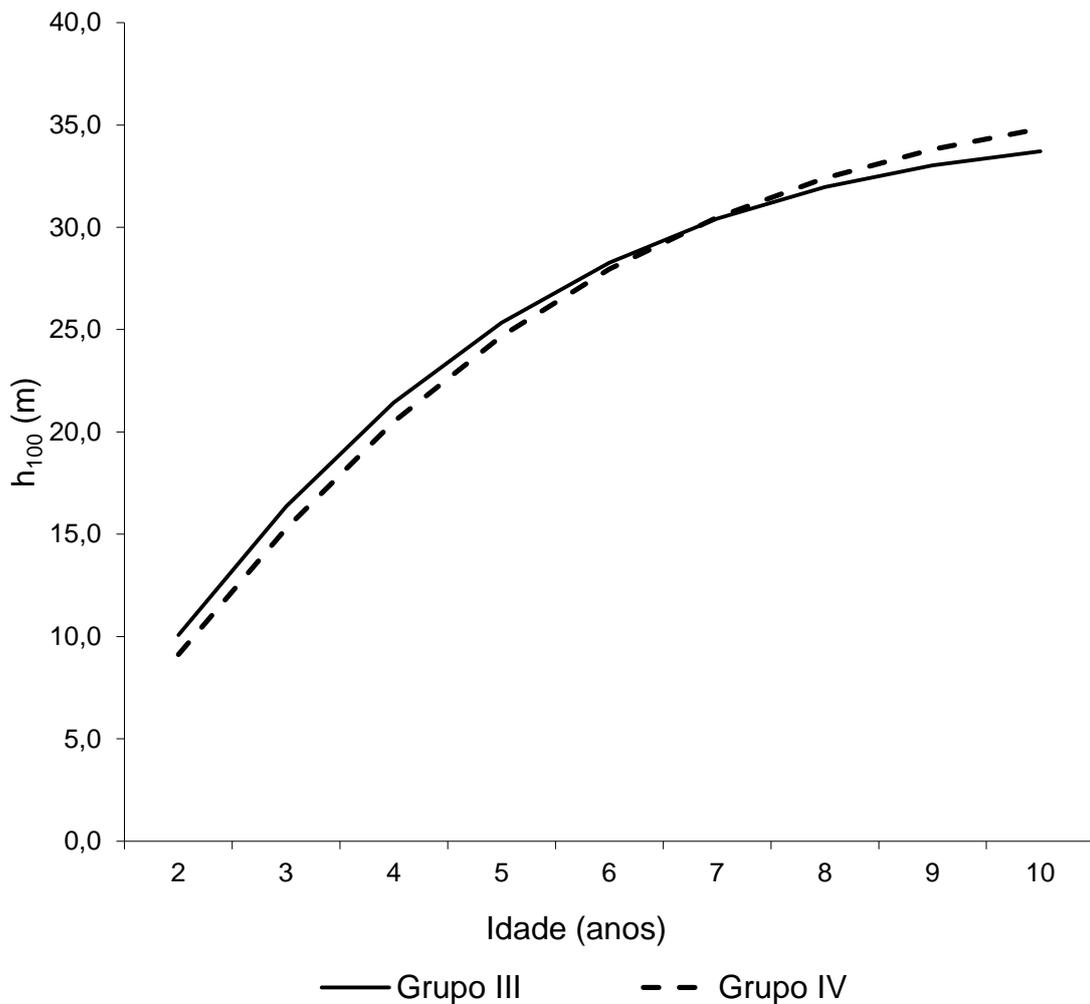


Figura 6 – Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os grupos III e IV, após análise do fator solo.

Outra observação importante é a de que o grupo III (clone 4039 + solos 1-2-3) chega aos 8 anos com um crescimento em altura menor do que o grupo IV (clone 4039 + solos 4-5) que apresenta solos com maior limitação por excesso de água e má drenagem. Este resultado também pode indicar que o volume de dados para ajustar cada grupo separadamente não foi suficientemente adequado, sugerindo-se então que para o clone 4039 não se faça a separação pelo fator solo. Um ajuste através da utilização do procedimento “Mixed Models” no SAS (Modelagem mista) poderia solucionar a insuficiência de dados em algum ponto, entretanto, poderiam ser comprometidas as análises dos fatores subsequentes (altitude e declividade) com a segregação excessiva da base de dados em diferentes grupos. Devido a isso, optou-se por manter o clone 4039 como um único grupo, formado por todas as classes de solo.

Tabela 16 – Crescimento em altura dominante e diferenças de crescimento para cada curva ajustada nos grupos I, II, III e IV.

Idade (anos)	Grupos					
	I	II	Dif. (m)	III	IV	Dif. (m)
2	10,7	10,3	0,4	10,1	9,1	1,0
3	15,5	15,7	-0,2	16,4	15,3	1,1
4	19,8	20,1	-0,3	21,4	20,5	0,9
5	23,7	23,8	-0,1	25,3	24,7	0,7
6	27,2	26,8	0,4	28,3	28,0	0,3
7	30,4	29,3	1,1	30,4	30,5	-0,1
8	33,4	31,4	2,0	32,0	32,4	-0,4
9	36,2	33,1	3,0	33,0	33,8	-0,8
10	38,7	34,6	4,2	33,7	34,8	-1,1

\* Dif. (m) – Diferença em metros entre as curvas ajustadas para cada grupo em cada idade.

Visto isso, o agrupamento final após análise de covariância para os fatores material genético e solo ficou estabelecido como sendo formado pelo clone 2864 e

classes de solos 1-2 (Grupo I); clone 2864 e classes de solos 3-4-5 (Grupo II) e clone 4039 e todas as classes de aptidão de solos (novo Grupo III).

### 5.1.2.3 Altitude

O fator altitude foi analisado para cada grupo formado pelas análises anteriores. As Tabelas 17, 18 e 19 mostram os resultados das análises de covariância deste fator.

Tabela 17 – Análise de covariância do fator altitude para o Grupo I – clone 2864 e classe de aptidão de solos 1-2.

Efeito	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	2,02278	1	2,02278	106,56950	0,00000
Altitude	0,32558	3	0,10853	5,71760	0,00067
Ln(t)	0,15895	1	0,15895	8,37410	0,00383
Ln <sup>2</sup> (t)	0,28605	1	0,28605	15,07050	0,00011
Altitude*Ln(t)	0,33564	3	0,11188	5,89430	0,00052
Altitude*Ln <sup>2</sup> (t)	0,30504	3	0,10168	5,35700	0,00111
Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,26047	1	0,26047	13,72300	0,00022
Altitude*Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,26359	3	0,08786	4,62900	0,00310
Erro	68,53969	3611	0,01898		

Sendo: Altitude= Classes de altitude; t = idade.

Conforme resultados expressos pelas Tabelas 17, 18 e 19, os grupos I e II apresentaram influência significativa do fator altitude com um nível de 1% de probabilidade de erro. O grupo I apresentou os valores de probabilidade p de 0,00067, 0,00052 e 0,00111 para o fator altitude, para a interação entre altitude e a variável independente Ln(t) e para a interação entre altitude e a variável

independente  $\text{Ln}^2(t)$ , respectivamente. Isto indica alta probabilidade de que este grupo possua tendências distintas de crescimento em função da altitude.

Tabela 18 – Análise de covariância do fator altitude para o Grupo II – clone 2864 e classe de aptidão de solos 3-4-5.

Efeito	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	0,46492	1	0,46492	18,19545	0,00002
Altitude	0,30181	3	0,10061	3,93735	0,00823
$\text{Ln}(t)$	0,01595	1	0,01595	0,62434	0,42957
$\text{Ln}^2(t)$	0,00193	1	0,00193	0,07540	0,78367
Altitude* $\text{Ln}(t)$	0,29118	3	0,09706	3,79865	0,00996
Altitude* $\text{Ln}^2(t)$	0,26437	3	0,08812	3,44889	0,01609
$\text{Ln}(t)$ * $\text{Ln}^2(t)$	0,00609	1	0,00609	0,23851	0,62536
Altitude* $\text{Ln}(t)$ * $\text{Ln}^2(t)$	0,23543	3	0,07848	3,07139	0,02691
Erro	35,23527	1379	0,02555		

Sendo: Altitude= Classes de altitude; t = idade.

O grupo II apresentou valores significativos para o fator e para a interação com a variável independente  $\text{Ln}(t)$  apenas, entretanto, apresentou valores não significativos para as variáveis independentes isoladas, demonstrando possível inconsistência nesta diferenciação estatística. O grupo III não apresentou valores significativos para o fator ou para as interações sob uma probabilidade de erro de 1%. Desta forma, as análises cruzadas deste fator foram realizadas apenas para os grupos I e II e estão expressas pelas Tabelas 20 e 21.

Pela observação das tabelas, o fator altitude apresentou significativa influência para o grupo I (clone 2864 e classes de aptidão de solos 1 e 2). Esta análise sugeriu claramente a separação do grupo I em dois distintos grupos conforme a variação da altitude.

Tabela 19 – Análise de covariância do fator altitude para o Grupo III – clone 4039 e classe de aptidão de solos 1-2-3-4-5.

Efeito	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	2,62030	1	2,62031	106,02970	0,00000
Altitude	0,20150	3	0,06717	2,71810	0,04305
Ln(t)	0,01080	1	0,01079	0,43670	0,50876
Ln <sup>2</sup> (t)	0,14360	1	0,14358	5,80970	0,01598
Altitude*Ln(t)	0,22070	3	0,07356	2,97670	0,03034
Altitude*Ln <sup>2</sup> (t)	0,22040	3	0,07348	2,97320	0,03049
Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,25640	1	0,25639	10,37460	0,00129
Altitude*Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,20040	3	0,06680	2,70300	0,04394
Erro	111,75190	4522	0,02471		

Sendo: Altitude= Classes de altitude; t = idade.

Tabela 20 – Diferenças detectadas entre as classes de altitude pela análise de covariância para o Grupo I (clone 2864 e solos 1-2).

Classe/Classe	0-100 m	100-200 m	200-300 m	> 300 m
0-100 m		0,35713	<b>0,00159</b>	<b>0,00646</b>
100-200 m	0,35713		<b>0,00187</b>	<b>0,00980</b>
200-300 m	<b>0,00159</b>	<b>0,00187</b>		0,21993
> 300 m	<b>0,00646</b>	<b>0,00980</b>	0,21993	

\* Valores de probabilidade  $p < 0,01$  em negrito indicam diferenças significativas de inclinação ou nível pela análise de covariância entre as diferentes classes de aptidão de solos sob um nível de probabilidade de erro de 1%.

A análise entre classes no grupo II confirmou que a existência de significativa diferença entre classes de altitude não é consistente, visto que apenas as classes 100-200m e >300m diferiram entre si, não guardando lógica a separação destas classes dentro do grupo II.

Tabela 21 – Diferenças detectadas entre as classes de altitude pela análise de covariância para o Grupo II (clone 2864 e solos 3-4-5).

Classe/Classe	0-100 m	100-200 m	200-300 m	> 300 m
0-100 m		0,02230	0,50709	0,03512
100-200 m	0,02230		0,69045	<b>0,00332</b>
200-300 m	0,50709	0,69045		0,01025
> 300 m	0,03512	<b>0,00332</b>	0,01025	

\* Valores de probabilidade  $p < 0,01$  em negrito indicam diferenças significativas de inclinação ou nível pela análise de covariância entre as diferentes classes de aptidão de solos sob um nível de probabilidade de erro de 1%.

Como realizado na análise do fator solo, o modelo de Backman foi ajustado novamente para estes dois subgrupos do grupo I com objetivo de verificar através das curvas médias estas diferenças. As Tabelas 22 e 23 demonstram respectivamente os testes de significância do ajuste, os parâmetros estimados e as estatísticas do ajuste do modelo de Backman para o Grupo I separado conforme indicação da análise de covariância em Grupo I-A (Clone 2864, solos 1-2 e altitude 0-200 m) e Grupo I-B (Clone 2864, solos 1-2 e altitude > 200 m)

Tabela 22 – Análise de variância para o ajuste do modelo de Backman para os grupos I-A (clone 2864, classes de solos 1 e 2 e altitude 0-200 m) e grupo I-B (clone 2864, classes de solos 1 e 2 e altitude > 200 m).

Grupo	Efeito	SQ	GL	QM	F	p
I-A	Intercepto	80,08875	1	80,08875	4129,991	0,000000
	Ln(t)	12,39961	1	12,39961	639,419	0,000000
	Ln <sup>2</sup> (t)	1,06384	1	1,06384	54,860	0,000000
	Erro	55,51927	2863	0,01939		
I-B	Intercepto	6,41413	1	6,414131	291,2913	0,000000
	Ln(t)	0,16878	1	0,168781	7,6650	0,005768
	Ln <sup>2</sup> (t)	0,07673	1	0,076727	3,4845	0,062333
	Erro	16,69089	758	0,022020		

Tabela 23 – Coeficientes do ajuste do modelo de Backman para os grupos I-A (clone 2864, classes de solos 1 e 2 e altitude 0-200 m) e grupo I-B (clone 2864, classes de solos 1 e 2 e altitude > 200 m).

Grupo	Var. indep.	Coeficiente	Erro Padrão	t	p
I-A	Intercepto	1,660662	0,025841	64,26501	0,000000
	Ln(t)	1,155376	0,045691	25,28673	0,000000
	Ln <sup>2</sup> (t)	-0,131938	0,017813	-7,40673	0,000000
I-B	Intercepto	1,815797	0,106391	17,06726	0,000000
	Ln(t)	0,562750	0,203263	2,76857	0,005768
	Ln <sup>2</sup> (t)	0,166267	0,089071	1,86667	0,062333

Pelo ajuste do modelo de Backman, a separação do Grupo I em dois grupos pelo fator altitude, apesar de estatisticamente significativa pelos testes de covariância, não se mostrou adequada, pois a estimativa do parâmetro Ln<sup>2</sup>(t) na função para o grupo I-B não foi significativo, ocasionando uma crescente não assintótica da curva de crescimento em altura dominante conforme demonstra a Figura 7.

Analisou-se então a distribuição dos pontos de dados em cada subgrupo de altitude do grupo I, com o objetivo de justificar uma separação destes dois grupos utilizando-se outra técnica de ajuste das funções de forma a obter coeficientes significativos ou não. A Figura 8 demonstra a distribuição de dados para o grupo I-A e I-B. Nela observamos que o grupo I-B possui uma boa cobertura com dados até os 4 anos apenas, o que ocasionou a não significância do coeficiente associado à variável independente Ln<sup>2</sup>(t) no ajuste da função.

Ferreira e Couto (1981) concluíram em estudo relacionando diferentes variáveis ambientais com o crescimento de espécies do gênero *Eucalyptus*, que a altitude foi o fator de maior influência no crescimento em altura de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. dunnii*, *E. pellita*, *E. tereticornis* e *E. grandis*. No estudo realizado em Minas Gerais os sítios experimentais apresentavam uma variação de altitude de 40 m s.n.m.(metros sobre o nível do mar) até 878 m s.n.m., enquanto que neste estudo a variação nesse atributo é menor, variando de 9 m s.n.m. até 474 m s.n.m. Esta menor variação pode ter influenciado a não diferenciação consistente destes

grupos, assim como a distribuição dos dados entre as diferentes classes do fator altitude.

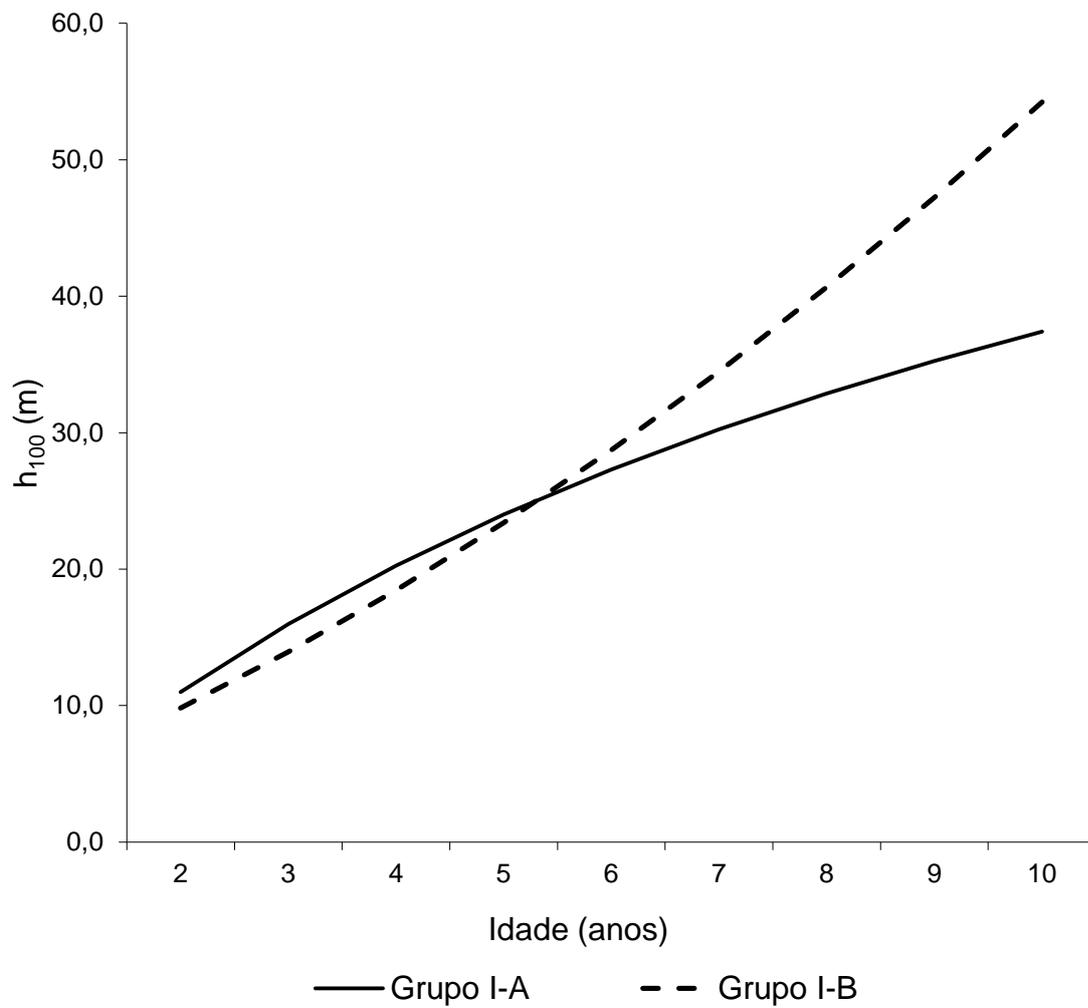


Figura 7– Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os grupos I-A e I-B.

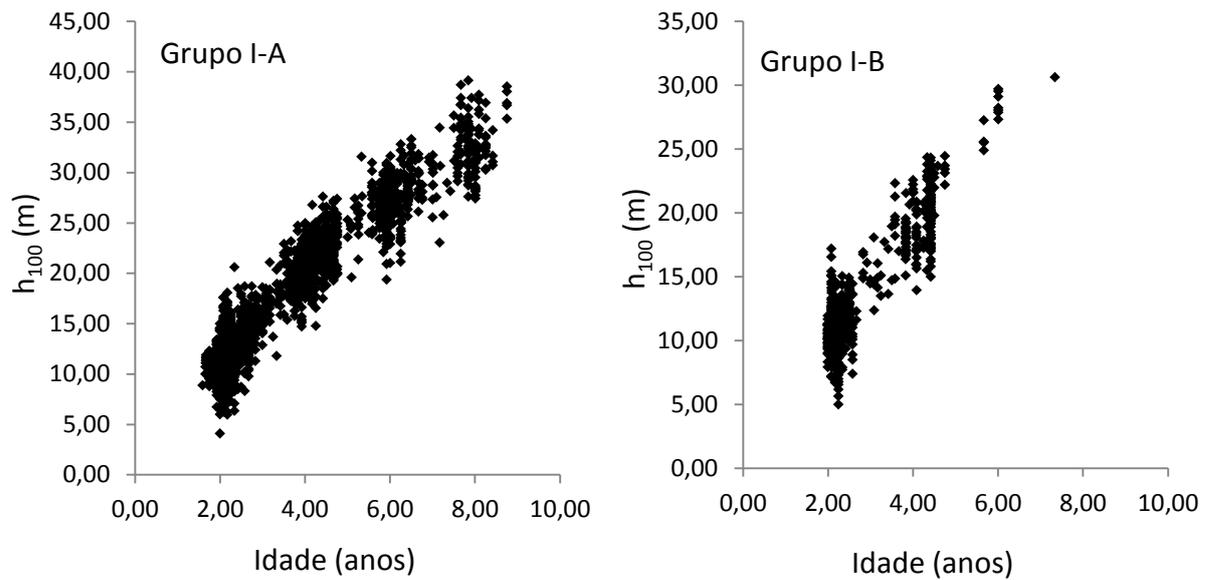


Figura 8 – Distribuição de dados idade x altura dominante para os grupos I-A e I-B.

Com base nestas considerações e após as análises dos fatores material genético, classes de aptidão de solos e altitude, os grupos sugeridos pelas análises para a criação de curvas de índice de sítio continuam sendo os grupos I, II e III conforme descrito anteriormente no item 5.1.2.2.

#### 5.1.2.4 Declividade

Da mesma forma que as análises do fator altitude, o fator declividade foi analisado separadamente para cada grupo formado até o momento: Clone 2864 e solos 1-2 (Grupo I); clone 2864 e solos 3-4-5 (Grupo II) e clone 4039 e todas as classes de aptidão de solos (Grupo III).

Nas Tabelas 24, 25 e 26 podem ser observadas as análises de covariância do fator declividade para os três grupos formados até o momento.

Tabela 24 – Análise de covariância entre classes de declividade para o Grupo I (clone 2864; classes de aptidão de solos 1 e 2).

Efeito	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	8,31732	1	8,317319	425,3459	0,000000
Declividade	0,13158	2	0,065789	3,3644	0,034703
Ln(t)	0,02954	1	0,029536	1,5104	0,219161
Ln <sup>2</sup> (t)	0,45937	1	0,459372	23,4922	0,000001
Declividade*Ln(t)	0,14465	2	0,072325	3,6987	0,024862
Declividade*Ln <sup>2</sup> (t)	0,14773	2	0,073864	3,7774	0,022984
Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,57467	1	0,574669	29,3885	0,000000
Declividade*Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,14832	2	0,074162	3,7926	0,022637
Erro	63,02335	3223	0,019554		

Sendo: Declividade = Classes de declividade; t= idade.

Tabela 25 – Análise de covariância entre classes de declividade para o Grupo II (clone 2864; classes de aptidão de solos 3, 4 e 5).

