

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO EM POVOAMENTOS
DE *Pinus taeda* L. DANIFICADOS POR MACACOS-
PREGO E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FRANCIÉLE MARIA DE SOUZA RETSLAFF

IRATI-PARANÁ

2018

FRANCIÉLE MARIA DE SOUZA RETSLAFF

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.
DANIFICADOS POR MACACOS-PREGO E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual do Centro-
Oeste, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais, área de
concentração em Manejo
Sustentável de Recursos Florestais,
para obtenção do título de Mestre.

Prof.º Dr. Afonso Figueiredo Filho

Orientador

Prof.ª Dr.ª Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães

Coorientadora

IRATI-PARANÁ

2018

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

RETSLAFF, Franciéle Maria de Souza.

R438c Crescimento e produção em povoamentos de *Pinus taeda* L. danificados por Macacos-prego e seus impactos econômicos / Franciéle Maria de Souza Retslaff. – Irati, PR : [s.n], 2018.
133f.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Área de Concentração em Manejo Florestal. Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR.

1. Engenharia Florestal. 2. *Sapajus nigrurus*. 3. Danos Florestais. 4. Evolução do sortimento. 5. Economia – avaliação. 6. Incremento. I. Figueiredo Filho, Afonso. II. Guimarães, Fabiane Aparecida Retslaff. III. UNICENTRO. IV. Título.

CDD 585.2

TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 120

Franciéle Maria de Souza Retslaff

“Crescimento e produção em povoamentos de *Pinus taeda* L. danificados por macacos-prego e seus impactos econômicos”

Dissertação aprovada em 28/06/2018, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:



Dra. Ana Paula Dalla Corte
Universidade Federal do Paraná
Primeira Examinadora



Dr. Dieter Liebsch
Pesquisador e Consultor Independente
Segundo Examinador



Dr. Sebastião do Amaral Machado
Universidade Federal do Paraná / Universidade Estadual do Centro-Oeste
Terceiro Examinador



Dr. Afonso Figueiredo Filho
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR
2018

A toda minha família em especial ao meu avô, Antônio Retslaff (*in memoriam*).

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas minhas conquistas.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho e Dr^a. Fabiane A. Retslaff Guimarães, pelo apoio na orientação, amizade e incentivo para a realização deste trabalho.

Aos meus pais Luis Antônio Retslaff e Ilza de Souza Retslaff pelo apoio e confiança.

Ao meu noivo José Robyson Aggio Molinari, pelo amor, carinho, confiança, compreensão e incentivo nos momentos difíceis, e também pelo auxílio prestado no processamento dos dados e nas dúvidas matemáticas.

Às minhas irmãs Fabiane A. Retslaff Guimarães e Franciane Retslaff e a todos meus amigos, pela amizade, companheirismo, auxílio e incentivo.

À minha pequena afilhada Helena, que ajudou a tornar mais leve com seu sorriso e sua alegria os dias difíceis.

À empresa Remasa Reflorestadora concedente da área para coleta de dados e por todo o apoio logístico fornecido para realização desse trabalho.

À minha amiga Tânia Vieira Mello pelo auxílio na coleta de dados.

À equipe do Projeto Imbituvão pelo auxílio no preparo dos discos para leitura.