Efeito	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	0,86730	1	0,867295	37,64194	0,000000
Declividade	0,00014	2	0,000072	0,00314	0,996861
Ln(t)	0,62916	1	0,629162	27,30659	0,000000
Ln <sup>2</sup> (t)	0,16472	1	0,164719	7,14907	0,007594
Declividade*Ln(t)	0,00126	2	0,000630	0,02734	0,973032
Declividade*Ln <sup>2</sup> (t)	0,00184	2	0,000921	0,03998	0,960809
Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,08736	1	0,087355	3,79134	0,051733
Declividade*Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,00216	2	0,001079	0,04683	0,954253
Erro	29,95287	1300	0,023041		

Sendo: Declividade = Classes de declividade; t= idade.

Tabela 26 – Análise de covariância entre classes de declividade para o Grupo III (clone 4039; todas as classes de aptidão de solos).

Efeito	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	2,58269	1	2,582685	131,7420	0,000000
Declividade	0,22076	2	0,110382	5,6306	0,003616
Ln(t)	0,28589	1	0,285887	14,5830	0,000136
Ln <sup>2</sup> (t)	0,00000	1	0,000000	0,0000	1,000000
Declividade*Ln(t)	0,19538	2	0,097692	4,9833	0,006896
Declividade*Ln <sup>2</sup> (t)	0,17606	2	0,088028	4,4903	0,011276
Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,02518	1	0,025182	1,2845	0,257132
Declividade*Ln(t)*Ln <sup>2</sup> (t)	0,15569	2	0,077843	3,9707	0,018936
Erro	76,16197	3885	0,019604		

Sendo: Declividade = Classes de declividade; t= idade.

Foram detectadas diferenças significativas em nível e inclinação quanto ao fator declividade a um nível de probabilidade de erro de 1%, apenas para o Grupo III (clone 4039 e solos 1-2-3-4-5). Desta maneira as análises cruzadas para as 3 classes de declividade definidas (plano, suave-ondulado e ondulado) foram realizadas apenas para esse grupo. A Tabela 27 resume os valores de probabilidade “p” associados a cada análise entre os fatores.

Tabela 27 – Diferenças detectadas entre as classes de declividade pela análise de covariância para o Grupo III (clone 4039 e solos 1-2-3-4-5).

Classe/Classe	plano	suave-ondulado	ondulado
plano	- - -	<b>0,00439</b>	<b>0,00926</b>
suave-ondulado	<b>0,00439</b>	- - -	0,60719
ondulado	<b>0,00926</b>	0,60719	- - -

\* Valores de probabilidade  $p < 0,01$  em negrito indicam diferenças significativas de inclinação ou nível pela análise de covariância entre as diferentes classes de aptidão de solos sob um nível de probabilidade de erro de 1%.

Como a análise entre cada classe de declividade indicou que o Grupo III, formado pelo clone 4039 em todas as condições de solo e altitude pode ter diferente tendência de crescimento em altura dominante dependendo das condições de declividade, fez-se o ajuste da função de Backman na sua forma linearizada e não linearizada, para estas duas distintas condições, com a finalidade de avaliar graficamente estas diferenças.

A análise da Figura 9 também demonstra que o Grupo III-A (clone 4039 implantado em relevo plano), apresenta distinta tendência de crescimento em relação ao grupo III-B (clone 4039 implantado em relevo suave-ondulado e ondulado), atingindo uma menor altura a partir dos 6 anos, independente da forma de ajuste dos modelos, as quais apresentam sensíveis diferenças entre si.

Como forma de explicar essa diferença pela simples forma de ajuste do modelo, a Figura 10 mostra que a distribuição dos dados dos grupos III-A e III-B pode estar influenciando o ajuste das curvas, principalmente devido ao menor número de observações a partir dos 6 anos, diferentemente do que ocorreu na diferenciação dos grupos I e II, quando as observações chegavam mais próximas aos 9 anos.

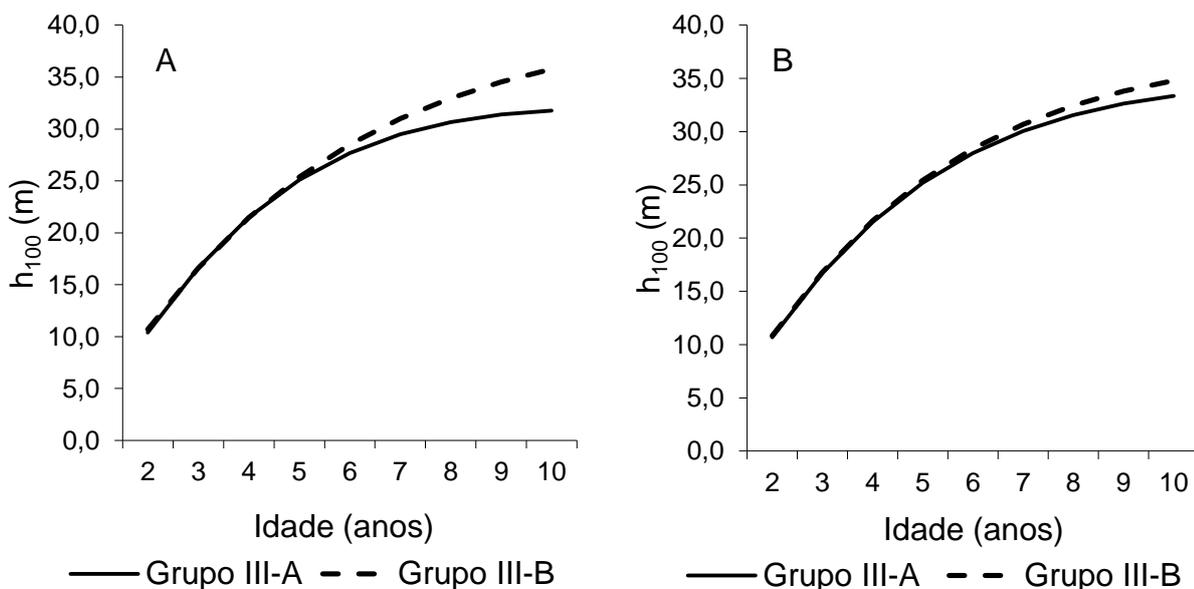


Figura 9 – Curvas ajustadas pelo modelo de Backman para os grupos III-A e III-B pelo modelo linearizado (A) e não linearizado (B)

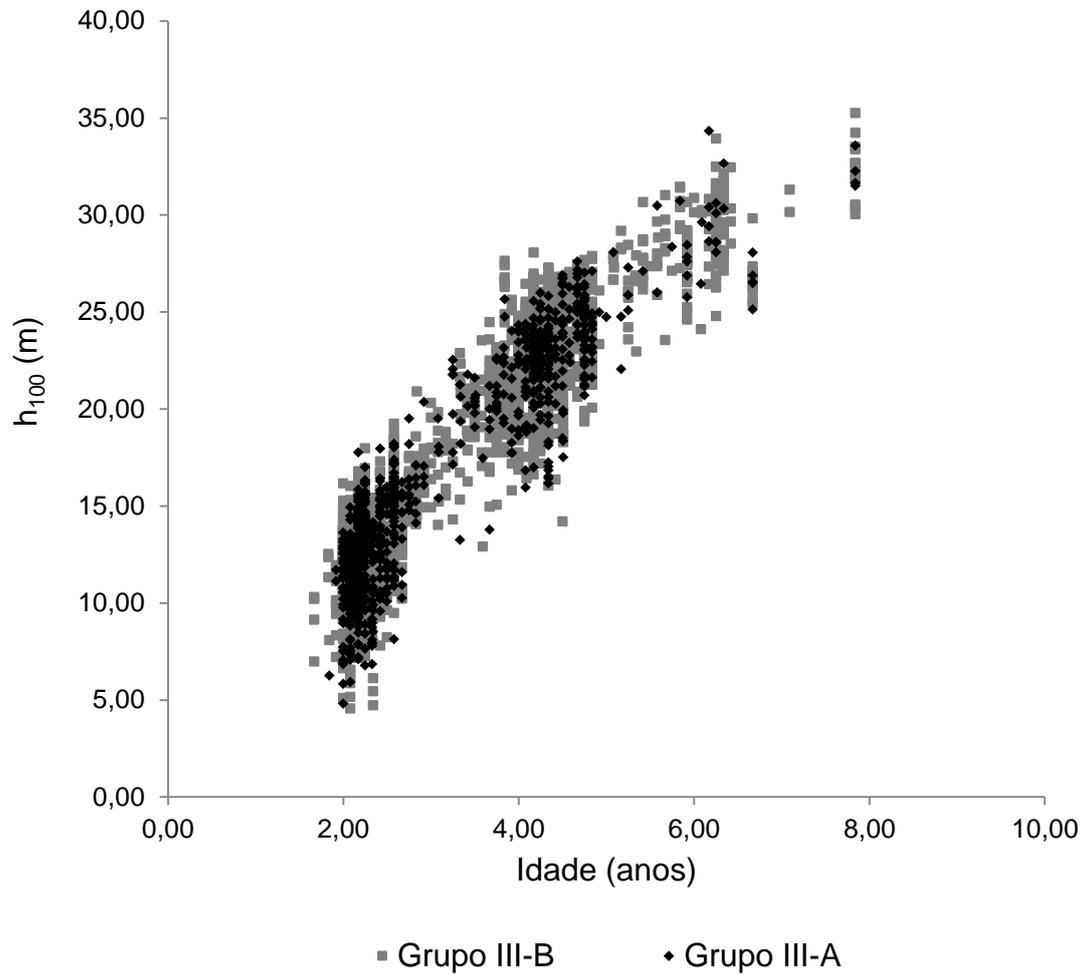


Figura 10 – Distribuição das observações para os grupos III-A e III-B.

Devido a essa fraca diferenciação entre os grupos III-A e III-B optou-se por realizar os testes de condicionantes de regressão, os ajustes individuais para cada grupo e a análise da curva média ajustada para os grupos I, II, III-A, III-B e o grupo formado por (III-A + III-B), e só após isso decidir pela separação ou não do grupo III em duas tendências de crescimento, conforme descrição dos resultados no item 5.1.2.5.

#### 5.1.2.5 Tendências de crescimento definidas pela análise de covariância

Todas as análises de tendências de crescimento em altura dominante indicaram a possível existência de 4 diferentes tendências. O clone 2864 mostrou-se sensível ao fator solo, sendo que as análises indicaram duas tendências: uma sob solos das classes de aptidão 1 e 2 (Grupo I) e outra sob solos das classes de aptidão 3, 4 e 5 (Grupo II). O clone 4039 por sua vez não se mostrou sensível às diferenças entre as classes de aptidão de solos, mostrando, porém, indicativos de crescimento diferenciado quando plantado em áreas de pouca declividade, planas e que indiretamente podem refletir também efeito de solos hidromórficos (Grupo III-A), e em áreas de relevo suave-ondulado à ondulado (Grupo III-B).

Os testes de Bartlett (Heterogeneidade de variâncias) e de Kolmogorov-Smirnov (normalidade na distribuição dos resíduos) foram aplicados às duas formas de ajuste do modelo de Backman (modelo linearizado e modelo original com ajuste não linear), para os grupos I, II, III-A, III-B e o conjunto (III-A + III-B).

Os valores de  $\chi^2$  de Bartlett e da estatística “D” de Kolmogorov-Smirnov foram comparados com os valores tabelados (Tabela 28). Pode-se observar que de modo geral a forma de ajuste não linear proporcionou menores valores de  $\chi^2$  (indicando menor tendência à heterogeneidade de variâncias) e menores valores de “D”, o que indica por sua vez, que a distribuição dos resíduos das observações estimadas pelo modelo ajustado tendem à normalidade.

Para os grupos III-A, III-B e (III-A + III-B) que indicaram a existência de heterogeneidade de variância e não normalidade na distribuição de resíduos, e para o grupo II que indicou apenas a existência de heterogeneidade de variância, procedeu-se a análise dos melhores expoentes de transformação da variável dependente pela determinação Box-Cox.

A análise dos melhores expoentes de transformação indicou o uso dos expoentes 1.4, 1.1 e 1.2 para os grupos III-A; III-B e (III-A + III-B), respectivamente. O grupo II, apesar de indicar possível heterogeneidade de variâncias, trouxe como melhor expoente de transformação da variável dependente o valor 1, ou seja, não se indica transformação neste caso, pois a heterogeneidade indicada é mínima.

Tabela 28 – Valores das estatísticas  $X^2$  e “D” para os testes de Bartlett e Kolmogorov –Smirnov, respectivamente.

Forma de Ajuste	Teste	Grupos									
		N=3627		N=1395		N=872		N=3025		N=3897	
		I		II		III-A		III-B		III-A + III-B	
		Calc.	Tab.	Calc.	Tab.	Calc.	Tab.	Calc.	Tab.	Calc.	Tab.
Linearizado	Bartlett	450,4	11,3	254,0	11,3	249,6	9,2	913,1	9,2	1166,0	9,2
	Kolmogorov-Smirnov	0,070	0,027	0,058	0,043	0,069	0,055	0,084	0,029	0,079	0,026
Original	Bartlett	<b>1,251</b>	<b>11,3</b>	29,09	11,3	56,92	9,2	215,9	9,2	272,10	9,2
	Kolmogorov-Smirnov	<b>0,020</b>	<b>0,027</b>	<b>0,019</b>	<b>0,043</b>	0,062	0,055	0,040	0,029	0,044	0,026
Expoente Box-Cox		1,0		1,0		1,4		1,1		1,2	

\* Calc. e Tab. - Valores calculados maiores que tabelados indicam possíveis tendências à heterogeneidade de variâncias e não-normalidade na distribuição dos resíduos para os testes de Bartlett e Kolmogorov-Smirnov respectivamente.

\*\* N = Número de observações

\*\*\* Box-Cox - Melhor transformação Box-Cox para a variável dependente ( $\lambda$ ).

Por fim, o ajuste da função de Backman na sua forma não linear para cada grupo foi feito levando-se em consideração o expoente de transformação da variável dependente indicado pela análise das condicionantes de regressão (Tabela 28). As curvas ajustadas para os cinco grupos (I e II definidos e grupo III em análise) são demonstrados na Figura 11. Nesta, pode-se observar que as curvas ajustadas para o grupo III praticamente mostram a mesma tendência após o ajuste do modelo com os adequados expoentes de transformação, que minimizam os efeitos da heterogeneidade de variância e distribuição não normal dos resíduos, e geram assim, estimativas não tendenciosas para os parâmetros do modelo.

Tonini (2003) também não encontrou diferenças significativas no padrão de crescimento em altura dominante em três clones de *E. saligna* quando o fator analisado foi a declividade do terreno. O autor ainda cita que mesmo a declividade não apresentando influência direta no padrão de crescimento, este fator pode, indiretamente, influenciar nas características químicas e físicas do solo e no movimento de água no mesmo, fatores esses que influenciariam o crescimento, como visto neste estudo para o clone 2864 e o fator solo.

Tendo em vista todos os aspectos citados, optou-se por não separar o grupo III e assim, utilizar uma única tendência de crescimento que descreva o desenvolvimento do clone 4039 em todas as condições de solo e relevo. Os grupos finais definidos foram: Grupo I (clone 2864 e classes de solo 1-2); Grupo II (clone 2864 e classes de solo 3-4-5) e Grupo III (clone 4039).

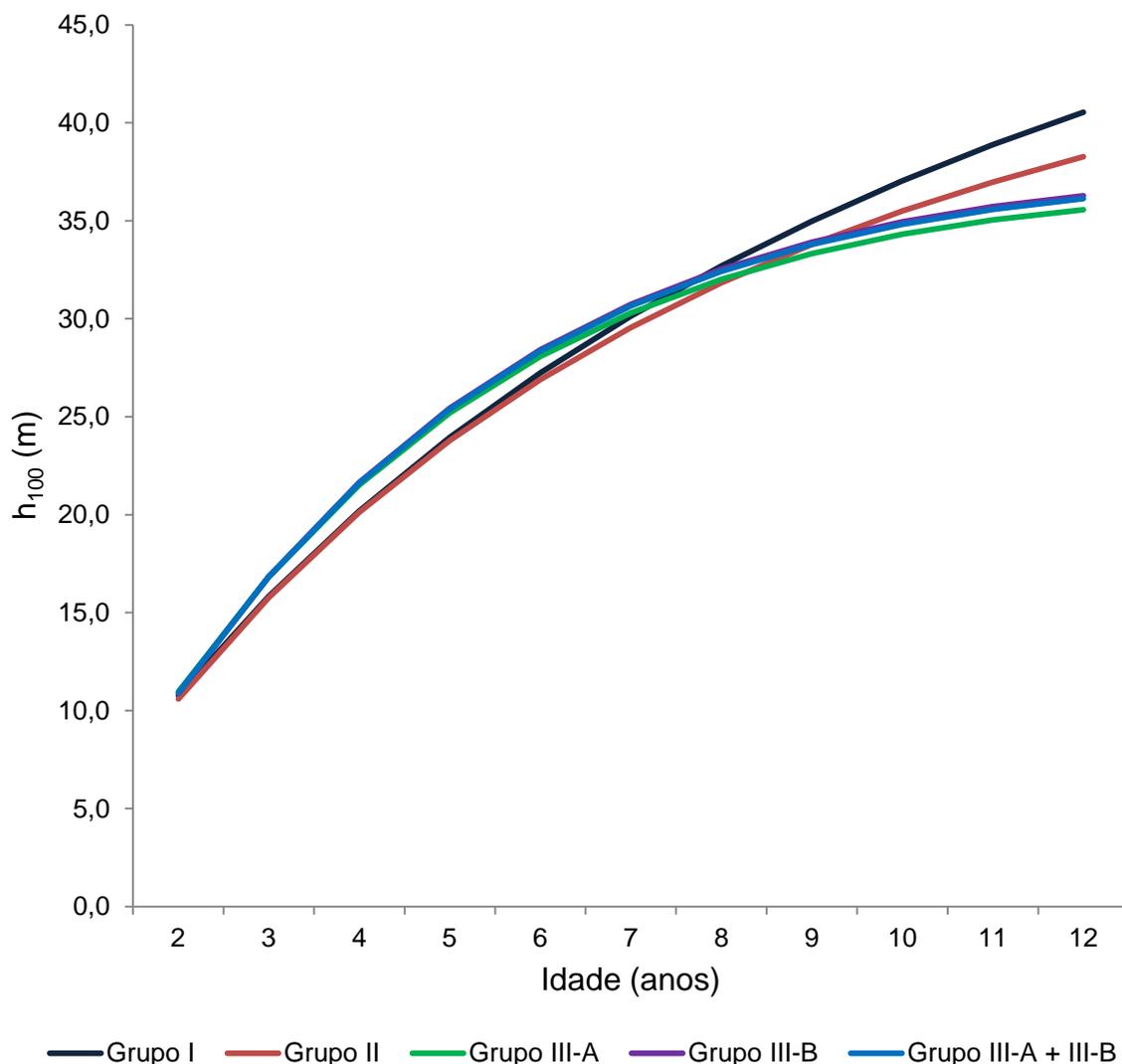


Figura 11 – Curvas ajustadas para os grupos definidos (I e II) e em análise (III).

A Tabela 29 e a Figura 12 mostram respectivamente, os coeficientes de cada grupo definido com as respectivas curvas médias de crescimento em altura

dominante e o comparativo gráfico da tendência média de crescimento dos três grupos definidos.

As curvas finais de crescimento em altura dominante demonstram que o clone 2864 nas classes de solo 1 e 2 (Grupo I) tem em média o melhor crescimento nesse parâmetro a partir dos 7 anos, seguido do clone 2864 nas classes de solo 3, 4 e 5 e por último pelo clone 4039, que inicialmente tende a ter um maior crescimento em altura porém, próximo aos 7 anos é ultrapassado pelo clone 2864 em quaisquer condições de solo.

Tabela 29 – Coeficientes ajustados e curva média de crescimento em altura dominante para os três grupos finais definidos pelas análises de tendência de crescimento.

Coeficientes finais ajustados e curvas médias para cada grupo de crescimento			
	1,6042	1,5382	1,7118
$b_0$			
$b_1$	1,2196	1,3183	1,9084
$b_2$	-0,1510	-0,1894	-0,3481
Idade	Grupo I	Grupo II	Grupo III
	Clone 2864 - solos 1-2	Clone 2864 - solos 3-4-5	Clone 4039
2	10,8	10,6	10,9
3	15,8	15,8	16,8
4	20,2	20,1	21,6
5	24,0	23,8	25,4
6	27,2	26,9	28,4
7	30,1	29,6	30,6
8	32,7	31,8	32,4
9	35,0	33,8	33,8
10	37,0	35,5	34,8
11	38,9	37,0	35,6
12	40,5	38,3	36,1

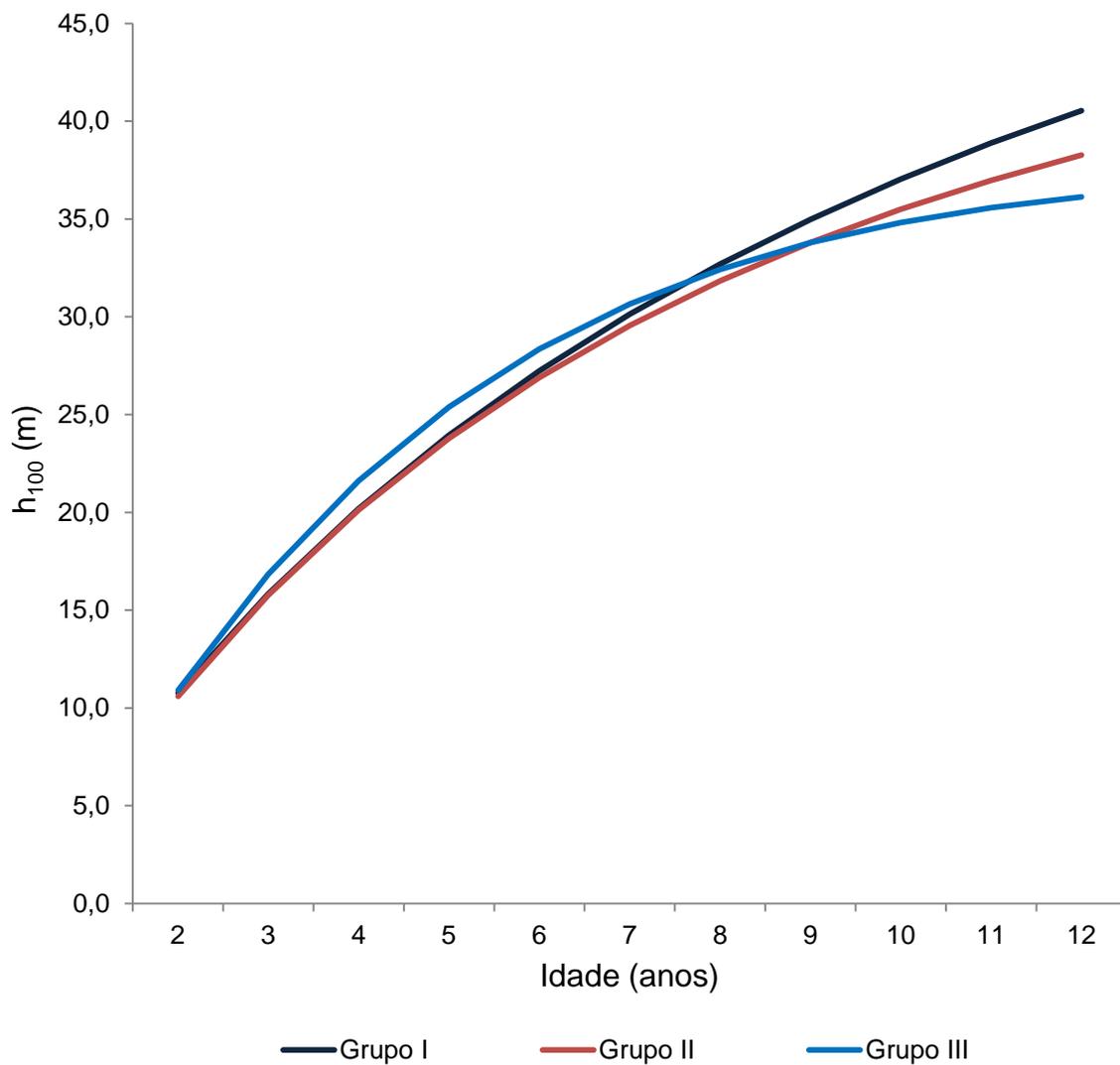


Figura 12 – Curvas médias de crescimento em altura dominante para os três grupos definidos.

#### 5.1.2.7 Curvas de índice de sítio

A partir de cada curva guia ajustada para os diferentes grupos de crescimento, construíram-se as demais curvas de índice de sítio de dois em dois metros, tomando-se como idade de referência os 7 anos.

As Tabelas 30, 31 e 32 trazem os valores de altura dominante para as idades de 2 à 12 anos para cada grupo de crescimento. Conjuntamente, as Figuras 13, 14 e 15 demonstram a forma de crescimento destas curvas em cada grupo.

Tabela 30 – Altura dominante em cada índice de sítio definido para o grupo I (clone 2864 – solos 1-2).

Idade (anos)	Índices de sítio								
	22	24	26	28	30	32	34	36	38
2	7,9	8,6	9,3	10,0	10,7	11,4	12,2	12,9	13,6
3	11,6	12,6	13,7	14,7	15,8	16,8	17,9	18,9	20,0
4	14,7	16,1	17,4	18,8	20,1	21,4	22,8	24,1	25,4
5	17,5	19,1	20,7	22,3	23,8	25,4	27,0	28,6	30,2
6	19,9	21,7	23,5	25,3	27,1	28,9	30,7	32,5	34,3
7	<b>22,0</b>	<b>24,0</b>	<b>26,0</b>	<b>28,0</b>	<b>30,0</b>	<b>32,0</b>	<b>34,0</b>	<b>36,0</b>	<b>38,0</b>
8	23,9	26,0	28,2	30,4	32,6	34,7	36,9	39,1	41,2
9	25,5	27,9	30,2	32,5	34,8	37,2	39,5	41,8	44,1
10	27,0	29,5	32,0	34,4	36,9	39,3	41,8	44,2	46,7
11	28,4	31,0	33,5	36,1	38,7	41,3	43,9	46,4	49,0
12	29,6	32,3	35,0	37,7	40,4	43,1	45,7	48,4	51,1

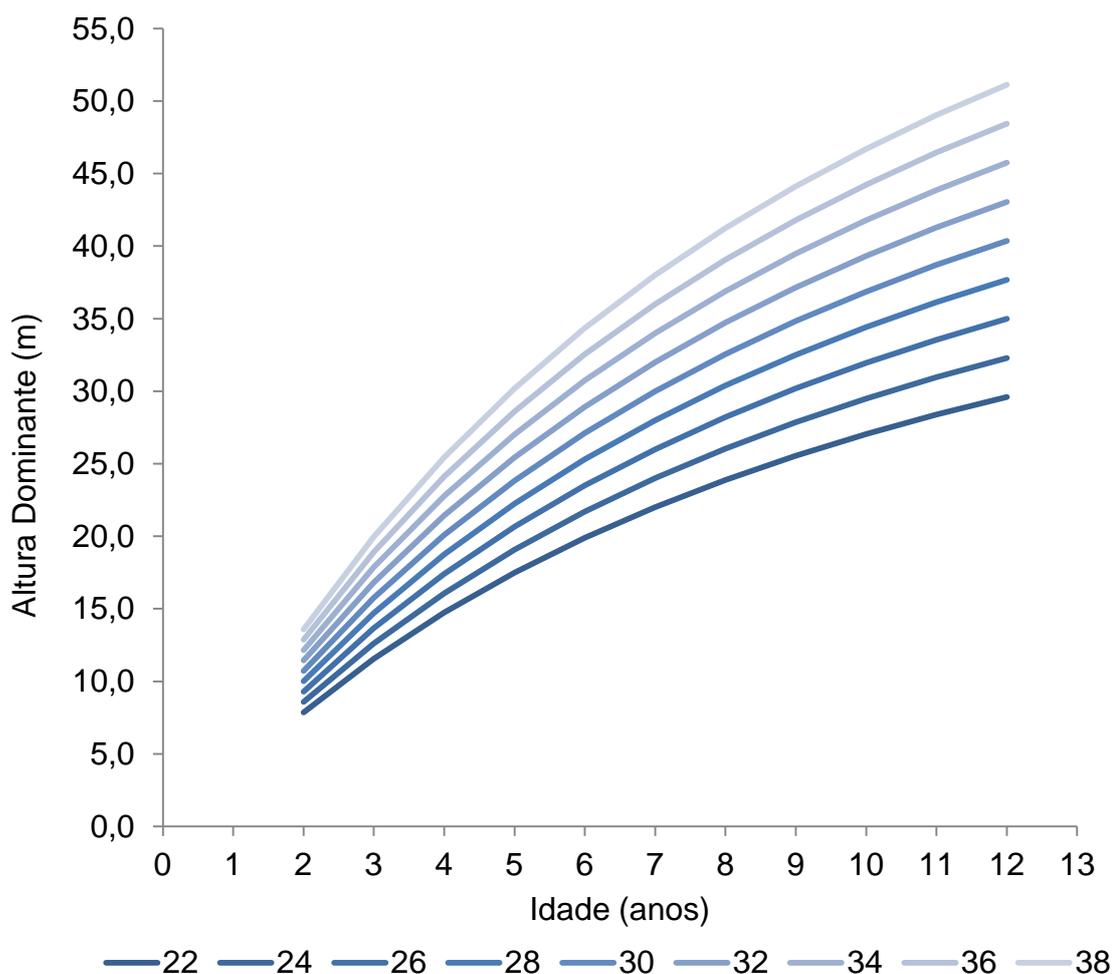


Figura 13 – Curvas de índice de sítio para o grupo I (clone 2864 – solos 1-2).

Tabela 31 – Altura dominante em cada índice de sítio definido para o grupo II (clone 2864 – solos 3-4-5).

Idade (anos)	Índices de sítio							
	22	24	26	28	30	32	34	36
2	7,9	8,6	9,3	10,0	10,8	11,5	12,2	12,9
3	11,7	12,8	13,9	14,9	16,0	17,1	18,1	19,2
4	15,0	16,3	17,7	19,1	20,4	21,8	23,1	24,5
5	17,7	19,3	20,9	22,5	24,1	25,8	27,4	29,0
6	20,0	21,8	23,7	25,5	27,3	29,1	30,9	32,8
7	<b>22,0</b>	<b>24,0</b>	<b>26,0</b>	<b>28,0</b>	<b>30,0</b>	<b>32,0</b>	<b>34,0</b>	<b>36,0</b>
8	23,7	25,8	28,0	30,2	32,3	34,5	36,6	38,8
9	25,2	27,4	29,7	32,0	34,3	36,6	38,9	41,2
10	26,4	28,8	31,2	33,6	36,0	38,4	40,8	43,2
11	27,5	30,0	32,5	35,0	37,5	40,0	42,5	45,0
12	28,5	31,1	33,7	36,3	38,8	41,4	44,0	46,6

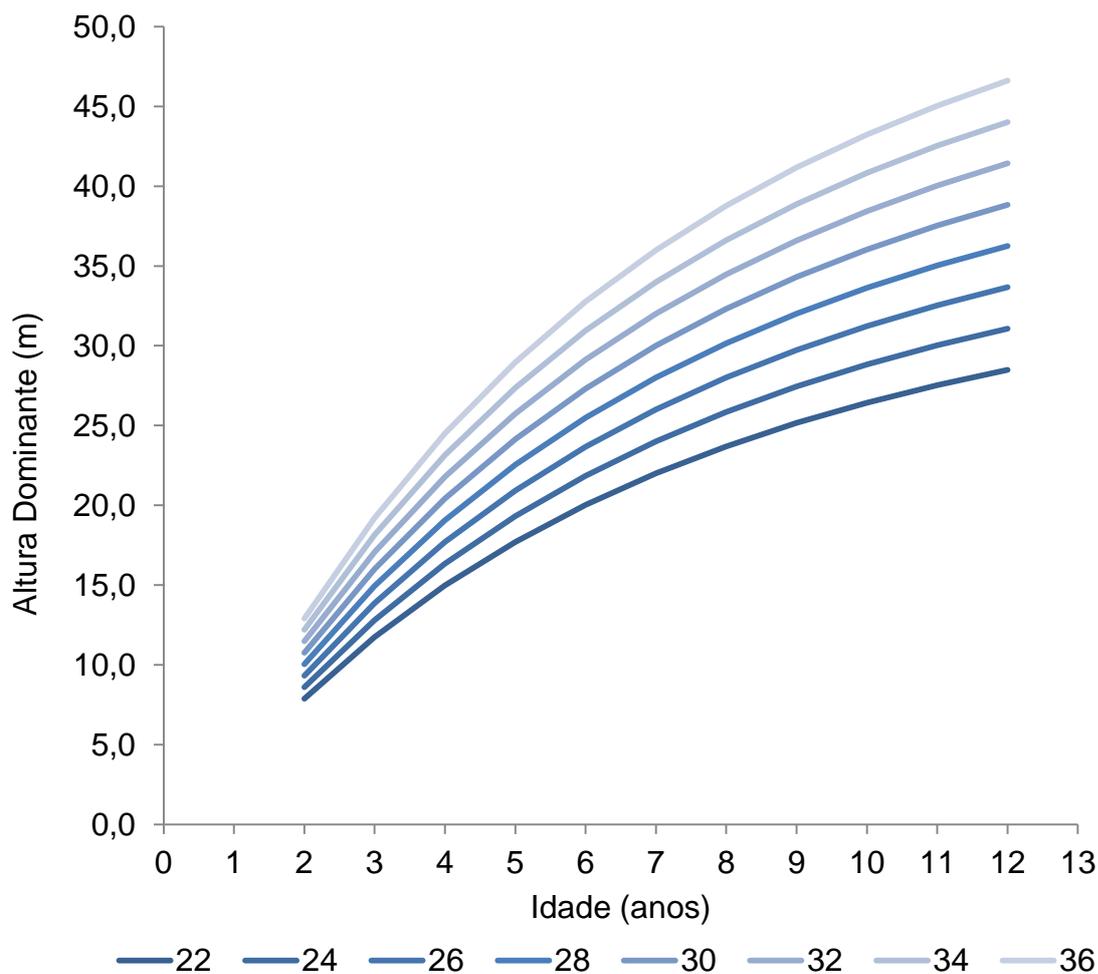


Figura 14– Curvas de índice de sítio para o grupo II (clone 2864 – solos 3-4-5).

Tabela 32 – Altura dominante em cada índice de sítio definido para o grupo III (clone 4039).

Idade (anos)	Índices de sítio							
	22	24	26	28	30	32	34	36
2	7,8	8,5	9,3	10,0	10,7	11,4	12,1	12,8
3	12,1	13,2	14,3	15,4	16,5	17,6	18,7	19,8
4	15,5	16,9	18,3	19,8	21,2	22,6	24,0	25,4
5	18,2	19,9	21,5	23,2	24,9	26,5	28,2	29,8
6	20,3	22,2	24,0	25,9	27,7	29,6	31,4	33,3
7	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0	32,0	34,0	36,0
8	23,3	25,4	27,5	29,6	31,7	33,9	36,0	38,1
9	24,3	26,5	28,7	30,9	33,1	35,3	37,5	39,7
10	25,0	27,3	29,5	31,8	34,1	36,4	38,6	40,9
11	25,5	27,9	30,2	32,5	34,8	37,1	39,5	41,8
12	25,9	28,3	30,6	33,0	35,4	37,7	40,1	42,4

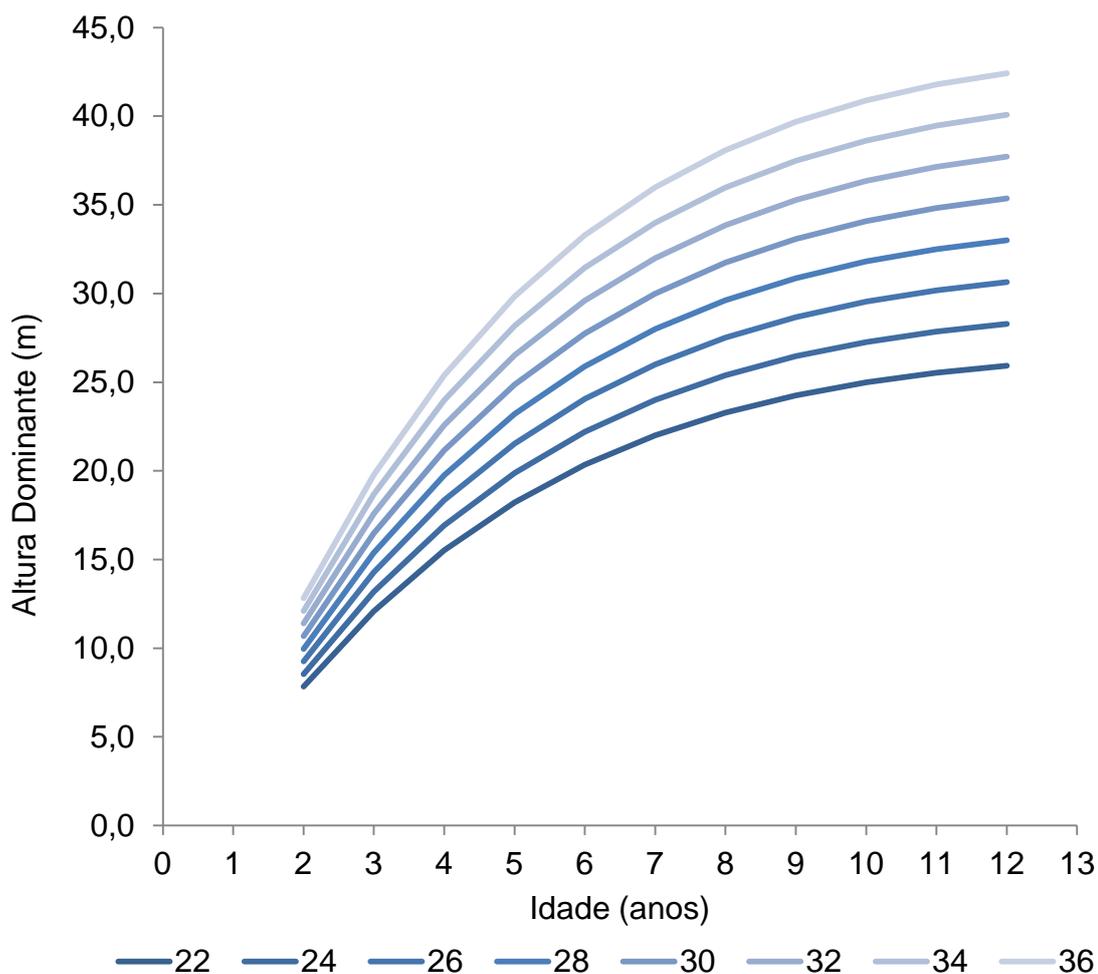


Figura 15– Curvas de índice de sítio para o grupo III (clone 4039).

## 5.2 Prognose da produção florestal

### 5.2.1 Número de árvores por hectare

As cinco diferentes funções que relacionavam o número de árvores com a idade e outros atributos do povoamento, foram ajustadas para todo o conjunto de dados. Avaliou-se (Tabela 33) as estatísticas de cada uma delas e determinou-se que a função de Pienaar e Schiver (1981), com a variável dependente logaritimizada e que agrega o índice de sítio como variável independente, apresentou os melhores resultados.

Tabela 33 – Estatísticas avaliadas nas cinco funções ajustadas para o número de árvores.

Função	Parâmetros	R <sup>2</sup> aj.	Syx	CV(%)	IF%	F
1	2	0,8418	65,99	6,06	6,1%	1213009
2	2	0,8409	66,18	6,07	6,1%	1205950
3	2	0,8247	0,066	0,95	< 0,1%	48468242
4	2	0,6588	98,49	8,91	8,9%	693182
5	3	0,6610	98,18	8,89	13,3%	465131

A função selecionada (3) foi ajustada então, para cada grupo de tendência de crescimento, gerando-se separadamente os parâmetros das amostras de ajuste e amostra total. Os parâmetros da amostra de ajuste foram utilizados para validar as estimativas sobre a amostra de validação.

A diferença percentual entre os valores estimados e observados para o número de árvores por hectare para cada classe de idade pode ser observada na Tabela 34, enquanto que a Tabela 35 demonstra as diferenças percentuais para cada classe de número de árvores iniciais na parcela.

Tabela 34 – Diferenças percentuais médias entre os valores estimados e observados do número de árvores por hectare em cada grupo de crescimento, em cada classe de idade de projeção (Idade inicial) e em cada classe de idade projetada (Idade final).

Grupo de Crescimento	Classe Idade Projeção	Diferença (%)	Classe Idade Projetada	Diferença (%)
I	0-2	1.5%	0-2	-1.4%
	2-4	0.5%	2-4	1.0%
	4-6	-0.1%	4-6	1.0%
	6-8	-0.1%	6-8	-0.1%
	8-10	- -	8-10	-0.2%
II	0-2	2.2%	0-2	-2.2%
	2-4	0.0%	2-4	1.9%
	4-6	0.8%	4-6	0.1%
	6-8	0.5%	6-8	1.1%
	8-10	2.5%	8-10	1.2%
III	0-2	1.2%	0-2	1.6%
	2-4	1.9%	2-4	1.3%
	4-6	-0.3%	4-6	1.9%
	6-8	-0.6%	6-8	-0.4%
	8-10	- -	8-10	-0.6%
Total Geral		1.1%		1.1%

\* Sendo: Classe Idade de Projeção = Idade inicial; Classe Idade Projetada = Idade final.

Pode-se observar pelos valores médios dos desvios, que todas as classes de idade (tanto as classes de idade de projeção e as classes de idade projetada) apresentam desvios baixos. Da mesma forma, quando se verifica a média dos desvios para cada classe de número inicial de árvores estes se apresentam baixos e de forma não tendenciosa. O número de observações avaliadas em cada classe também permite recomendar que o modelo seja utilizado para um intervalo de número de árvores entre 800 até 1500 árvores por hectare. A acuracidade do

modelo acima ou abaixo destes limites não está validada, visto que existem muito poucos dados de parcelas permanentes com esta característica.

Tabela 35 – Diferenças percentuais médias entre os valores estimados e observados do número de árvores por hectare em cada grupo de crescimento e em cada classe de número de árvores (inicial).

Grupo de Crescimento	Classe Número de Árvores/ha	Diferença (%)	Nº de Obs.
I	500-800	-2.4%	2
	800-1000	-0.8%	23
	1000-1200	1.1%	323
	1200-1400	0.7%	266
	1400-1600	1.2%	72
	1600-1800	3.4%	4
II	800-1000	-1.4%	2
	1000-1200	2.4%	124
	1200-1400	-0.2%	122
	1400-1600	1.0%	32
III	500-800	11.9%	3
	800-1000	2.2%	32
	1000-1200	1.1%	440
	1200-1400	1.5%	259
	1400-1600	2.0%	60
	1600-1800	1.5%	4
Total geral		1.1%	1768

A dispersão dos desvios percentuais entre os valores observados na amostra de validação e os valores estimados pelas funções ajustadas para cada grupo, podem ser observados na Figura 16, a qual contempla todos os grupos de crescimento. Nesta observa-se que a maior dispersão ocorre nas idades mais jovens onde a mortalidade ocorre por fatores outros que não a competição entre indivíduos,

comportamento que pode ser considerado normal. À medida que a idade avança, as estimativas tornam-se mais próximas à média dos desvios, fazendo com que a tendência geral possa ser considerada sem desvios durante todo o horizonte analisado.