À Keyla Karina e Rafael Pasquini pelo auxílio nas medições dos discos.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os professores do Curso de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Estadual do Centro-Oeste pelos ensinamentos passados durante o curso.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1 Macaco-prego (<i>Sapajus nigritus</i> Goldfuss, 1809)	18
3.2 Danos em árvores plantadas de pinus atacadas pelo macaco-prego	19
3.3 Crescimento das árvores danificadas pelo macaco-prego	21
3.4 <i>Pinus taeda</i> L.	23
3.5 Análise de tronco completa	25
3.6 Crescimento e produção florestal	28
3.7 Fator de forma	30
3.8 Funções de afilamento.....	31
3.9 Sortimento florestal.....	32
4. METODOLOGIA	34
4.1 Área de estudo.....	34
4.2 Inventário florestal.....	34
4.2.1 Amostragem.....	34
4.2.2 Dados coletados	36
4.3 Capacidade produtiva do local	37
4.4 Cubagem.....	37
4.4.1 Avaliação dos danos e sua extensão na árvore	38
4.5 Esquema de representação dos volumes determinados na pesquisa	38
4.6 Análise de tronco completa (ANATRO).....	39
4.7 Equações para estimar volumes individuais	42
4.8 Funções de afilamento.....	43
4.9 Avaliação dos modelos de volume e afilamento	43
4.10 Fator de forma artificial	45
4.11 Modelagem do crescimento e produção	45
4.12 Comparações da produção das árvores danificadas e não danificadas pelo macaco-prego	46
4.13 Evolução do sortimento.....	48
4.13.1 Percentuais de volume danificado por classe de sortimento	49

4.13.2 Estimativa do sortimento para brotações epicórmicas	50
4.13.3 Evolução do sortimento médio individual.....	50
4.13.4 Produção média individual incluindo as brotações.....	51
4.13.5 Estimativa do sortimento por unidade de área (ha).....	51
4.14 Formação das receitas e avaliação econômica.....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1 Caracterização dos dados	53
5.1.1 Caracterização da população danificada e não danificada pelos macacos-prego....	53
5.1.2 Caracterização das árvores amostradas	56
5.2 Desenvolvimento de equações.....	59
5.2.1 Equações de volume para árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego	59
5.2.2 Função de afilamento	64
5.2.3 Fator de forma.....	70
5.3 Comparação do crescimento de árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego.....	72
5.3.1 Diâmetro à altura do peito (DAP)	73
5.3.2 Altura.....	75
5.3.3 Área transversal	76
5.3.4 Volume	76
5.4 Modelagem do crescimento e produção	78
5.4.1 Diâmetro à altura do peito (DAP)	80
5.4.2 Altura.....	82
5.4.3 Área transversal (g)	84
5.4.4 Volume	86
5.4.5 Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos	90
5.5 Avaliação da idade de ocorrência dos danos.....	92
5.6 Evolução do sortimento.....	94
5.6.1 Percentuais de volume danificado por classes de sortimento	94
5.6.2 Sortimento das brotações.....	98
5.6.3 Evolução do sortimento médio individual.....	99
5.6.4 Estimativa da produção média individual incluindo brotações	107
5.6.5 Estimativas de sortimento por unidade de área (ha)	108
5.7 Avaliação econômica e formação das receitas.....	110

6. CONCLUSÕES	114
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
8. APÊNDICE	122
APÊNDICE 1. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume com casca para árvores de <i>Pinus taeda</i> não danificadas por macaco-prego.....	122
APÊNDICE 2. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume sem casca para árvores de <i>Pinus taeda</i> não danificadas por macaco-prego.....	123
APÊNDICE 3. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar o volume total com casca para árvores de <i>Pinus taeda</i> que sofreram danos do tipo janelamento (grupo I).....	124
APÊNDICE 4. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar o volume total sem casca para árvores de <i>Pinus taeda</i> que sofreram danos do tipo janelamento (grupo I).	125
APÊNDICE 5. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume do fuste principal com casca para as árvores de <i>Pinus taeda</i> que sofreram danos do tipo anelamento (grupo II).....	126
APÊNDICE 6. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume do fuste principal sem casca para as árvores de <i>Pinus taeda</i> que sofreram danos do tipo anelamento (grupo II).....	127
APÊNDICE 7. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume total com casca para as árvores de <i>Pinus taeda</i> que sofreram danos do tipo janelamento e anelamento (grupo III).	128
APÊNDICE 8. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para estimar volume sem casca para as árvores de <i>Pinus taeda</i> que sofreram danos do tipo janelamento e anelamento (volume do fuste principal) juntos (grupo III).....	129
APÊNDICE 9. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para estimar volume com casca do fuste e brotações para as árvores de <i>Pinus taeda</i> que sofreram danos do tipo janelamento e anelamento (grupo IV).....	130
APÊNDICE 10. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para estimar volume sem casca para as árvores de <i>P. taeda</i> que sofreram danos do tipo janelamento e anelamento (volume com brotações) juntos (grupo IV).	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração dos danos Janelamento (A) e Anelamento (B) causados por macaco-prego. Fonte: (A) PIRES NETO (2014), (B) LIEBSCH (2009).	21
Figura 2. Distribuição do gênero pinus no Brasil no ano de 2016.	23
Figura 3. Forma do tronco de uma árvore.	30
Figura 4. Área de coleta dos dados, talhão 01 e talhão 05.	35
Figura 5. Altura até o ponto de anelamento (hPA) e altura total (h).	36
Figura 6. Representação esquemática dos volumes determinados na presente pesquisa.	39
Figura 7. Retirada dos discos no campo (A). Amostras identificadas (B). Várias árvores amostradas (C). Disco apresentando dano pelo macaco-prego (D).	40
Figura 8. Preparo do material para leitura dos anéis: marcação dos raios e identificação dos anéis nos discos (A, B). Marcação dos discos danificados por macacos-prego (C, D).	40
Figura 9. Medição dos anéis de crescimento no LINTAB 6.	41
Figura 10. Exemplo da base de dados para ajuste com variáveis "dummy" (d1, d2 e d3).	47
Figura 11. Fluxograma com as fases de desenvolvimento da presente pesquisa.	52
Figura 12. Árvores com fustes irregulares e tortuosos (A). Fuste tortuoso devido ao processo de cicatrização de uma sequência de danos do tipo janelamento causados pelos macacos-prego (B).	53
Figura 13. Anelamento do fuste principal (A) e emissão de brotações com formação de vários novos fustes (B).	54
Figura 14. Dano recente do tipo janela (A). Dano antigo cicatrizado do tipo janela (B).	54
Figura 15. Distribuição diamétrica para árvores não danificadas e árvores danificadas.	55
Figura 16. Alturas (m) máximas, médias e mínimas para a população de árvores não danificadas (T01) e danificadas (T05) por macacos-prego.	56
Figura 17. Medição da extensão dos danos externos e internos nos fustes.	58
Figura 18. Alturas (m) máximas, médias e mínimas para árvores amostradas não danificadas e danificadas por macacos-prego.	59
Figura 19. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume individual (com casca) para as árvores de <i>Pinus taeda</i>	62
Figura 20. Evolução do afilamento para os três grupos de árvores estudados (anelada, janelada e não danificadas).	67
Figura 21. Perfil médio das árvores aos 18 anos para árvores aneladas.	67
Figura 22. Perfil para árvores não danificadas e janeladas com diâmetro mínimo, médio e máximo aos 18 anos.	68
Figura 23. Dispersão gráfica dos resíduos das equações de afilamento ajustadas por classes de idade para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e não danificadas por macacos-prego.	69
Figura 24. Evolução dos fatores de forma artificial ($f_{1,3}$) para árvores aneladas, janeladas e não danificadas.	72
Figura 25. Curvas de produção em diâmetro para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e árvores não danificadas por macacos-prego.	80
Figura 26. Curvas de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para diâmetro (DAP) para árvores aneladas, janeladas e não danificadas.	81