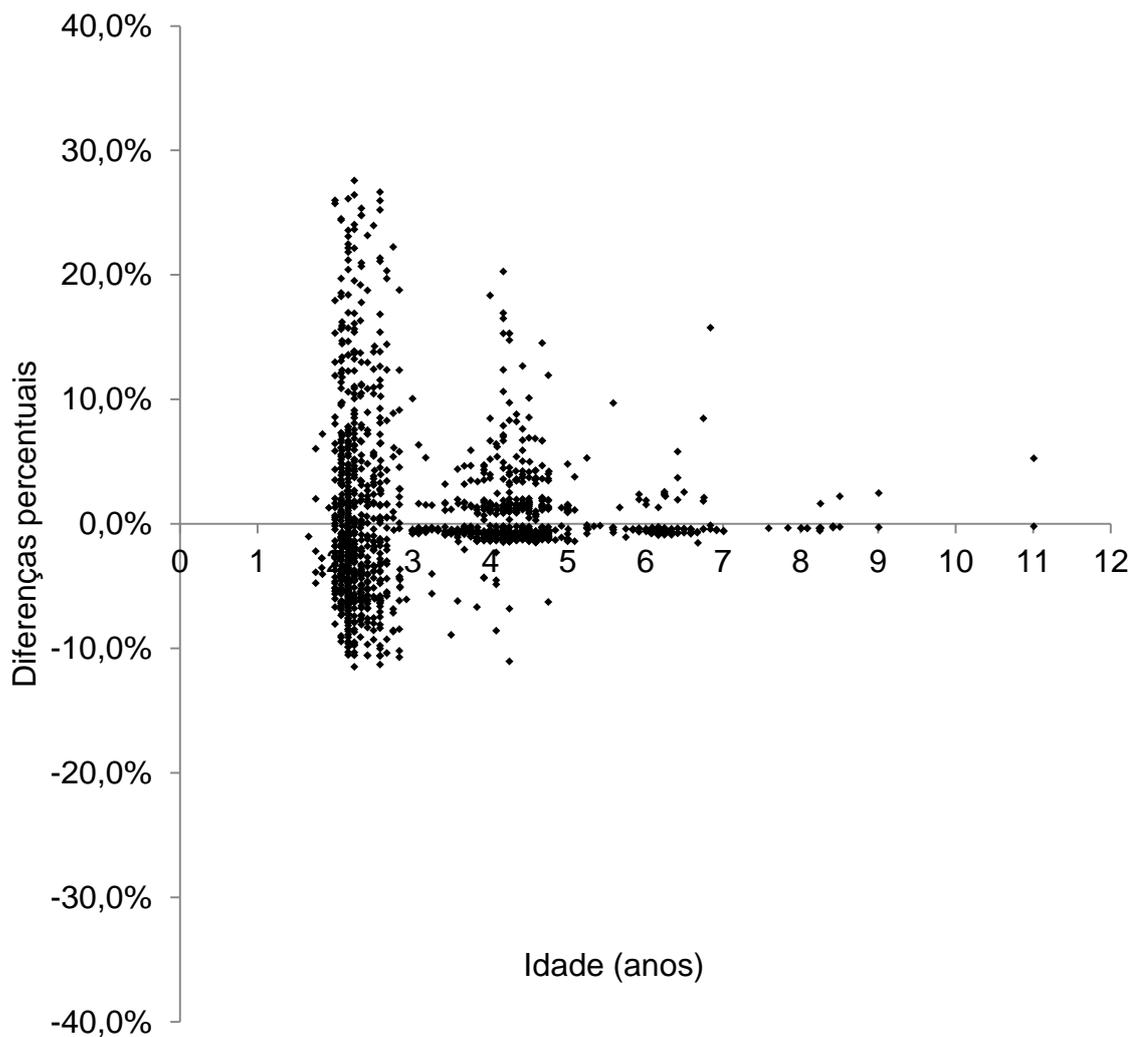


Figura 16 – Dispersão dos desvios percentuais entre o número de árvores observado e o estimado na amostra de validação, para todos os grupos de crescimento.

A Tabela 36 traz a análise de variância do ajuste da função para cada grupo de crescimento, enquanto que a Tabela 37 demonstra os parâmetros ajustados para cada grupo com a amostra total.

Tabela 36 – Análise de variância do ajuste do modelo de Pienaar e Schiver para cada grupo de crescimento.

Grupo	FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
I	Modelo	2	91653.4	45826.7	7.50E+07	<.0001
	Erro	1865	1.1394	0.000611		
	Total	1867	91654.5			
II	Modelo	2	39744.6	19872.3	2.81E+07	<.0001
	Erro	808	0.5712	0.000707		
	Total	810	39745.2			
III	Modelo	2	107781	53890.3	1.67E+07	<.0001
	Erro	2244	7.2267	0.00322		
	Total	2246	107788			

Tabela 37 – Coeficientes finais ajustados para cada grupo de crescimento.

Parâmetro/Grupo	I	II	III
$b_0$	0.514000	0.413800	0.247400
$b_1$	0.000723	0.000888	0.002600

Posteriormente, analisaram-se as tendências das curvas médias de mortalidade estimadas para os diferentes grupos de crescimento e índices de sítio. Considerando-se um índice de sítio aos 7 anos de 30 m, e um número inicial de plantas de 1111 (densidade inicial padrão para os clones avaliados), avaliou-se as curvas de mortalidade para cada grupo de crescimento. As curvas podem ser observadas na Figura 17, na qual se percebe que os grupos de crescimento I e II praticamente não diferiram entre si no comportamento do número de árvores ao longo do tempo, sinalizando que esse comportamento é única e exclusivamente

devido às características do material genético, já que o grupo III (clone 4039) apresentou comportamento bastante distinto, demonstrando mortalidade em função da idade.

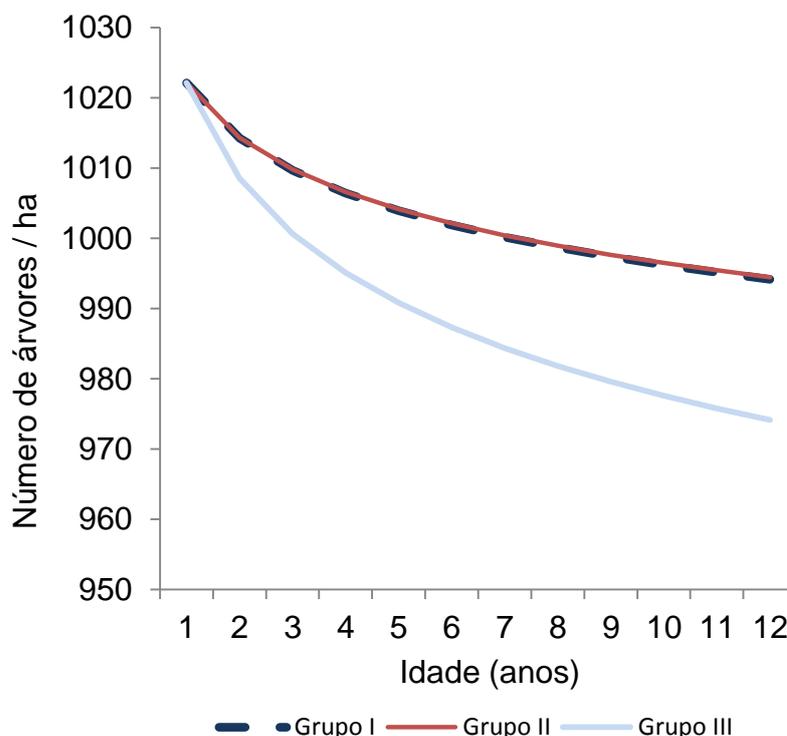


Figura 17 – Curvas de número de árvores por hectare para os três grupos de crescimento considerando um índice de sítio de 30 m (7 anos) e um número inicial de árvores igual a 1111.

As Figuras 18, 19 e 20 mostram as curvas do número de árvores por hectare em diferentes índices de sítio, considerando o mesmo número inicial de árvores (1111) para os grupos de crescimento I, II e III, respectivamente. Nestas pode-se observar que a tendência, para todos os grupos, é que a mortalidade de árvores seja maior nos melhores sítios. Essa tendência bastante clara vai ao encontro da literatura técnica, no sentido de que nestes melhores sítios a competição entre os indivíduos se estabelece mais cedo, favorecendo a mortalidade daquelas árvores suprimidas ou dominadas. (TONINI, 2003; CAMPOS e LEITE, 2009)

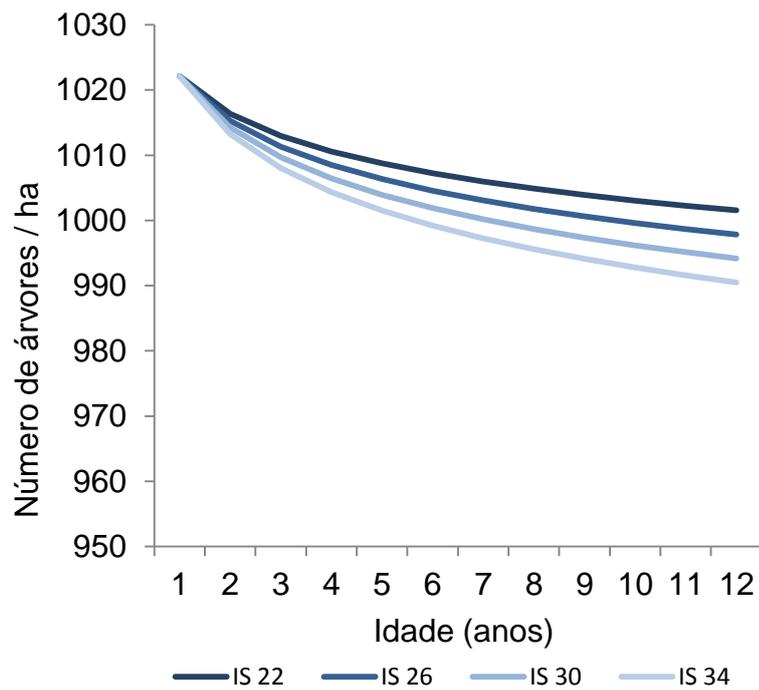


Figura 18 – Curvas do número de árvores por hectare em cada sítio para o grupo de crescimento I.

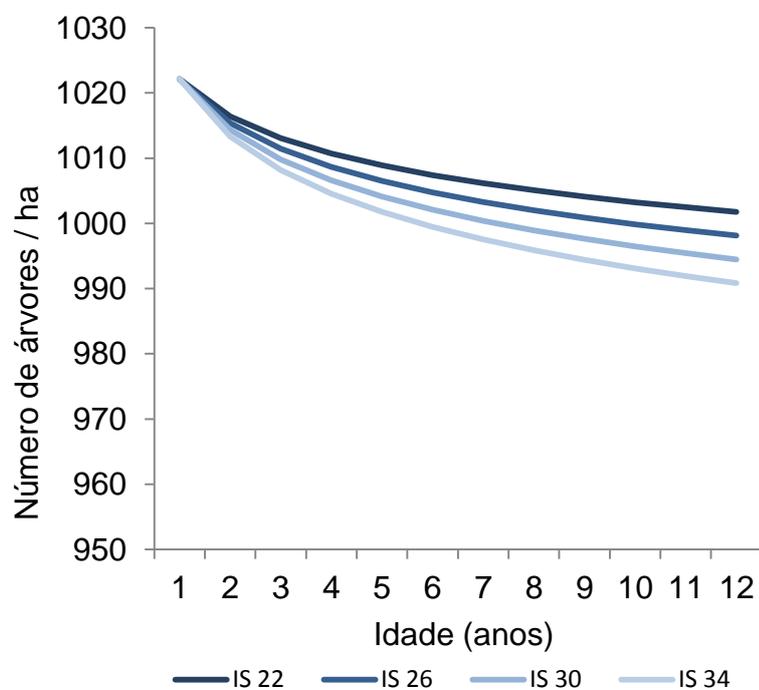


Figura 19 – Curvas do número de árvores por hectare em cada sítio para o grupo de crescimento II.

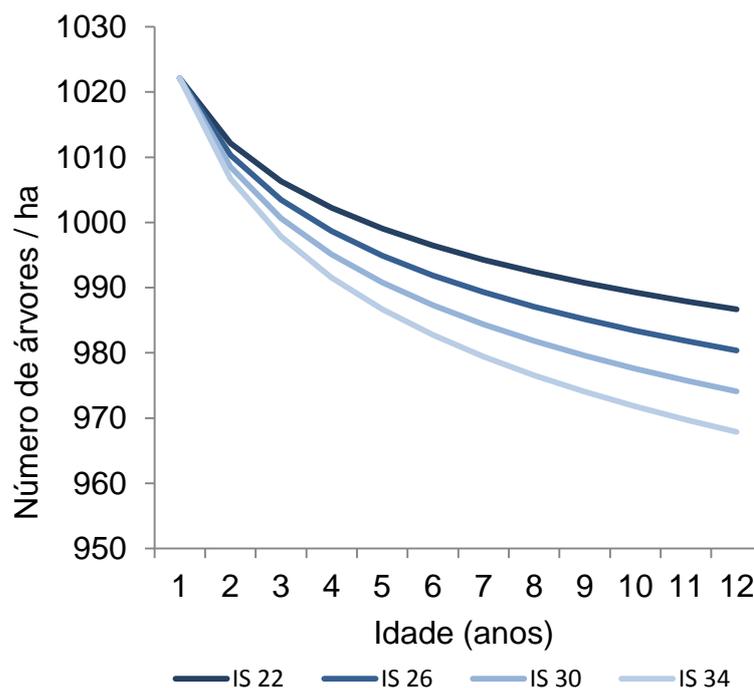


Figura 20 – Curvas do número de árvores por hectare em cada sítio para o grupo de crescimento III.

### 5.2.2 Diâmetro quadrático e área basal

A Tabela 38 abaixo, demonstra as estatísticas do ajuste das funções de Kira com 3 e 4 parâmetros para todo o conjunto de dados. Observa-se que a função de 3 parâmetros apresentou as melhores estatísticas de ajuste e, portanto foi selecionada para o ajuste por grupo de crescimento e para a validação sobre a base de dados independente.

Tabela 38 – Estatísticas avaliadas nas funções de Kira com 3 e 4 parâmetros para descrever o diâmetro quadrático médio.

	Função	R <sup>2</sup> aj.	Syx	CV(%)	F
1	Kira - 3 parâmetros	0.9487	0.84869	6.40%	951787.4
2	Kira - 4 parâmetros	0.9286	1.00144	7.55%	511921.5

A função de Kira com 3 parâmetros foi então ajustada para cada grupo de crescimento em altura dominante. O ajuste foi realizado primeiramente utilizando-se apenas os dados das amostras de ajuste. Os coeficientes gerados neste ajuste foram utilizados para validar as estimativas sobre a amostra de validação que são demonstradas na Tabela 39.

As diferenças percentuais entre os diâmetros observados e os estimados (Tabela 39), tanto pela função geral, quanto pela ajustada para cada grupo em separado, se equivalem. Isso indicaria que um ajuste único (para todos os grupos de crescimento) poderia ser utilizado para estimar os diâmetros em todos os grupos de crescimento. Há entretanto uma tendência de superestimativa para as maiores classes de idade para os grupos I e II, representada pelos valores de 2,7%, 6,1%, 2,86% e 3,86% para as classes de idade 6-8, 8-10 (do grupo I) e classes 6-8, 8-10 (do grupo II), respectivamente.

Tabela 39 – Diferenças percentuais entre os diâmetros observados nas amostras de validação e os diâmetros estimados pela função ajustada para cada grupo e pela função ajustada para todos os grupos em conjunto.

Grupo de Crescimento	Classe de idade	Desvio % - Função por grupo	Desvio % - Função única
I	2-4	1.25%	0.95%
	4-6	-1.80%	-2.52%
	6-8	3.72%	2.70%
	8-10	7.23%	6.10%
II	2-4	1.41%	3.64%
	4-6	-1.35%	-0.35%
	6-8	2.41%	2.86%
	8-10	3.97%	3.86%
III	2-4	0.46%	-0.30%
	4-6	-1.22%	-0.93%
	6-8	1.51%	2.19%
	8-10	-6.53%	-5.68%
Total geral		0.19%	0.15%

Como a função de Kira para o diâmetro quadrático médio é estimada pelas variáveis independentes  $h_{100}$  e  $N$ , os desvios percentuais foram plotados sobre estas variáveis como forma de identificar a possível ocorrência desta superestimativa. As Figuras 21 e 22 trazem os desvios percentuais plotados sobre os valores reais de altura dominante e número de árvores por hectare, respectivamente.

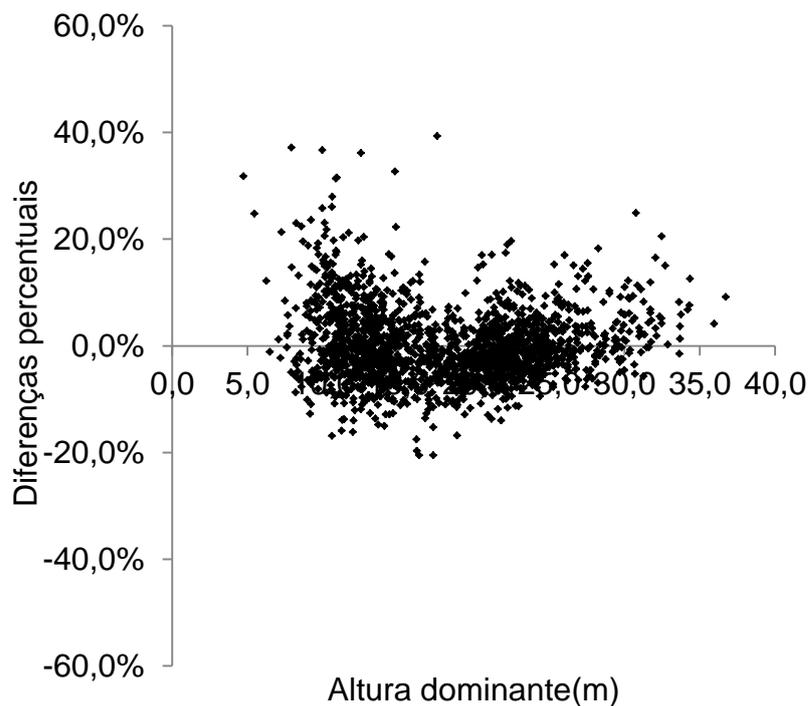


Figura 21 – Dispersão das diferenças percentuais entre os valores de  $d_g$  estimados pela função de Kira com 3 parâmetros e os  $d_g$  observados, em função da altura dominante observada.

Observa-se na Figura 21 que para as menores alturas e para as maiores, há uma tendência de superestimativa nos valores de  $d_g$ , enquanto que para os valores intermediários de altura dominante há uma concentração abaixo da linha de 0,0%, indicando possível subestimativa. A Figura 22, entretanto não demonstra tendência nas estimativas de  $d_g$  em função do número de árvores, visto que ocorre uma distribuição uniforme das variações ao longo do eixo de dispersão.

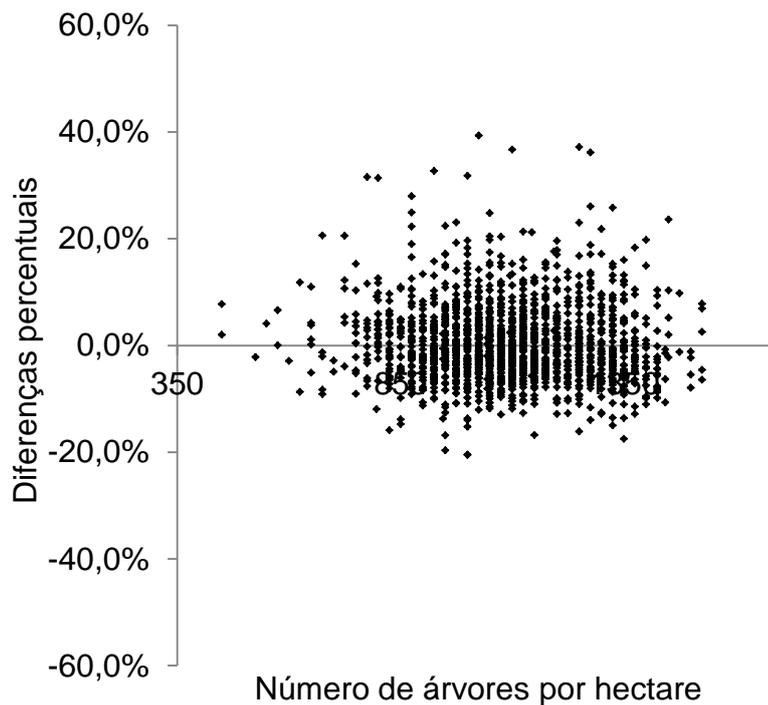


Figura 22 – Dispersão das diferenças percentuais entre os valores de dg estimados pela função de Kira com 3 parâmetros e os dg observados, em função do número de árvores observado.

Adicionalmente, e como alternativa à utilização da função de Kira, procedeu-se uma análise através do procedimento Stepwise do software SAS, a fim de detectar quais variáveis e suas transformações poderiam ser utilizadas para, através do ajuste de uma função linear, estimar os valores de dg sem a tendenciosidade apresentada pela função de Kira.

As variáveis idade, número de árvores, altura dominante e suas transformações foram testadas com o conjunto de dados de ajuste e com o conjunto total para todos os grupos de crescimento conjuntamente, já que o prévio ajuste da função de Kira demonstrou que uma função única poderia estimar os dg para todos os grupos. As Tabelas 40 e 41 trazem as estatísticas das variáveis incluídas no modelo por meio do procedimento citado e os parâmetros estimados para a amostra de ajuste.

Tabela 40 – Passos de seleção das variáveis transformadas para modelagem do diâmetro quadrático médio.

Passo	Variável adicionada	Variável Removida	R <sup>2</sup> Parcial	R <sup>2</sup>	C(p) Mallow	F	Pr > F
1	ln(h <sub>100</sub> )	--	0.936	0.936	4260.9	131611	<.0001
2	1/N	--	0.016	0.952	918.5	3038.1	<.0001
3	ln(t)	--	0.004	0.956	41.92	874.96	<.0001
4	1/h <sub>100</sub>	--	0.0001	0.956	31.73	12.16	0.0005
5	(h <sub>100</sub> ) <sup>2</sup>	--	0.0001	0.956	5.92	27.81	<.0001

Tabela 41 – Parâmetros estimados para a amostra de ajuste considerando as variáveis incluídas no modelo via procedimento stepwise.

Parâmetro	Estimativa	Erro	SS II	F	Pr > F
Intercepto	-20.28164	1.10574	212.793	336.44	<.0001
ln(h <sub>100</sub> )	9.99309	0.34808	521.307	824.21	<.0001
1/N	3169.11594	56.39111	1997.61	3158.31	<.0001
ln(t)	1.40104	0.06286	314.162	496.71	<.0001
1/h <sub>100</sub>	21.53538	3.40608	25.2843	39.98	<.0001
(h <sub>100</sub> ) <sup>2</sup>	-0.0009885	0.0001874	17.5902	27.81	<.0001

Os parâmetros da amostra de ajuste foram então aplicados sobre a base de validação, obtendo-se os dg estimados. As Figuras 23 e 24 demonstram a distribuição dos desvios percentuais entre os dg estimados e observados, em função da altura dominante e do número de árvores, assim como realizado para a função de Kira. Nestes observa-se que a tendenciosidade apresentada pelo modelo de Kira foi solucionada, visto que os desvios percentuais em função da altura dominante encontram-se regularmente distribuídos conforme o aumento da altura dominante.