Figura 27. Curvas de produção em altura total para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e árvores não danificadas por macacos-prego.....	82
Figura 28. Curvas de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para altura (h).	83
Figura 29. Perfil de árvores aneladas por macacos-prego.....	84
Figura 30. Curvas de produção em área transversal (g) para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e árvores não danificadas por macacos-prego.....	85
Figura 31. Curvas de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para área transversal (g).	85
Figura 32. Curvas de produção em volume para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e árvores não danificadas por macacos-prego.....	86
Figura 33. Sistema de compartimentalização do lenho em árvores após danos de macacos-prego em <i>Pinus taeda</i> . Fonte: RETSLAFF (2018).	87
Figura 34. Perfil de árvores que sofreram danos do tipo janelamento (A e B) comparado ao perfil de uma árvore sem danos (C).	88
Figura 35. Curvas de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para volume (v).	89
Figura 36. Perfil do tronco (A) indicando a ocorrência do primeiro dano do macaco-prego (5-6 anos) e disco da base da brotação apontando para 12-13 anos (B).....	93
Figura 37. Perfil do tronco, com anelamento entre 7 e 8 anos de idade.	93
Figura 38. Percentuais do sortimento do volume médio individual para as brotações (percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial da brotação).....	99
Figura 39. Evolução do sortimento médio individual por classes de idade para árvores de <i>Pinus taeda</i> (percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial).....	106
Figura 40. Sortimento médio individual aos 18 anos para os três grupos de árvores de <i>Pinus taeda</i> (percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial).....	107
Figura 41. Sortimento ($m^3 \cdot ha^{-1}$) para árvores danificadas aos 18 anos incluindo brotações (percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial).	109
Figura 42. Sortimento ($m^3 \cdot ha^{-1}$) para povoamento danificado e para o povoamento não danificado aos 18 anos percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial).....	110
Figura 43. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total com casca para as árvores de <i>Pinus taeda</i> não danificadas por macacos-prego.	122
Figura 44. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (sem casca) para as árvores de <i>Pinus taeda</i> não danificadas por macacos-prego.	123
Figura 45. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total com casca para as árvores de <i>Pinus taeda</i> com danos do tipo janelamento (grupo I)...	124
Figura 46. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (sem casca) para as árvores de <i>Pinus taeda</i> com danos do tipo janelamento.....	125

Figura 47. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (com casca) para as árvores de <i>Pinus taeda</i> com danos do tipo anelamento (grupo II).	126
Figura 48. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume fuste principal (sem casca) para as árvores de <i>Pinus taeda</i> com danos do tipo anelamento (grupo II).	127
Figura 49. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (com casca) para as árvores de <i>Pinus taeda</i> com danos do tipo anelamento (volume do fuste) e janelamento juntos.	128
Figura 50. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (sem casca) para as árvores de <i>Pinus taeda</i> com danos do tipo anelamento (volume do fuste) e janelamento juntos (grupo III).	129
Figura 51. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total com casca para as árvores de <i>Pinus taeda</i> com danos do tipo anelamento (volume do fuste e brotações) e janelamento (grupo IV).	130
Figura 52. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (sem casca) para as árvores de <i>Pinus taeda</i> com danos do tipo anelamento (volume do fuste e brotações) e janelamento juntos.	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos matemáticos ajustados para estimar o volume individual de árvores danificadas e não danificadas de <i>Pinus taeda</i>	42
Tabela 2. Classes de sortimento usadas na comercialização de madeira de <i>Pinus taeda</i> em várias regiões do sul do Brasil.	49
Tabela 3. Preços dos sortimentos de <i>Pinus taeda</i> (madeira posta na beira do talhão) com e sem danos causados por macacos-prego no sul do Brasil.	52
Tabela 4. Estatísticas diamétricas para as áreas danificada (talhão 05) e não danificada (talhão 01).	55
Tabela 5. Número de árvores amostradas para cubagem e análise de tronco completa para árvores danificadas e não danificadas em classes de diâmetro.	57
Tabela 6. Estatísticas diamétrica para as áreas danificada (talhão 05) e não danificada (talhão 01) referentes à amostra na idade da coleta dos dados (18 anos).	57
Tabela 7. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para estimar volume com casca para árvores de <i>Pinus taeda</i> não danificados e danificados por macaco-prego.	60
Tabela 8. Teste de identidade de Graybill (1976) para ajuste de modelo volumétrico de árvores de <i>Pinus taeda</i> danificados e não danificados por macacos-prego.	63
Tabela 9. Teste de identidade de modelos de Graybill (1976) para ajuste de modelo volumétrico de árvores de <i>Pinus taeda</i> danificados por macacos-prego.	64
Tabela 10. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão para o modelo de afilamento ajustado para árvores danificados e não danificados por macacos-prego (com casca).	65
Tabela 11. Fatores de forma artificial ($f_{1,3}$) por idade para os três grupos de árvores estudados.	70
Tabela 12. Médias para o fator de forma artificial ($f_{1,3}$) por idade para árvores não danificadas e janeladas.....	71
Tabela 13. Teste de Tukey para as médias de diâmetros à altura do peito (DAP) por idades para árvores não danificados, janeladas e aneladas.	73
Tabela 14. Teste de Tukey para as médias de altura total (h) por idades para árvores não-danificados, janeladas e aneladas de <i>Pinus taeda</i>	75
Tabela 15. Teste de Tukey para as médias de área transversal (g) por idades para árvores não-danificados, janeladas e aneladas.....	76
Tabela 16. Teste de Tukey para as médias de volume total com casca (v) por idades para árvores não danificados, janeladas e aneladas.....	77
Tabela 17. Coeficientes do modelo de Chapman-Richards para as variáveis DAP com casca, altura total, área transversal com casca e volume total com casca e suas respectivas estatísticas de ajuste e precisão, para árvores aneladas, janeladas e árvores não danificados de <i>Pinus taeda</i> . 78	
Tabela 18. Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear proposto por de Regazzi (2003), aplicado para o modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro com casca (DAP).....	90
Tabela 19. Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear proposto por de Regazzi (2003), aplicado para o modelo de Chapman-Richards ajustado para a área transversal com casca (g).	91

Tabela 20. Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear proposto por de Regazzi (2003), aplicado para o modelo de Chapman-Richards ajustado para a altura total (h).....	91
Tabela 21. Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear proposto por de Regazzi (2003), aplicado para o modelo de Chapman-Richards ajustado para a o volume total com casca (v).	92
Tabela 22. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 8 a 11 anos para árvores aneladas de <i>Pinus taeda</i>	95
Tabela 23. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 8 a 11 anos para árvores janeladas de <i>Pinus taeda</i>	95
Tabela 24. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 12 a 15 anos para árvores aneladas de <i>Pinus taeda</i>	96
Tabela 25. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 12 a 15 anos para árvores janeladas de <i>Pinus taeda</i>	96
Tabela 26. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 16 a 18 anos para árvores aneladas de <i>Pinus taeda</i>	97
Tabela 27. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 16 a 18 anos para árvores janeladas de <i>Pinus taeda</i>	97
Tabela 28. Percentuais médios de volume comercial por classe de sortimento para brotações das árvores aneladas aos 18 anos.....	98
Tabela 29. Evolução do sortimento (8 a 11 anos) para árvores aneladas, janeladas e não danificados de <i>Pinus taeda</i>	101
Tabela 30. Evolução do sortimento (12 a 15 anos) para árvores aneladas, janeladas e não danificados de <i>Pinus taeda</i>	102
Tabela 31. Evolução do sortimento (16 a 18 anos) para árvores aneladas, janeladas e não danificados de <i>Pinus taeda</i>	103
Tabela 32. Volume por classe de sortimento e idade para árvores aneladas, janeladas e não danificados.....	111
Tabela 33. Volume por classe de sortimento e idade para árvores aneladas (com brotações), janeladas e não danificados.	113