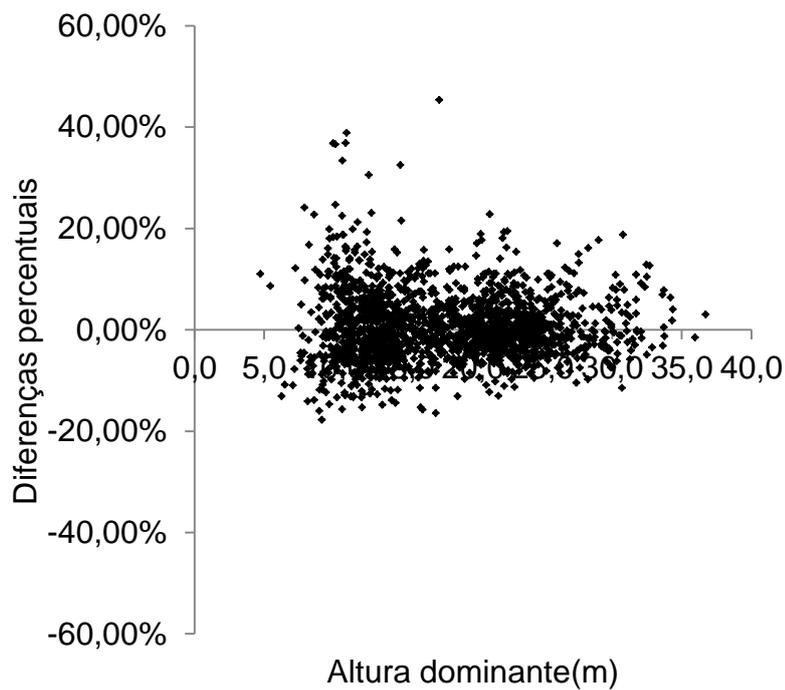


Figura 23 – Dispersão das diferenças percentuais entre os valores de dg estimados pela função construída e os dg observados, em função da altura dominante observada.

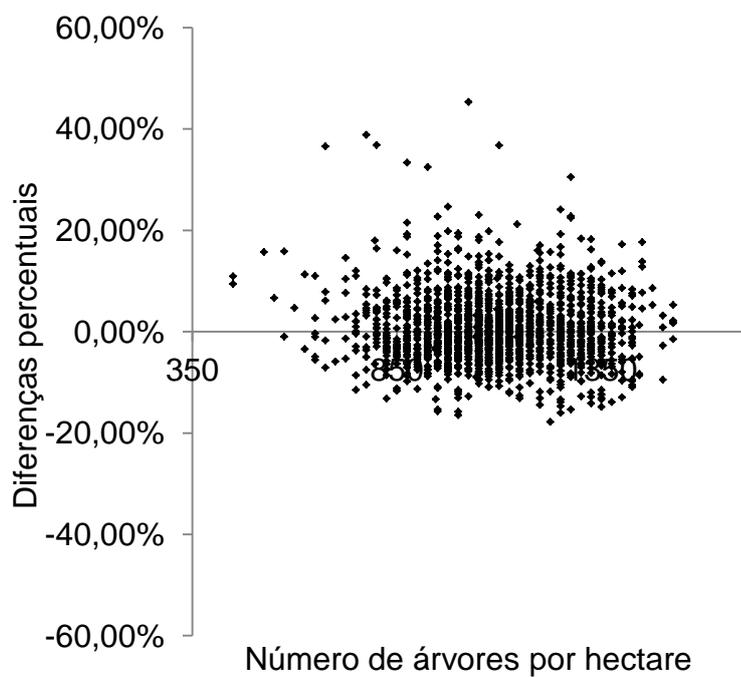


Figura 24 – Dispersão das diferenças percentuais entre os valores de dg estimados pela função construída e os dg observados, em função do número de árvores observado.

Posterior à validação da função construída, e considerando-se a amostra de ajuste como balizadora na seleção das variáveis, ajustou-se um modelo de regressão linear com as variáveis selecionadas para a amostra total. A análise de variância do modelo pode ser visualizada na Tabela 42, enquanto que a Tabela 43 mostra os parâmetros estimados para a amostra total. O elevado valor da estatística F e os valores de significância para cada parâmetro menores que 0,0001% ratificam a eficiência do modelo construído para estimar os diâmetros quadráticos sem tendenciosidades para todos os grupos de crescimento.

Tabela 42 – Análise de variância para o ajuste da função construída via procedimento stepwise e para a amostra total.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Modelo	5	145442	29088	45565.2	<.0001
Erro	10845	6923.33689	0.63839		
Total Corrigido	10850	152365			

Tabela 43 – Parâmetros estimados para a amostra total considerando as variáveis incluídas no modelo via procedimento stepwise.

Parâmetro	GL	Estimativa	Erro	t	Pr>t
Intercepto	1	-21.09011	1.04096	-20.26	<.0001
ln(h100)	1	10.27018	0.32713	31.39	<.0001
1/N	1	3135.08505	51.297	61.12	<.0001
ln(t)	1	1.36448	0.05742	23.76	<.0001
1/h100	1	23.85969	3.21318	7.43	<.0001
(h100) <sup>2</sup>	1	-0.00113	0.000177	-6.38	<.0001

Considerando que a variável dg foi modelada como uma função da idade, da altura dominante e do número de árvores [ $dg=f(idade, h_{100}, N)$ ], que a área basal foi calculada em função do dg e do número de árvores por hectare, e ainda que as variáveis independentes da função de dg tiveram suas estimativas validadas

anteriormente, fez-se uma análise do comportamento do dg e da área basal em função do número de árvores e do índice de sítio. As Figuras 25, 26 e 27 mostram a variação do dg para os grupos I, II e III, respectivamente, para diferentes densidades iniciais de plantio e sítios.

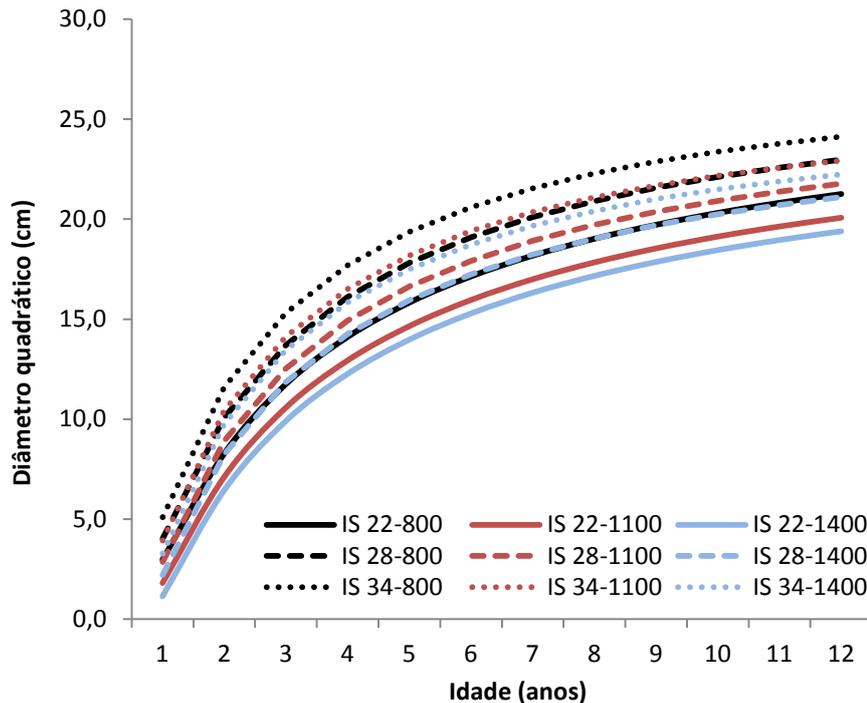


Figura 25 – Comportamento do dg para o grupo de crescimento I em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores.

Os menores valores de dg foram encontrados nas maiores densidade iniciais de plantio e nos piores sítios, mostrando tendência lógica. Percebe-se também que as curvas de crescimento em diâmetro nos piores sítios, mas com menores densidades de plantio, praticamente coincidem ou tem valores superiores do que aquelas em sítios melhores, porém com maior número inicial de árvores. Como exemplo, a curva de crescimento em diâmetro do IS 22 e 800 árvores por hectare é praticamente idêntica à curva do IS 28 e 1400 árvores por hectare. O aumento de 75% na densidade de plantio não foi suportado pela melhora na qualidade do sítio, fazendo assim com que os mesmos tivessem comportamentos semelhantes.

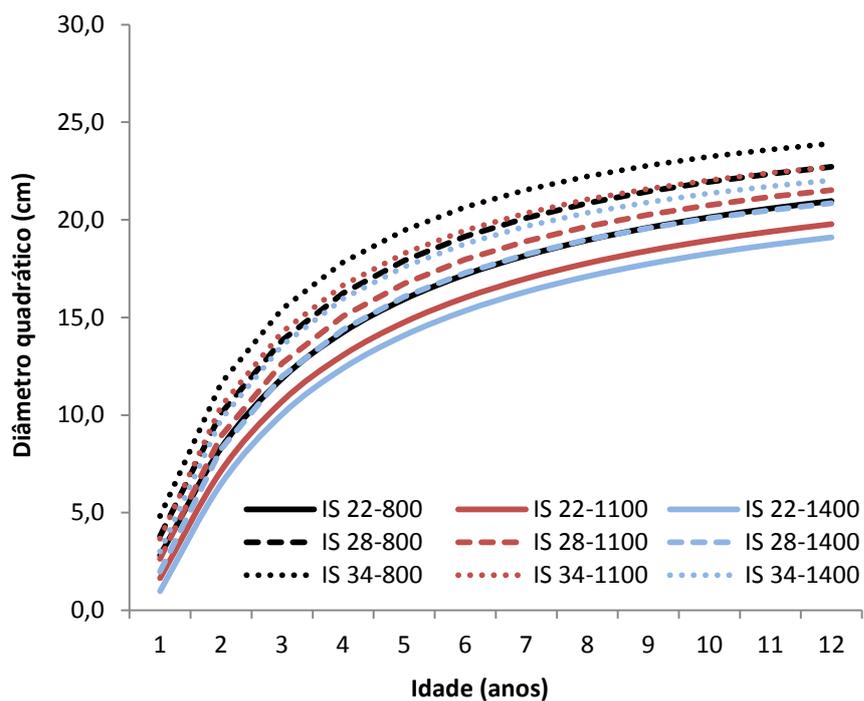


Figura 26 – Comportamento do dg para o grupo de crescimento II em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores.

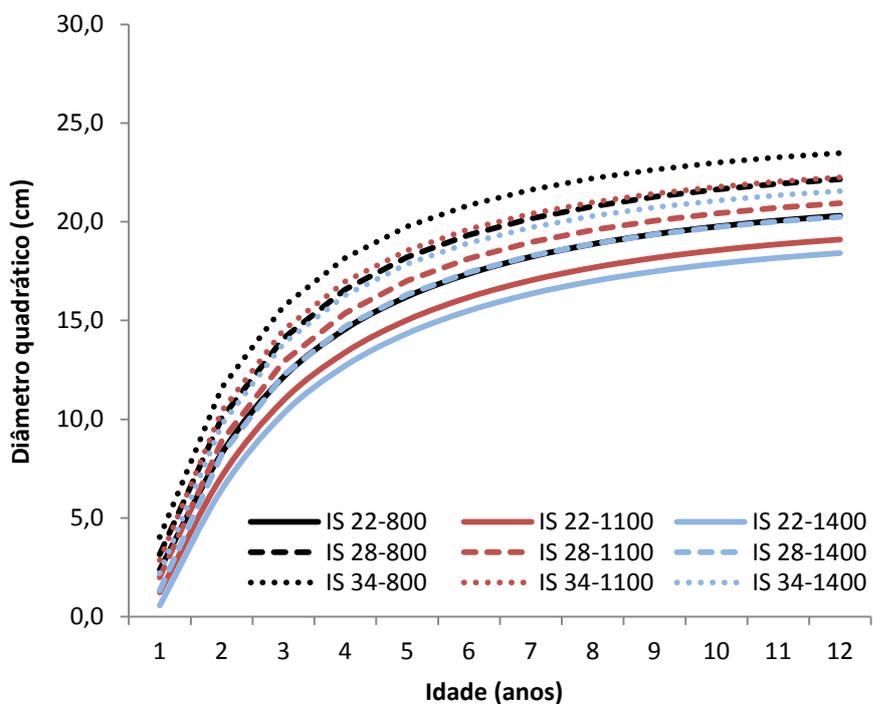


Figura 27 – Comportamento do dg para o grupo de crescimento III em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores.

Quando se analisa o comportamento geral para densidades iniciais e sítios distintos, percebe-se que todos os três grupos de crescimento apresentaram comportamentos semelhantes. Como tendência geral, o grupo III apresentou um crescimento em diâmetro mais assintótico que os demais, influenciado por dois fatores: O primeiro deles devido à diferente tendência de crescimento em altura dominante, e o segundo à distinta curva de mortalidade demonstrada para o clone que constitui o grupo III.

Da mesma forma que a variável dg, o comportamento da área basal também foi verificado através das simulações com diferentes índices de sítio e número inicial de árvores para cada grupo de crescimento. As Figuras 28, 29 e 30 demonstram estas tendências.

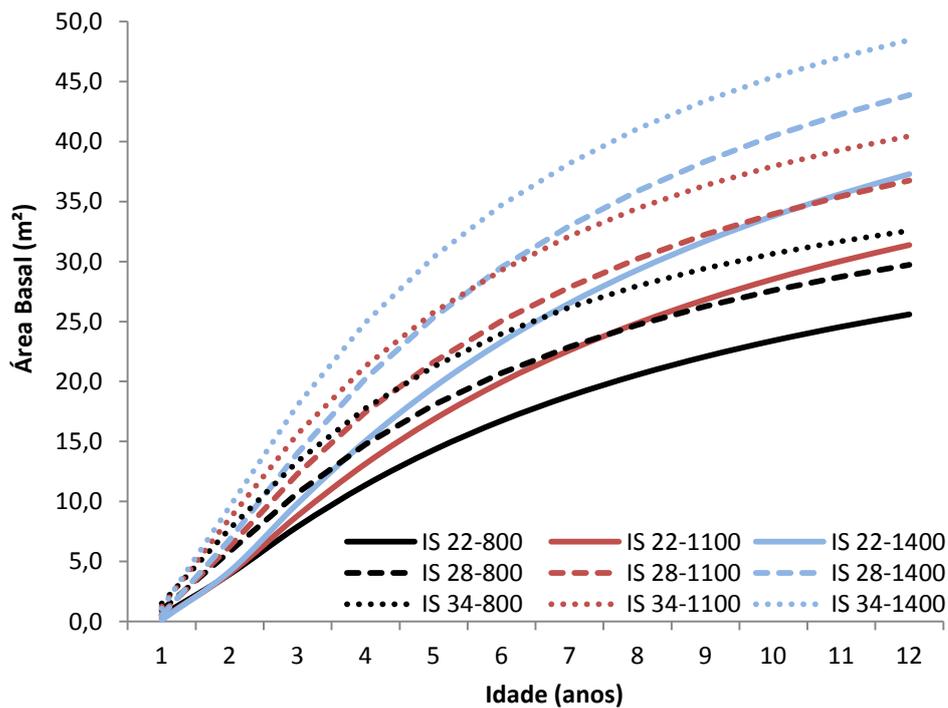


Figura 28 – Comportamento da área basal para o grupo de crescimento I em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores.

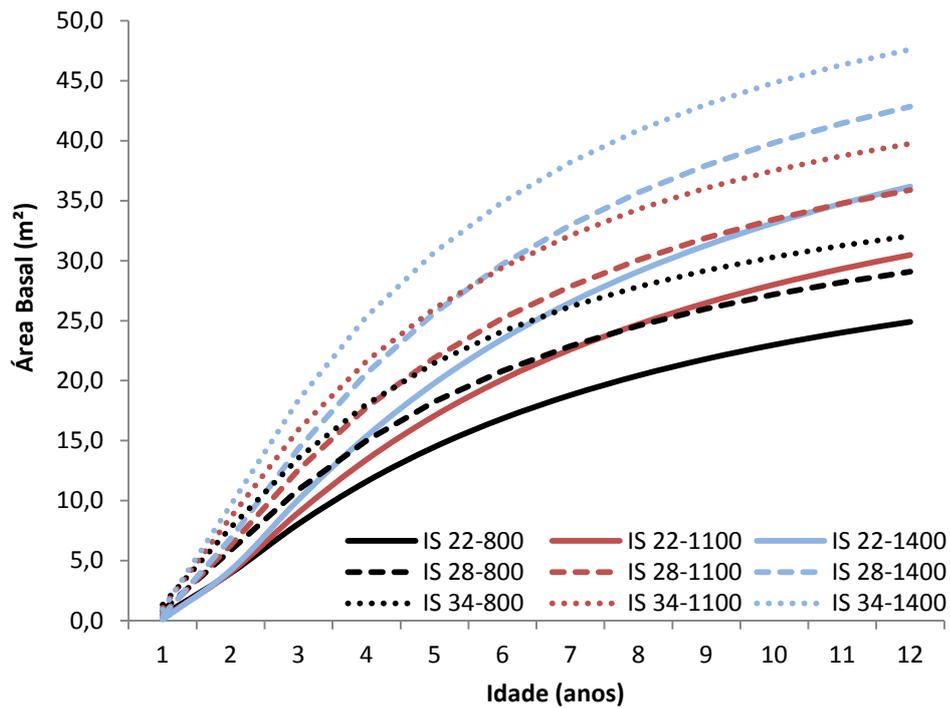


Figura 29 – Comportamento da área basal para o grupo de crescimento II em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores.

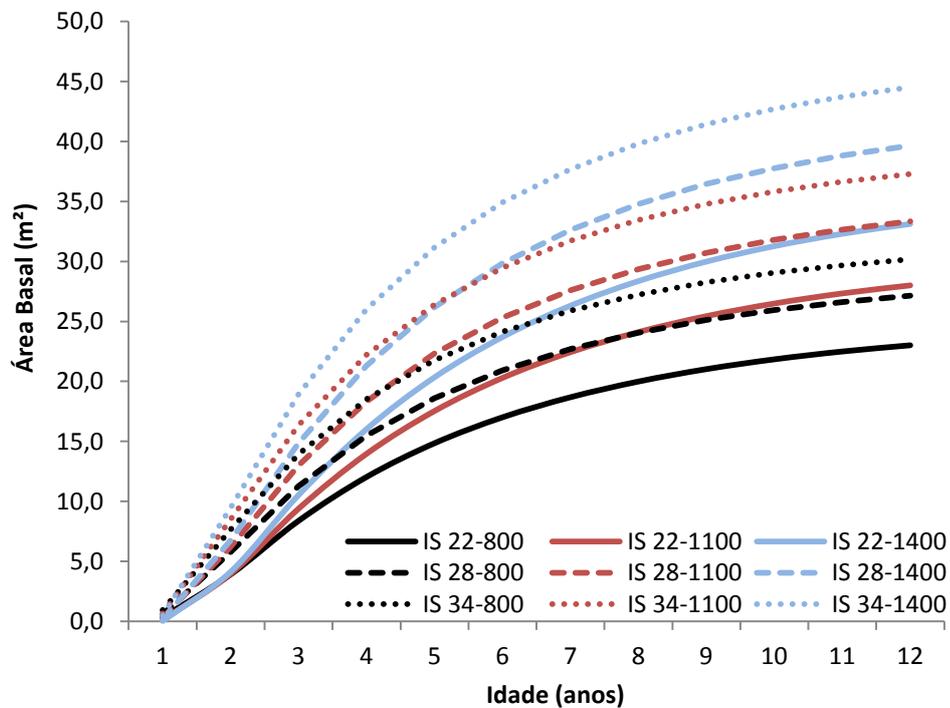


Figura 30 – Comportamento da área basal para o grupo de crescimento III em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores.

Pelo comportamento geral dos três grupos pode-se concluir que o número inicial de árvores por hectare mostrou ser mais significativo para o acúmulo final da área basal. Mesmo sítios ruins, mas com elevado número de árvores (ex. Sítio 22 com 1400 árvores por hectare) apresentaram área basais superiores (após os 7 anos) aos sítios melhores, porém com menor número de árvores. (ex. Sítio 34 com 800 árvores por hectare). Este comportamento deve, no entanto, ser diferente quando da análise do comportamento do volume. A produção tende a diferenciar-se mais entre um sítio e outro, visto que além da área basal, a altura das árvores é fator de acúmulo de volume.

Entre os grupos de crescimento também se pode observar diferenças no crescimento em área basal, demonstradas pela Figura 31, na qual o grupo III diferencia-se dos demais devido provavelmente aos mesmos motivos relatados quando da análise do comportamento do diâmetro quadrático médio.

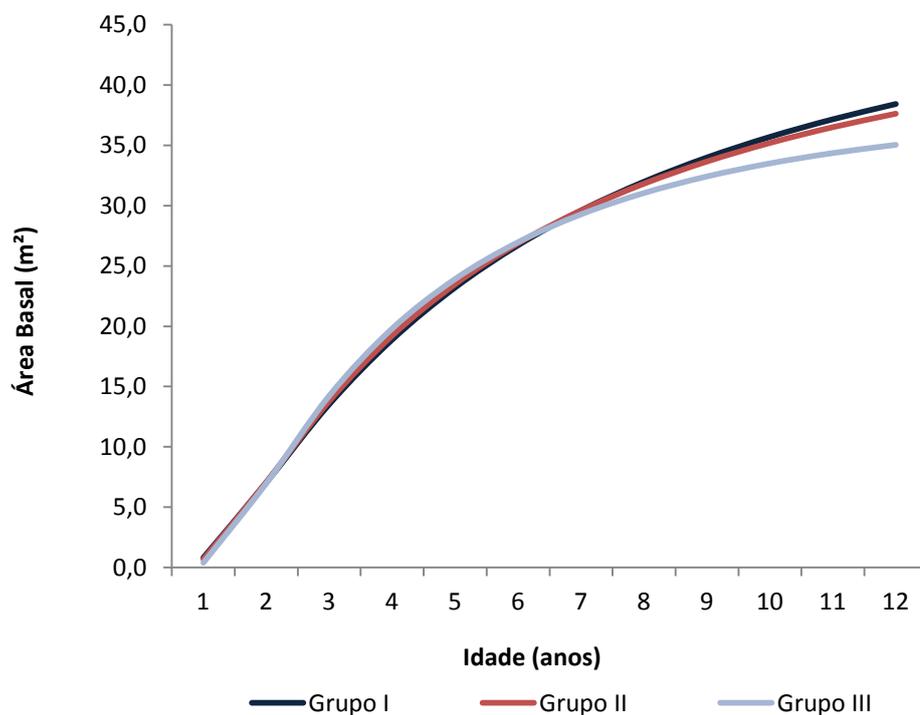


Figura 31 – Comportamento da área basal para cada grupo de crescimento, a partir de um índice de sítio de 30 m aos 7 anos e número inicial de árvores de 1111.

### 5.2.3 Volume de madeira com e sem casca

Os volumes de madeira com e sem casca foram estimados pela função de Buckman. Esta função foi, da mesma forma que as funções de dg e número de árvores por hectare, ajustada com um conjunto de dados para ajuste e posteriormente aplicada sobre a amostra de validação. A Tabela 44 demonstra as médias das diferenças percentuais entre os volumes observados e estimados, com e sem casca, para os três grupos de crescimento definidos e por classe de idade.

Tabela 44 – Diferenças percentuais entre os volumes observados nas amostras de validação e os volumes estimados pela função de Buckman.

Grupo Sítios	Classe de Idade	Média da Dif.% Volume_cc	Média da Dif.% Volume_sc	Nº de Observações
I	2-4	1.58%	1.96%	385
	4-6	-0.75%	-0.76%	236
	6-8	0.33%	0.33%	27
	8-10	3.29%	3.32%	14
II	2-4	2.37%	2.62%	127
	4-6	-0.67%	-0.68%	102
	6-8	1.65%	1.63%	26
	8-10	5.47%	5.61%	7
III	2-4	0.12%	0.16%	390
	4-6	-0.43%	-0.46%	324
	6-8	0.44%	0.45%	68
	8-10	-0.41%	-0.36%	1
Total		0.43%	0.54%	1707

Observa-se que os desvios ficaram em todas as classes, satisfatoriamente baixos. Apenas a classe de idade 8-10 anos do grupo 2 apresentou desvio superior (5,47% e 5,61% para volume com e sem casca, respectivamente). Entretanto, nesta

classe, assim como na classe 8-10 anos do grupo 3, o número de observações é menor, o que pode fazer com que estes desvios sofram maiores flutuações.

As Figuras 32, 33 e 34 mostram a dispersão dos desvios percentuais para as estimativas dos volumes com e sem casca em função do índice de sítio calculado, da altura dominante e da área basal (as duas últimas, variáveis independentes do modelo) para os três grupos de crescimento conjuntamente.

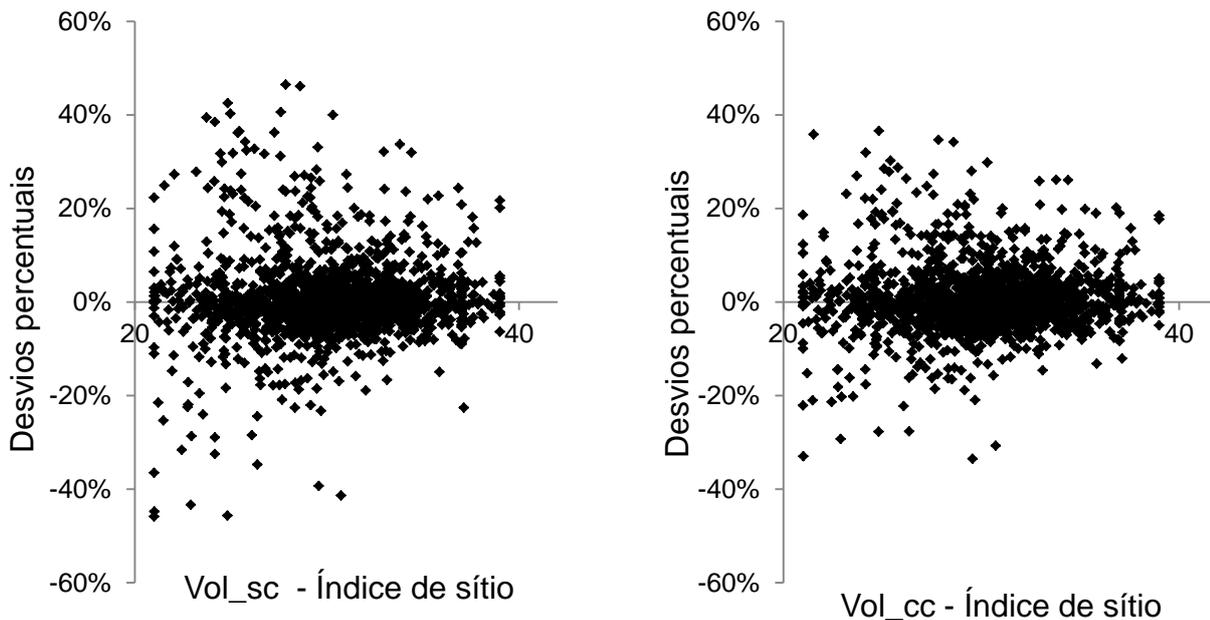


Figura 32 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados, em função dos índices de sítio calculados para cada amostra de validação (parcela).

Em que: Vol\_sc – Volume sem casca; Vol\_cc – Volume com casca.

O que se observa nas três figuras de dispersão dos resíduos do modelo, é que o mesmo não apresenta tendências contra quaisquer variáveis analisadas. Enquanto que para cada índice de sítio os desvios são constantes, a dispersão contra a área basal e altura dominante mostra-se maior nos menores valores destas variáveis, o que deve ser considerado normal, visto que pequenas diferenças absolutas em volume nesta fase representam grandes variações percentuais.

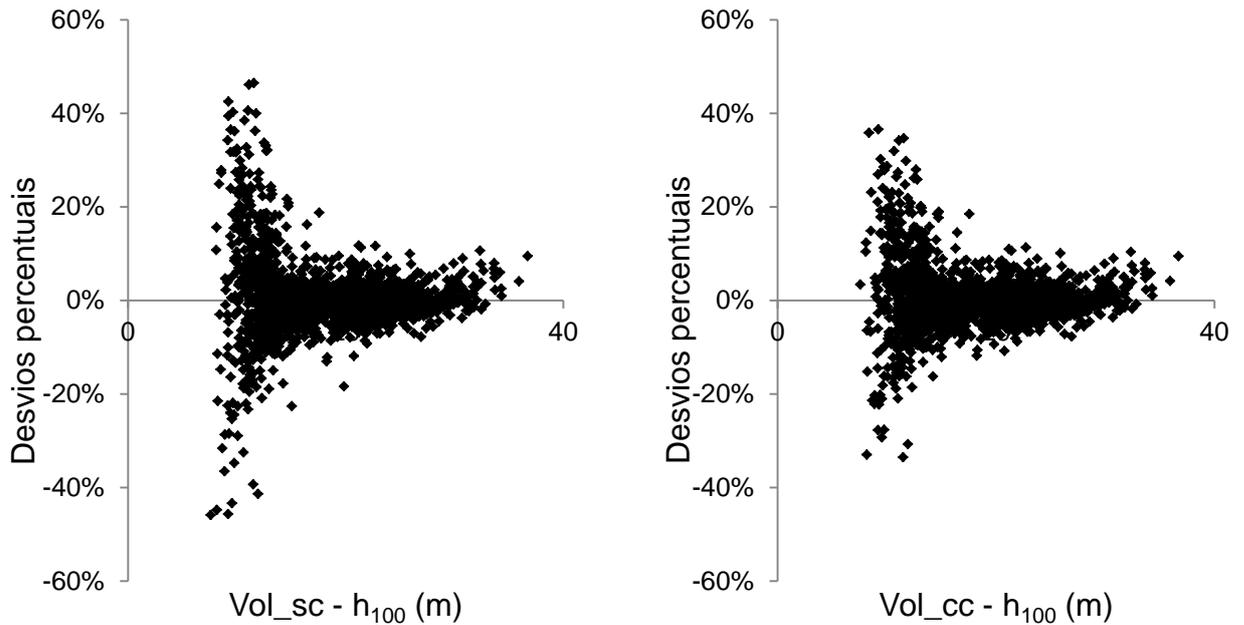


Figura 33 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados, em função da altura dominante para cada amostra de validação (parcela).

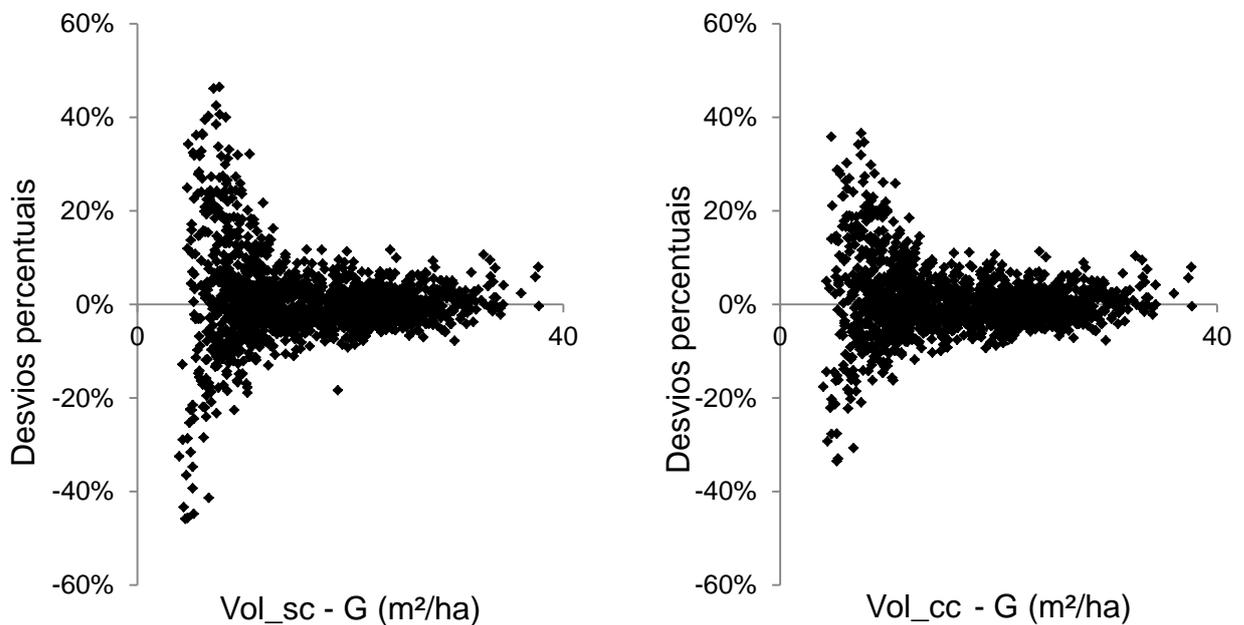


Figura 34 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados, em função da área basal para cada amostra de validação (parcela).

Em que: Vol\_sc – Volume sem casca; Vol\_cc – Volume com casca.

Feitas as análises de validação total do modelo, ajustaram-se os parâmetros para a função de volume para a amostra total, que podem ser vistos na Tabela 45 para cada grupo de crescimento.

Tabela 45 – Parâmetros finais ajustados para função de volume para os diferentes grupos de crescimento.

Volume	Parâmetro	Grupo		
		I	II	III
sem casca	$b_0$	-12.91053	-12.10104	-12.02608
	$b_1$	0.37201	0.36681	0.37079
com casca	$b_0$	-12.52514	-11.67259	-11.80240
	$b_1$	0.41237	0.40675	0.41115

Da mesma maneira que as demais variáveis dependentes dos modelos e após a validação das variáveis independentes da função de volume, analisou-se o comportamento do volume sem casca para diferentes sítios e densidades iniciais, em cada grupo de crescimento. As Figuras 35, 36 e 37 demonstram tais tendências para os grupos I, II e III, respectivamente. Nestas se observa um comportamento semelhante ao da área basal, porém, se definem melhor as diferenças das curvas entre distintos sítios, as quais podem ser notadas pelo fato de que mesmo a maior densidade de plantio no sítio 22 (sítio inferior) não alcança maior produção que a menor densidade no sítio 28 (sítio médio). Isso ocorre pois enquanto a área basal é o resultado da acumulação do crescimento em diâmetro e do número de árvores, o volume é também resultado, além destas variáveis citadas, do crescimento em altura dominante, e sendo esta sensivelmente superior nos melhores sítios, a mesma impacta diretamente a produção volumétrica final.

Quando a comparação é feita entre os sítios 28 e 34 (sítios médios a superiores), percebe-se que a maior densidade de plantio no sítio 28 produz maior volume a partir dos 7 anos do que a menor densidade no sítio 34. Este fato pode estar relacionado à melhora relativa entre um sítio e outro, fazendo com que o sítio 28 suporte uma maior densidade de plantio e produza maior volume a partir da idade citada.

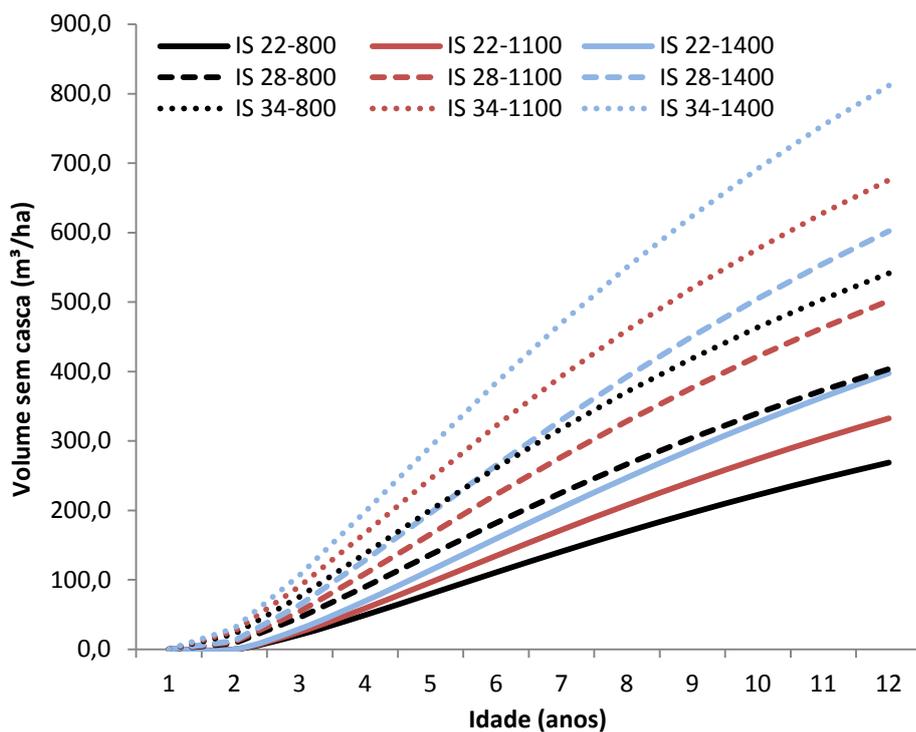


Figura 35 – Comportamento do volume sem casca para o grupo de crescimento I em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores.

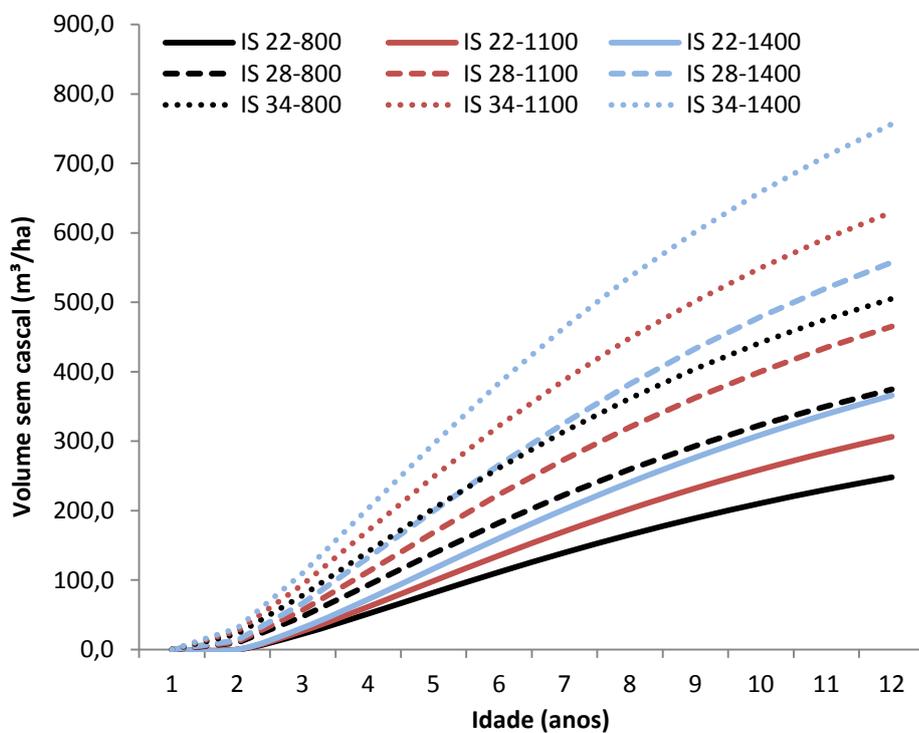


Figura 36 – Comportamento do volume sem casca para o grupo de crescimento II em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores.

Entre as diferentes densidades iniciais de plantio, se observa um aumento de produção em volume proporcional entre 800 e 1400 árvores (limite de validação do modelo), retratando que a diminuição do dg em densidades maiores é compensada pelo aumento do número de árvores. Como se observou que uma única função de mortalidade ajustada para todas as densidades iniciais apresentou-se satisfatoriamente precisa conforme a validação anterior, poderia se assumir uma tendência única de mortalidade, ainda não afetada pelo aumento significativo da competição através de maiores densidades de plantio. Isto indicaria que o aumento do número de árvores até este limite, afeta apenas o crescimento em diâmetro devido ao aumento da competição, mas não a mortalidade dos indivíduos, contribuindo assim, para que maiores densidades, dentro dos limites estabelecidos pelas validações deste estudo, passem a produzir maior volume por hectare.

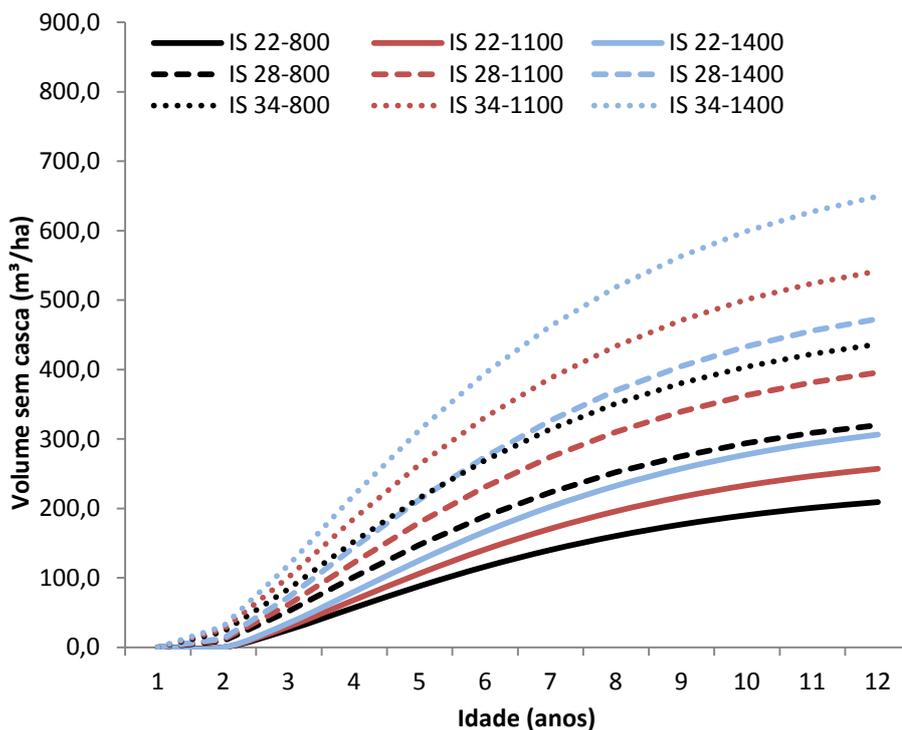


Figura 37 – Comportamento do volume sem casca para o grupo de crescimento III em função de diferentes índices de sítio e número inicial de árvores.

Entre os grupos de crescimento, a diferença na tendência de crescimento em altura dominante refletiu-se ao final também na produção volumétrica e em magnitude semelhante, como demonstra a Figura 38. Nesta se observa que o grupo I atingiu os maiores volumes a partir dos 7 ou 8 anos, enquanto que o grupo III apresentou tendência mais diferenciada tendendo a atingir volumes bem inferiores próximo aos 10 anos.

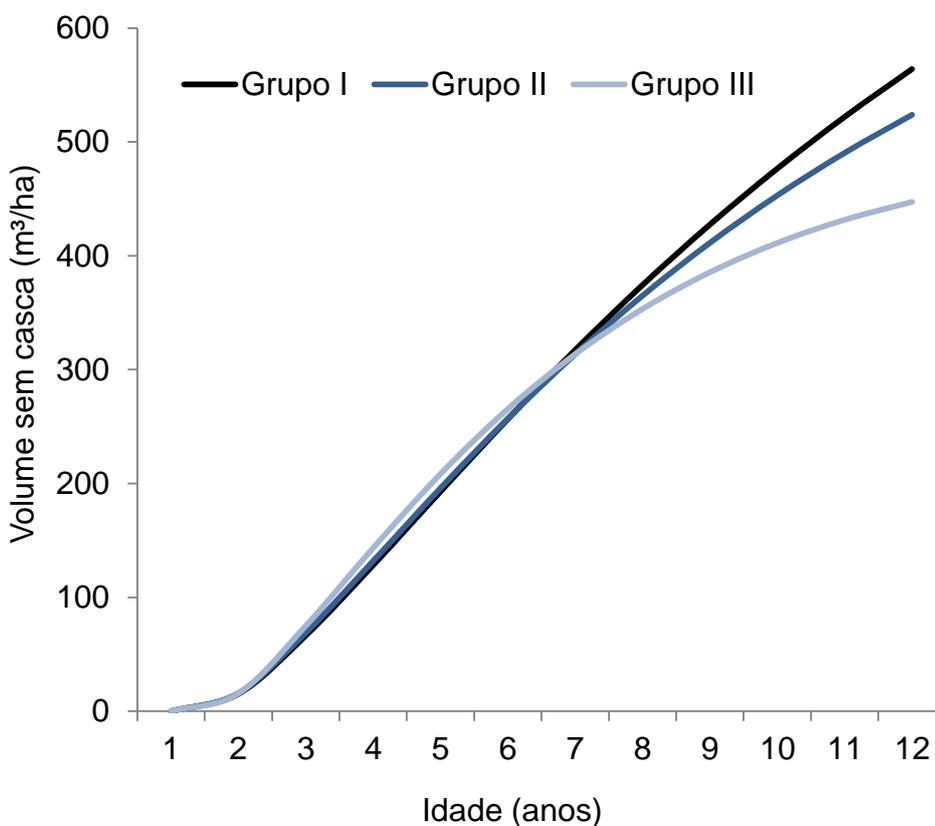


Figura 38 – Tendências da produção em volume sem casca para cada grupo de crescimento, considerando uma densidade inicial de plantio de 1.111 árvores e um índice de sítio de 30 m.

#### 5.2.4 Validação total do modelo

Após a validação individualizada de cada modelo para a prognose da produção, procedeu-se uma análise das estimativas sobre a base de validação, considerando-se a aplicação sucessiva dos modelos, com a finalidade de verificar a

dispersão “acumulada” dos resíduos das estimativas, ou inferir sobre o efeito “erro sobre erro”. Desta forma, para cada parcela da amostra de validação estimou-se para a idade de medição ( $i+1$ ) em função das variáveis dendrométricas da idade  $i$  (medição anterior) o número de árvores por hectare, o diâmetro quadrático médio, a área basal e o volume com e sem casca por hectare. Analisaram-se as dispersões dos desvios percentuais entre os valores estimados e observados de cada variável dependente em função de suas variáveis independentes. Todas as análises gráficas dos desvios podem ser vistas a partir da Figura 39 até a Figura 47.

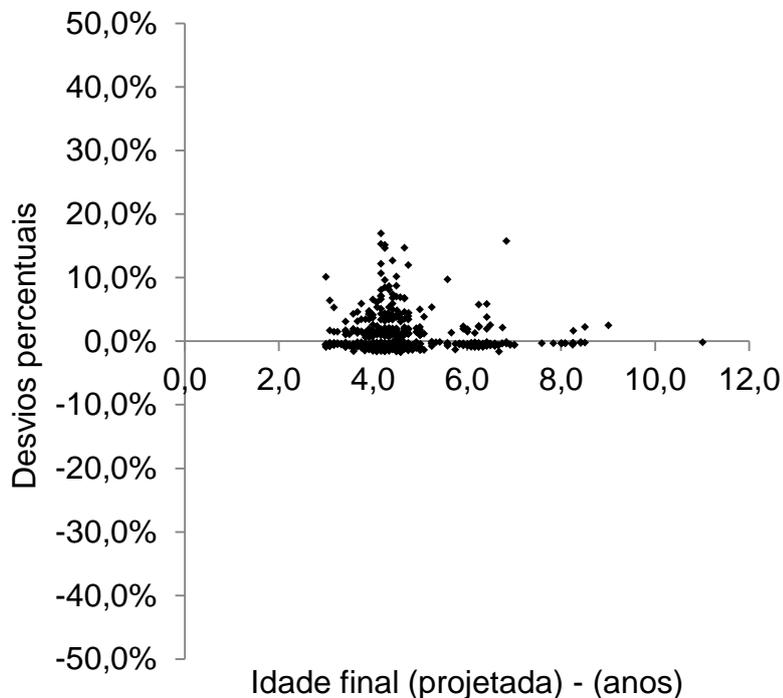


Figura 39 – Dispersão das diferenças percentuais entre o número de árvores estimado e observado em função da idade final (projetada).

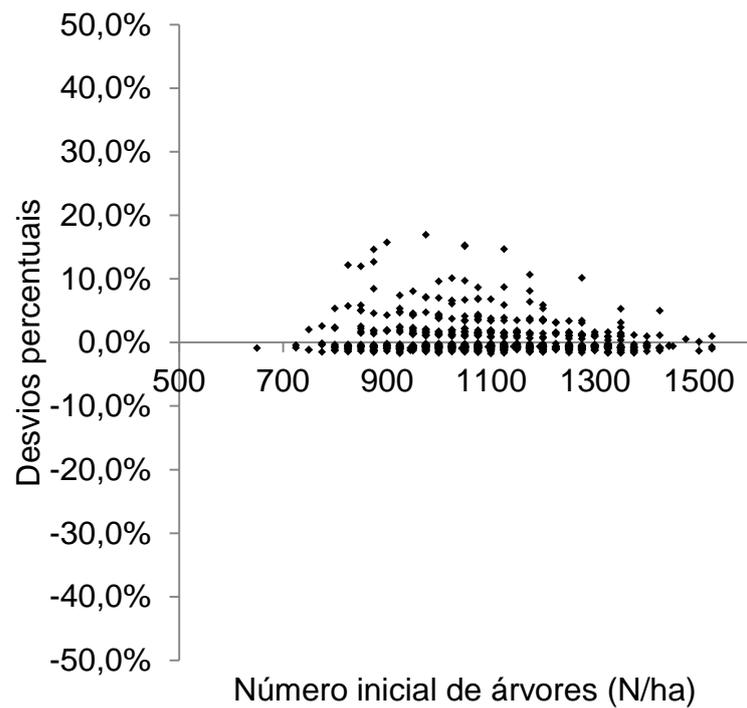


Figura 40 – Dispersão das diferenças percentuais entre o número de árvores estimado e observado em função do número inicial de árvores.

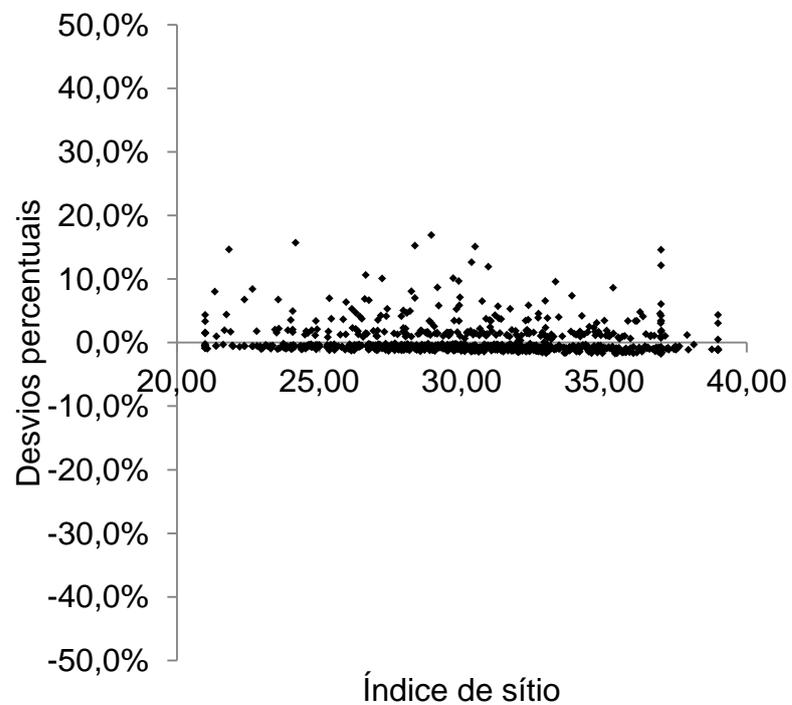


Figura 41 – Dispersão das diferenças percentuais entre o número de árvores estimado e observado em função do índice de sítio.

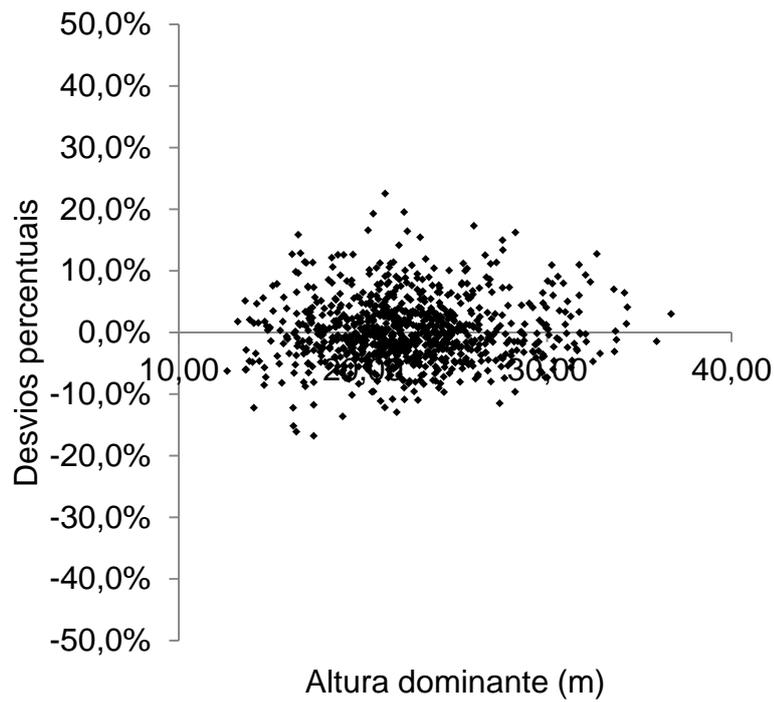


Figura 42 – Dispersão das diferenças percentuais entre o dg estimado e observado em função da altura dominante.

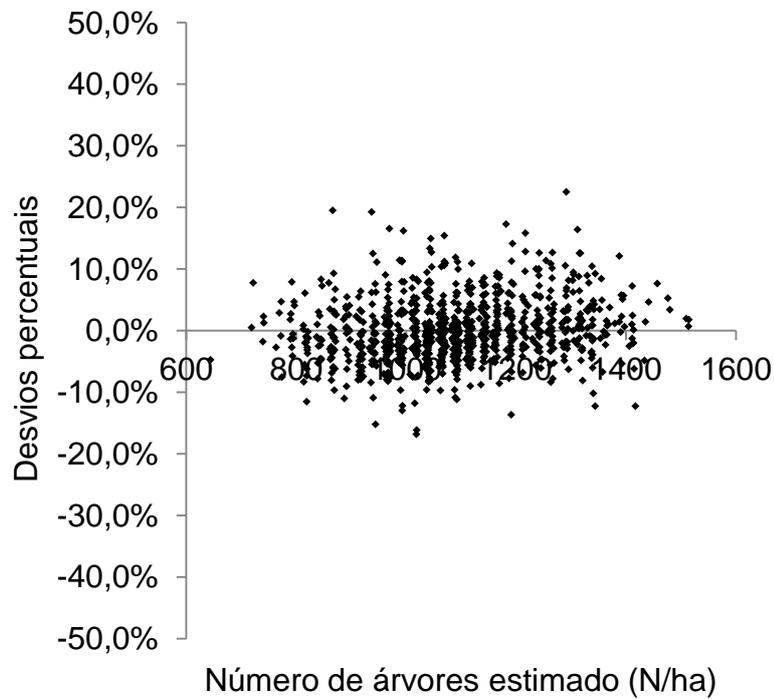


Figura 43 – Dispersão das diferenças percentuais entre o dg estimado e observado em função do número de árvores estimado.

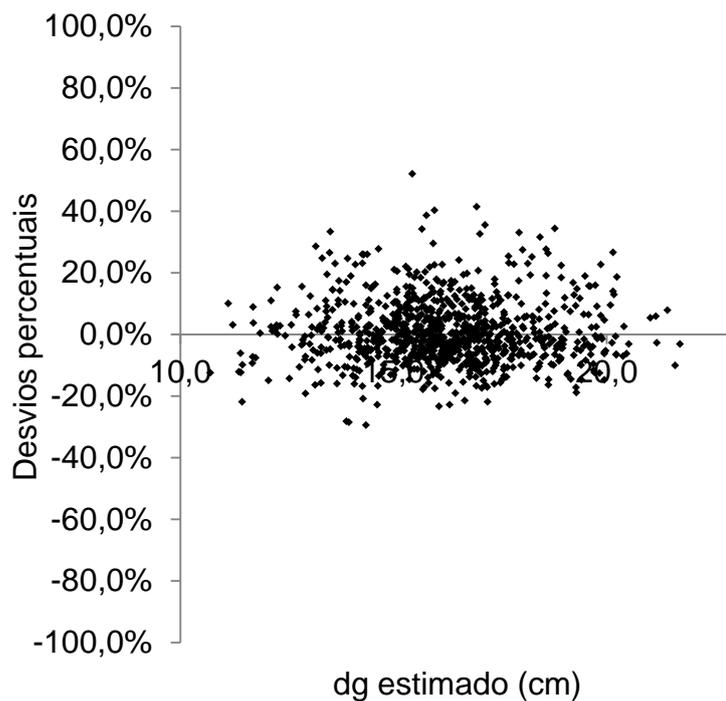


Figura 44 – Dispersão das diferenças percentuais entre a área basal estimada e observada em função do Dg estimado.

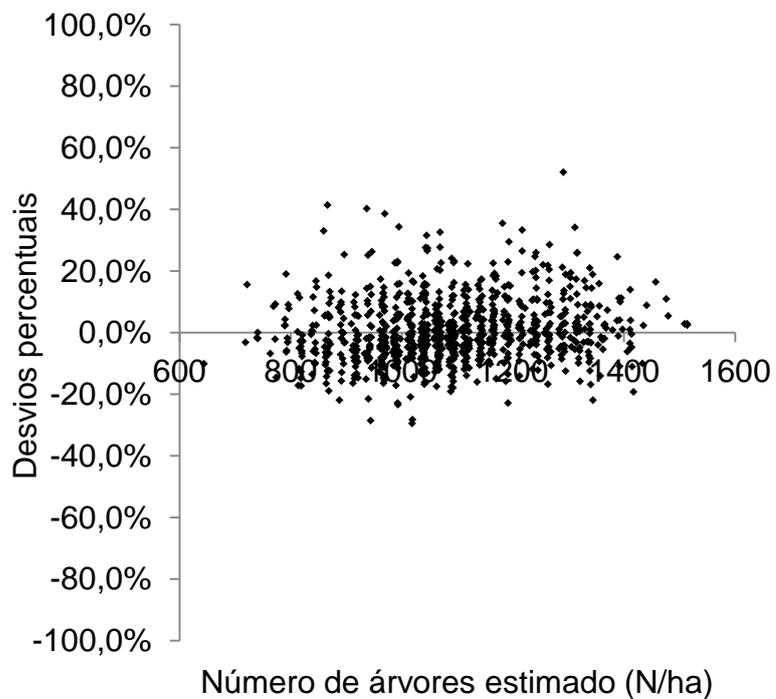


Figura 45 – Dispersão das diferenças percentuais entre a área basal estimada e observada em função do número de árvores estimado.

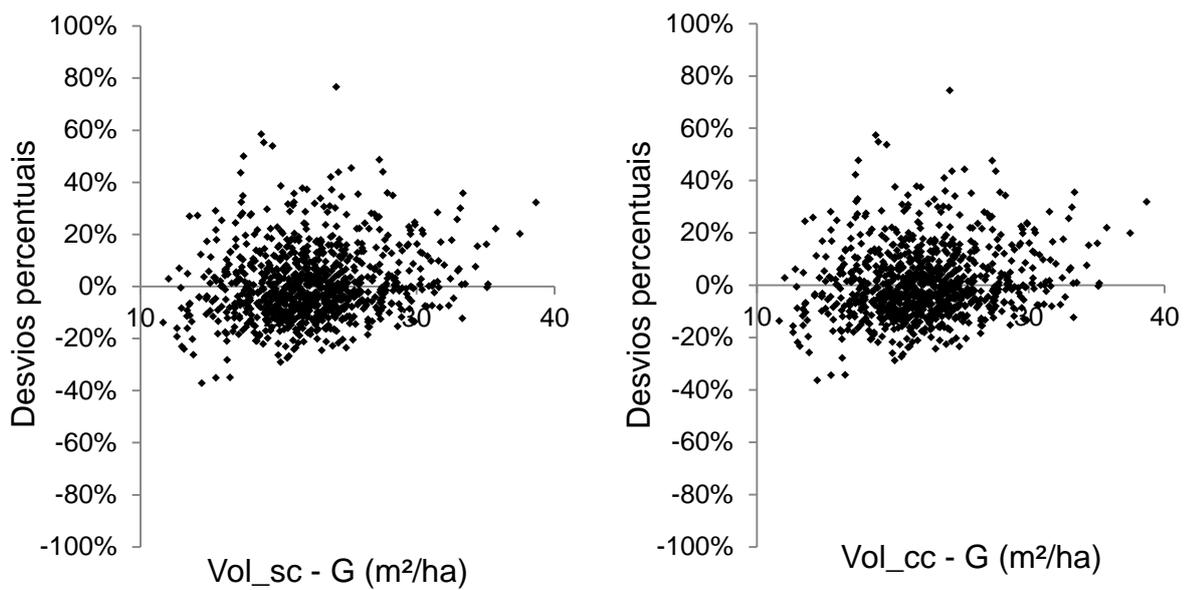


Figura 46 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados em função da área basal estimada.

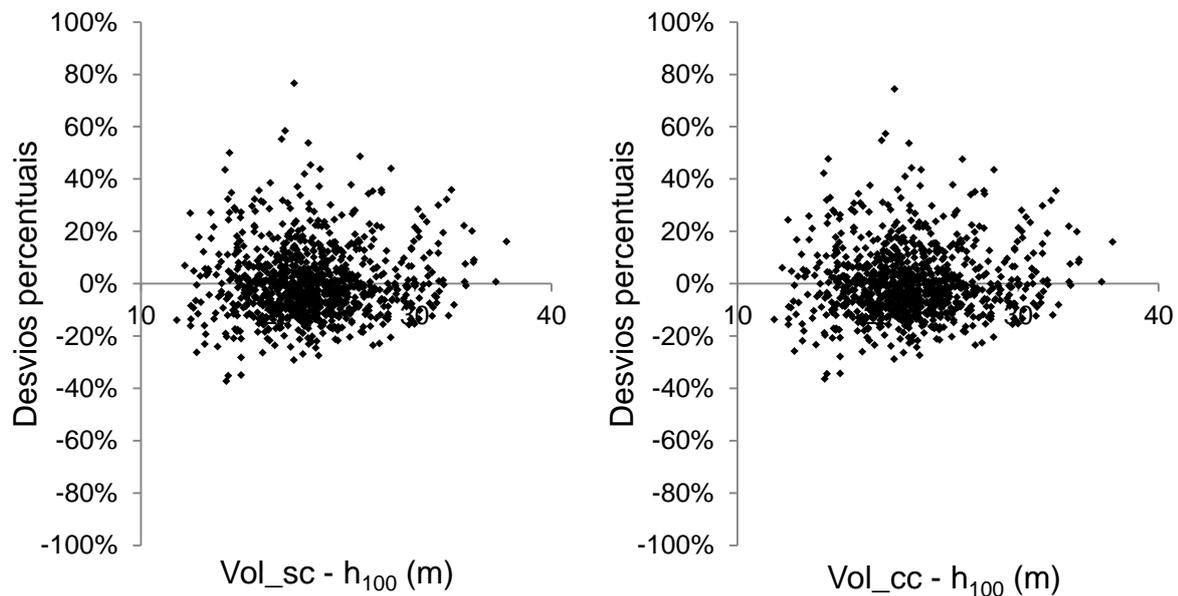


Figura 47 – Dispersão das diferenças percentuais entre os volumes com e sem casca estimados e observados em função da altura dominante.

Em que: Vol\_sc – Volume sem casca; Vol\_cc – Volume com casca.

Pela análise dos desvios para cada função de produção (número de árvores por hectare, diâmetro quadrático médio, área basal e volume) se observa que o conjunto estruturado de modelos pode ser utilizado para prognosticar a produção dos povoamentos clonais de *E. saligna* em quaisquer situações dentro das delimitadas pelo conjunto de dados deste estudo. Adicionalmente se observa um aumento na dispersão das observações (porém sem tendências) à medida em que se avança nos modelos de prognose no sentido: Número de árvores > Dg > Área basal > Volume. Este fato pode ser considerado normal e retrata o efeito “erro sobre erro” de cada modelo.

#### 5.2.5 Idade de maximização da produção (IMP)

Os pontos de culminio do incremento médio anual (IMA) e seu cruzamento com o incremento corrente anual (ICA) indicam o ponto de máxima produtividade a partir do qual os incrementos médios começam a diminuir, definindo-se assim este ponto como a idade de maximização da produção. Para os três grupos de crescimento analisados a IMP foi sempre menor naqueles índices de sítio de melhor produtividade, indo ao encontro do que citam Tonini (2003), Clutter et al. (1983) e Demolinari et al. (2007), os quais consideram que os sítios de melhor potencial produtivo tendem a favorecer o rápido crescimento inicial da floresta, entrando esta em competição mais cedo, inclusive influenciando nas taxas de mortalidade, e assim atingindo também mais cedo uma desaceleração do crescimento. As Figuras 48, 49 e 50 retratam as curvas de IMA e ICA para os três grupos de crescimento, considerando-se sítios inferiores (IS 22), médios (IS 28) e superiores (IS 34), e densidade inicial de árvores igual a 1111 árvores por hectare.

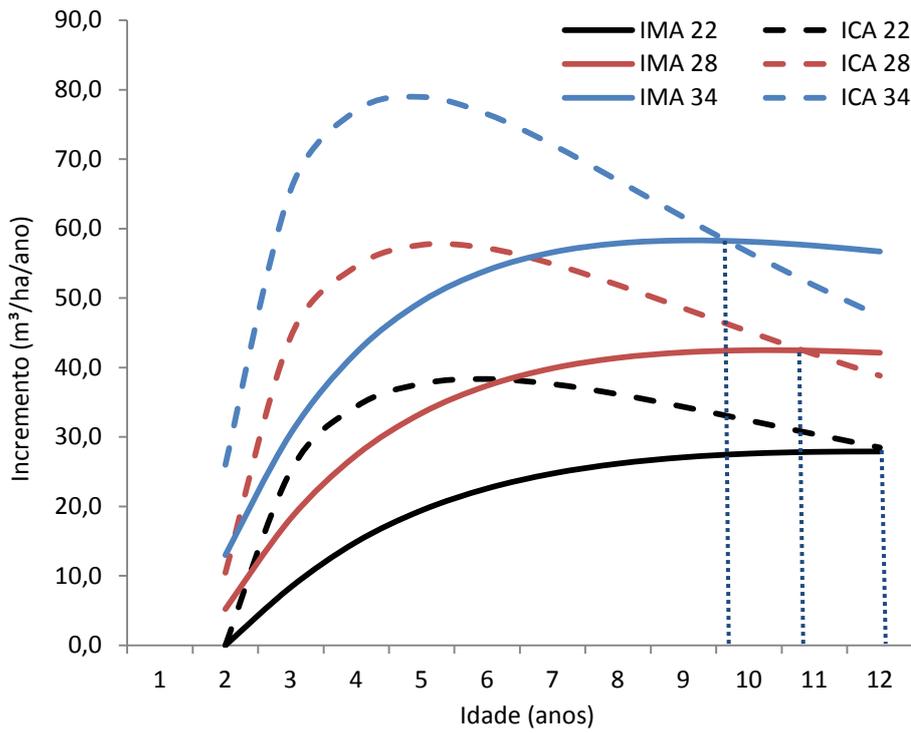


Figura 48 – Idades de maximização da produção identificadas para índices de sítios inferior, médio e superior para o grupo de crescimento I.

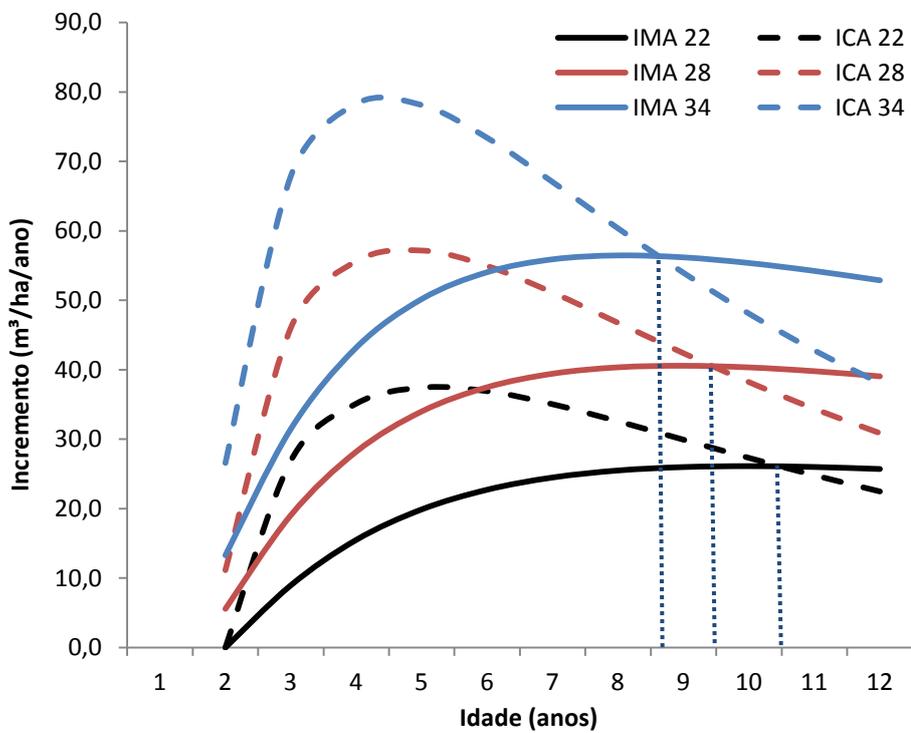


Figura 49 – Idades de maximização da produção identificadas para índices de sítios inferior, médio e superior para o grupo de crescimento II.

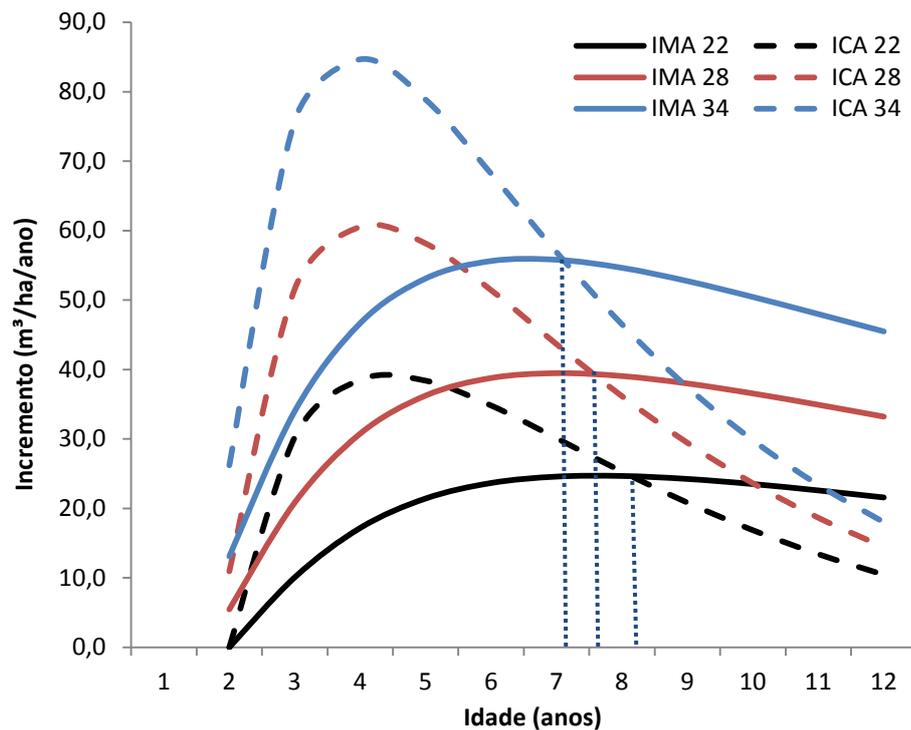


Figura 50 – Idades de maximização da produção identificadas para índices de sítios inferior, médio e superior para o grupo de crescimento III.

Como observado nas figuras acima, a IMP variou para o sítio superior e inferior, respectivamente, entre os  $\approx 9,5$  e  $\approx 12$  anos para o grupo I, entre  $\approx 8,5$  e  $\approx 10,5$  anos para o grupo II e entre os  $\approx 7$  e os  $\approx 8,4$  anos para o grupo III. Para o casos dos grupos I e II, percebe-se que a IMP foi maior no grupo I (clone 2864 nas classe de solo superiores). Este fato, que em primeiro momento se contrapõe à lógica da variação da IMP entre os índices de sítio (medida dendrométrica do sítio), pode estar mais associado à capacidade dos solos de classes superiores (medida biológica do sítio – qualidade do solo) em sustentar o crescimento da floresta por um período maior, postergando a IMP, já que dentro do mesmo grupo a variação da IMP entre sítios mantém a lógica descrita ( $>$  Índice de sítio;  $<$  IMP) para todos os grupos. O grupo III apresentou uma menor diferença nas idades de maximização da produção entre os sítios superiores e inferiores, efeito que pode ser relacionado à tendência bastante distinta de crescimento em altura dominante e mortalidade em relação aos grupos I e II.



## 6 CONCLUSÕES

As análises das tendências de crescimento, o ajuste, validação e comparação entre os modelos ajustados neste estudo permitiram concluir que:

- Os dois clones avaliados, ambos da mesma espécie, apresentaram comportamento distinto quanto ao crescimento em altura dominante. O clone 2864 mostrou-se mais plástico às características de solo, crescendo de maneira diferenciada em solos de aptidão superior. O clone 4039 por sua vez, não demonstrou diferenças na tendência de crescimento em altura dominante entre as diferentes classes de solo. Ambos os clones avaliados não demonstraram diferenças nas tendências de crescimento entre classes de altitude e declividade que justificassem a separação dos mesmos em distintos grupos de crescimento.

- Existem três diferentes tendências de crescimento que englobam as variáveis analisadas (clone, solo, altitude e declividade): Grupo I (clone 2864 em classes de aptidão de solos 1 e 2); Grupo II (clone 2864 em solos de classe de aptidão 3, 4 e 5) e Grupo III (clone 4039 em todas as classes de aptidão de solos).

- O comportamento do número de árvores por hectare foi distinto entre os dois clones avaliados, e a função que estima o número de árvores por hectare em função da idade e do número de árvores em idade anterior mostrou-se adequada a todo intervalo de densidade de plantio avaliado (800 à 1500 árvores por hectare).

- O diâmetro médio quadrático estimado pela função de Kira com 3 parâmetros apresentou alguns problemas de tendenciosidade nas estimativas, e teve de ser modelado através de outras variáveis do povoamento, criando-se uma função que estimou adequadamente os diâmetros para todos os grupos de crescimento avaliados.

- A produção final entre os grupos de crescimento foi diferenciada seguindo a seguinte magnitude em ordem da maior para menor produção final, considerando-se sítio e número de árvores médios: Grupo I > Grupo II > Grupo III.

- A produção final foi crescente com o aumento do número de árvores por hectare, proporcionalmente entre as densidades de 800, 1100 e 1400 árvores por hectare, demonstrando que dentro destes limites a competição, apesar de afetar o crescimento em diâmetro, não afeta de maneira significativa a mortalidade e assim

aumenta a produção final dos povoamentos implantados com maior número de árvores.

- A idade de maximização da produção (IMP) foi menor no grupo III, seguida dos grupos II e I, sendo que, menores IMP foram encontradas nos melhores sítios, permitindo assim, identificar a idade técnica de colheita quando o objetivo for a maximização da produção.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Seria importante a manutenção de áreas com parcelas permanentes já instaladas, até idades mais avançadas (pelo menos até 15 anos). A base de dados atual contempla informações até os 10 anos, porém com um número reduzido de dados. A manutenção de parcelas permanentes nestas idades, permitiria em um segundo momento, a calibração destes modelos para projeções de maior longo prazo.

- É recomendável se analisar economicamente, considerando-se custos de implantação, manutenção e colheita, a adoção de maiores densidades de plantio do que a atualmente recomendada para a companhia (1111 árvores por hectare), visto que os modelos indicaram possível ganho em volume total com aumento do número de árvores, pelo menos até o limite de validação deste estudo (1400 árvores/ha).

- Experimentos considerando-se diferentes espaçamentos deveriam ser instalados e mantidos, não só com os materiais genéticos deste estudo, mas também com aqueles considerados como potencial para plantios futuro. Nestes experimentos se deveria avaliar plantios com densidades extremas (menos de 600 árvores por hectare e mais de 2000 árvores por hectare), não com o intuito de avaliar técnica e economicamente plantios a estas densidades, mas sim com o objetivo de utilizar as informações de crescimento das florestas sob estas condições de densidade para calibrar melhor os modelos de prognose.

- Deve ser considerado que para os materiais genéticos estudados a idade de maximização da produção para qualquer sítio é superior a 7 anos, sendo que em média os maiores rendimentos volumétricos devem ser esperados após os 8,5 anos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF, **Anuário Estatístico da ABRAF 2010**: Ano base 2009/ABRAF. – Brasília, 2010. 140 p.

BARROS, N. F., SILVA, O. M., PEREIRA, A. R., BRAGA, J. M., LUDWIG, A., Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N. P. e K. no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, Piracicaba, n.26, p.13-17, abr.1984

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.FIGUEIREDO FILHO, A. OLIVEIRA, E. B. A distribuição diamétrica para bracatingais em diferentes idades, sítios e densidades na região metropolitana de Curitiba. **FLORESTA**, Curitiba-PR, n.34, p. 305-323, det/dez 2004

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A. Atributos Físicos e Químicos do Solo e suas Relações com o Crescimento e a produtividade do *Pinus taeda*. **Bol. Pesq. Fl., Colombo**, n. 53, p. 21-38, jul./dez, 2006

BRACELPA, Associação Brasileira de Celulose e Papel. Dados do Setor 2011. Disponível em <[www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/booklet/booklet.pdf](http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/booklet/booklet.pdf)>. Acessado em 04/08/2012.

BRAGA, F. A.; BARROS, N. F.; SOUZA, A. L.; COSTA, L. M. Características ambientais determinantes da capacidade produtiva de sítios com Eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23: 291-298, 1999.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**, 2ª ed. Ver e ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2006. 470 p.: Il.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**, 3ª ed. atual. ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2009. 548 p.: Il.

CARVALHO, A. P. et. all. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p.51-66, jul./dez, 1999.

CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V. **Timber Management: A quantitative approach**. USA: John Wiley & Sons, 1983, 329p.

COSTA, A. M.; CURI, N.; ARAÚJO, E.F.; MARQUES, J.J.; MENEZES, M.D. Avaliação do risco de anoxia para o cultivo do eucalipto no Rio Grande do Sul utilizando-se levantamento de solos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 367-375, dez, 2009.

COSTA, A. M.; CURI, N.; ARAÚJO, E.F.; MARQUES, J.J.; MENEZES, M.D. Unidades de manejo para o cultivo de eucalipto em quatro regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 465-473, dez, 2009.

COSTA, A. M.; CURI, N.; ARAÚJO, E.F.; MARQUES, J.J.; MENEZES, M.D. Unidades de manejo para o cultivo de eucalipto em quatro regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 465-473, dez 2009.

DEMOLINARI, R. A. **Crescimento de povoamentos de Eucalipto não desbastados. 2006, 81 p.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DEMOLINARI, R.A.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado –PA. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, 2007.

DÍAZ, M. P.; COUTO, H. T. Z. Modelos generalizados para a mortalidade de árvores de *Eucalyptus grandis* no Estado de São Paulo, Brasil. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 56, p. 101-111, dez, 1999.

FERREIRA, C. A.; COUTO, H. T. Z. A influência de variáveis ambientais no crescimento de espécies/procedências de *Eucalyptus spp* nos estados de Minas Gérias e Espírito Santo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 3, p 9-35, dez, 1981.

FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectonagrandis* L.F.) na microrregião do baixo rio acre.** 2005, 329 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FINGER, C. A. G. **Crescimento e Produção Florestal.** Tradução da obra de Hubert Sterba, Santa Maria, 2006. 160 p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FINGER, C. A. G., SCHUMACHER, M. V., SCHNEIDER, P. R., HOPPE, J. M., Influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (hill) ex maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p.137-145, 1996.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 417-428, jul-set, 2012.

FURNIVAL, G.M. An index for comparing equations used in constructing volumes tables. **Forest Science**. p. 337-341, n. 4, v. 7, 1961

GONÇALVES, J. L. M. Interpretação de levantamentos de solos para fins silviculturais. **IPEF**, Piracicaba, n.39, p.65-72, ago.1988

HASSE, G. **Eucalipto: Histórias de um Imigrante Vegetal**. Porto Alegre: JÁ Editores, 2006. 127 p.

HOPPE, J. M. **Tratos e métodos Silviculturais** – Apostila didática - UFSM. Santa Maria RS, 1999.

IPEF, **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais**. Indicações para escolhas de espécies de *Eucalyptus*. Dez/2005. Acessado em 19/01/2013. Disponível em: <http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>

JOVANOVIC, T. BOOTH, T. H. **Improved Species Climatic Profiles**. RIRDC, n. 02/095, Austrália, 2002

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do rio grande do sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências Exatas, S. Maria, v.2, n.1, p.171-182, 2001

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; RODRIGUES, F. L. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectonagrandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.30, n. 1, p.89-98, 2006.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M.; LIMA, J. E. Um modelo de crescimento e produção para *Pinus taeda* L. na região sul do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1. p. 105-112. 2001.

LOESTCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest Inventory**. München: BLV, 1973. V. 2, 469 p.

LOURENÇO, M. F. S. **Características limitantes do solo no crescimento de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em uma toposequência na região de três barras (sc)**.1996, 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

LIBARDI, P. L. ÁGUA NO SOLO. In: Quirijn de Jong van Lier (Ed). (Org.). Física do Solo. 1 ed. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 103-152, 2010.

LORENZI, H.et al. **Árvores exóticas no Brasil: Madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum,2003.

MENDES, I. C.; SILVA, L. G.; REIS JUNIOR, F. B.;TÓTOLA, M. R.; VILELA, L. Cálculo de um índice de qualidade do solo para diferentes agroecossistemas do cerrado. IX Simpósio Nacional do Cerrado: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. **Brasília, DF**. 12-17, out., 2008.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S.; Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um latossolo amarelo coeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural. **R. Bras. Ci. Solo**, n. 31: 1599-1608, 2007

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

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. Modelos de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. Submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.29, n. 4, p.579-589, 2005.

ORTIZ, J. L.; VETORAZZI, C. A.; COUTO, H. T. Z.; GONÇALVES, J. L.M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 72, p. 67-79, dezembro 2006

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. Eucaliptos indicados para plantio no estado do Paraná. ISSN 1679-2599. **Embrapa Florestas**, 2006. Colombo, n. 129.

REMADE, **Revista da Madeira**, Ed. n. 59, setembro, 2001. Acessado em 08 de outubro de 2010. Disponível em [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=20&subject=Origens&title=O%20Eucalipto%20e%20Suas%20Origens](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=20&subject=Origens&title=O%20Eucalipto%20e%20Suas%20Origens)

RODRIGUEZ, L. C. E.; BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. **Princípios de Biometria e Modelagem Florestal: Aplicação em SAS**, I Programa de reciclagem em métodos quantitativos – Piracicaba, SP. ESALQ, 1996. 93 p.

REICHERT, J. M., SUZUKI, L. E. A. S., REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos Ci. Solo*, 5:49-134, 2007.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. Apostila didática. Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R. F.; FAQUIM, V.; FERREIRA, M. M.; FURTINI, A. E.; LIMA, J. M.; VILLANI, E. M. A. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p. 1157-1164, 2010.

ROSA, S. F.; BARBIERI, J.; PISSININ, L. Z.; ROSA, C.M.; STANGARLIN, M.; SCHUMACHER, M.V. Estudo comparativo das características químicas e físicas do solo em campo nativo e floresta de *Pinus elliottii* Engelm. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Gramado, RS. 2007.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2ª Ed. Santa Maria: Facos, 2009. 294 p.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal: Planejamento da produção Florestal**. Santa Maria, 2004. 493 p.

SCOLFORO, J. R. Curvas de índice de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, Piracicaba, n.45, p.40-47, jan./dez, 1992.

SELLE, G. L. **Guias de densidade e índices de sítio para *Hovenia dulcis* Thunberg na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Santa Maria, 2009, 97 p., Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria.

SEPLAG-RS, Acessado em 18 de outubro de 2010. Disponível em [http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/indice\\_mapas.asp?menu=331](http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/indice_mapas.asp?menu=331)

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA, M. L. R.; CARVALHO, A. Especificação de um modelo de crescimento e produção florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.831-837, 2004.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A floresta e o solo**. Porto Alegre: Pallotti, 1999. 83 p.

SILVA, J.A.A. da.; BAILEY, R.L. Uso de transformações normalizadoras no ajuste de modelos volumétricos. **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.12, p.199-206, 1991.

SILVA JUNIOR, O. M.; FUCKNER, M. A. Avaliação da correlação entre modelo digital de elevação ASTER e carta topográfica para a região de Marabá – Estado do Pará. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação**. Recife-PE, 27-30, julho, 2010.

STATSOFT, Inc. (2012). STATISTICA (Data analysis software system), version 11. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

STRECK, E. V.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre.: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 222p.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2003, 331 p., Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER P. R.; SPATHELF, P. Índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da serra do sudeste e litoral, no estado do Rio Grande do Sul, BRASIL. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 61-73. 2002

TONINI, H.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C. A. G. Crescimento de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 61-77, 2004.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 27-43, 2006.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de Clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, V.7, N.2, P.104-114, 2001.

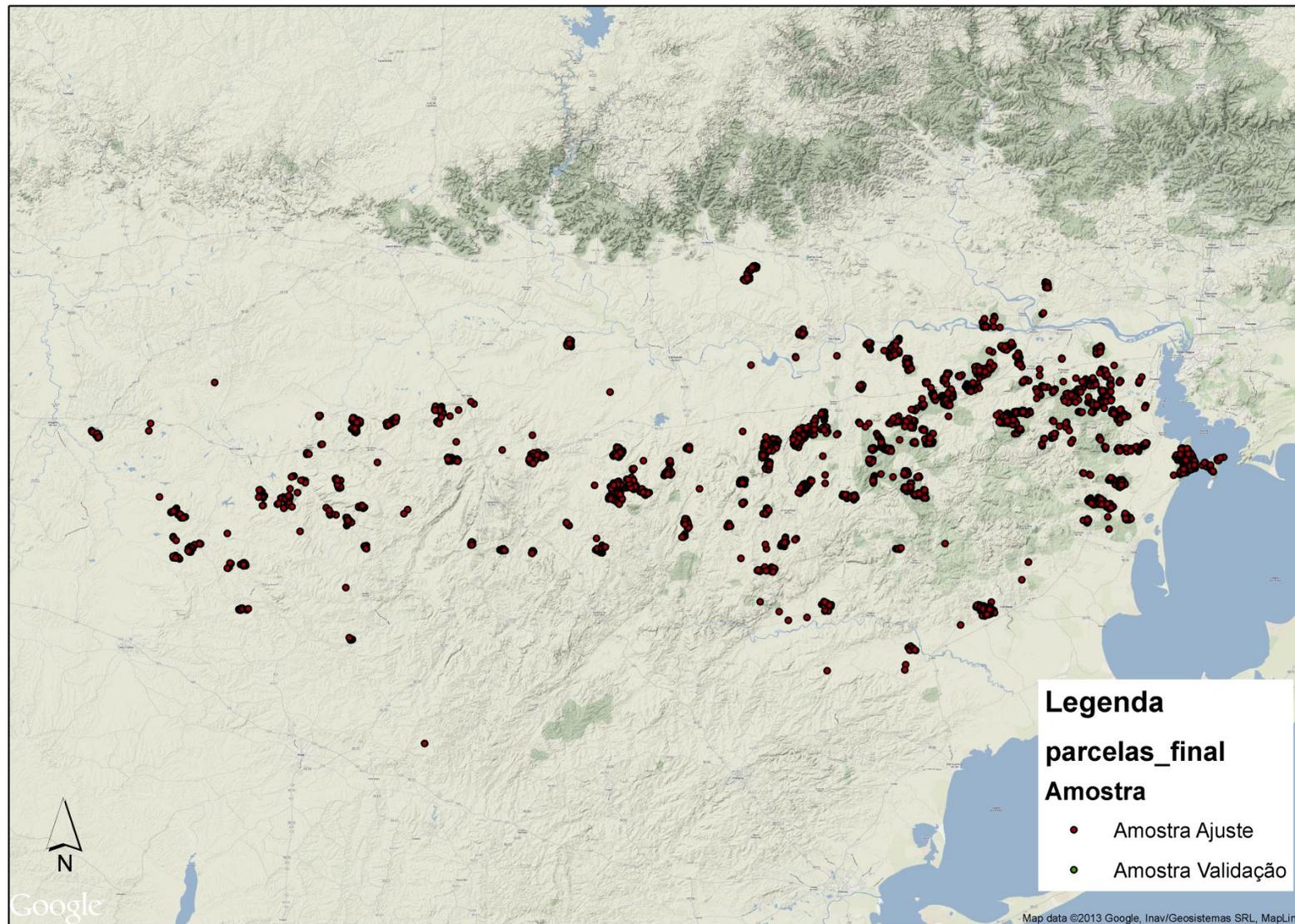
VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield**: Applications to Mixed Tropical Forest. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994, 312 p.



## **ANEXOS**



**Anexo 1 – Distribuição das parcelas permanentes utilizadas para o ajuste dos modelos.**





## Anexo 2 – Distribuição das parcelas permanentes utilizadas para a validação dos modelos.