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo avaliar as perdas de crescimento e as consequências econômicas produzidas por macacos-prego (*Sapajus nigritus*) em plantios de *Pinus taeda*. Os dados foram coletados em dois talhões da espécie, com 18 anos de idade, plantados na região Centro-Sul do estado do Paraná, os quais receberam similar tratamento silvicultural e pertencem à mesma classe de sítio, sendo um deles danificado e o outro não danificado pelo macaco-prego. Em uma primeira fase do trabalho de campo, duas parcelas com área de um hectare cada foram instaladas e medidas nos dois talhões, medindo-se os diâmetros e altura de todas as árvores. Em uma segunda fase, foram selecionadas e derrubadas 80 árvores (40 árvores danificadas e 40 não danificadas pelo macaco-prego) contemplando toda a variabilidade diamétrica. Nessas árvores, os volumes foram cubados pela fórmula de Smalian, gerando dados para ajustes de equações de volume, identificando-se e mensurando-se ainda a extensão dos danos sobre as 40 árvores danificadas, classificando-as em aneladas e janeladas. Foram coletados também nessas mesmas árvores, 663 discos (8 discos em cada árvore não danificada e janeladas e 9 discos nas árvores aneladas) para aplicação da técnica de análise de tronco completa (ANATRO) a fim de reconstituir o crescimento passado das variáveis diâmetro, área transversal, altura e volume, fator de forma comum nas várias idades, além de gerar dados dos perfis dos troncos nas várias idades, com os quais foram ajustados o polinômio de quinto grau para avaliar a evolução do sortimento. Com essas funções de afilamento, sortimentos por classes de idade foram estimados para o primeiro desbaste (8-11 anos), segundo desbaste (12-15 anos) e corte raso (16-18 anos). O modelo de Chapman-Richards foi utilizado para descrever as curvas de produção e as curvas de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA). O teste de Regazzi (2013) foi aplicado nas curvas de produção a fim de verificar a possibilidade de agrupar ou não os dados de árvores não danificadas e danificadas (dois grupos: aneladas e janeladas). O sortimento de madeira aos 18 anos para árvores não danificadas foi comparado com o sortimento para árvores danificadas, assim como as receitas produzidas. Para ajustar as equações de volume nas árvores danificadas por macacos-prego foram testados diferentes agrupamentos dos dados de acordo com o tipo de dano existente (anelada e janelada). O teste de identidade (teste de Graybill, 1976) foi empregado para verificar a possibilidade de ajuste de árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego em um único modelo ou se há necessidade de ajustá-las separadamente, assim como para verificar a possibilidade do ajuste de árvores com danos do tipo janelamento e danos do tipo anelamento em um único modelo. Os modelos testados para estimar o volume individual de árvores de *Pinus taeda* danificadas e não danificadas por

macacos-prego mostraram-se adequados, com alguma vantagem para o modelo de Meyer. O teste de identidade indicou que é necessário realizar ajuste das equações de volume específicas para árvores danificadas e não danificadas. Apontou ainda que, para as árvores danificadas devem ser realizados ajustes, separadamente, para árvores aneladas e janeladas. Os resultados gerados pela ANATRO indicaram que os primeiros danos ocorreram entre 5-6 anos de idade, porém a maioria ocorreu entre 7-8 anos. A altura foi a variável mais afetada com os danos de macacos-prego, reduzindo em aproximadamente 50% seu potencial de crescimento para danos do tipo anelamento e, por consequência, afetando o volume. As árvores janeladas apresentaram volume médio individual superior ao das árvores não danificadas e isso ocorreu devido ao processo de cicatrização das fissuras abertas pelos macacos e também pela excentricidade da seção onde ocorreu o dano. O teste de Regazzi (2013) demonstrou diferença entre as curvas de crescimento para as variáveis diâmetro (DAP), altura (h) e volume (v), não sendo possível o uso da mesma equação para os três grupos de árvores avaliados (aneladas, janeladas e não danificadas). As curvas produzidas com as funções de afilamento em várias idades, assim como o fator de forma por idade permitiram descrever a evolução média da forma dos troncos para árvores não danificadas, janeladas e aneladas, constatando-se que as árvores danificadas se tornaram mais cilíndricas com a idade que as árvores não danificadas. Os danos à madeira concentraram-se principalmente nos sortimentos destinados à celulose (8-18 cm) e serraria 2 (18-25 cm). No corte raso o principal produto obtido para o povoamento danificado e para o povoamento não danificado foi destinado à serraria 1 (25-35 cm). A diferença entre as receitas obtidas para o povoamento danificado e para o povoamento não danificado foi de 12%, o que equivale a R\$ 5.426,48. ha⁻¹.

Palavras-chave: *Sapajus nigritus*, danos florestais, evolução do sortimento, avaliação econômica, incremento.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the growth losses and the economic consequences produced by Capuchin monkeys (*Sapajus nigritus*) in *Pinus taeda* plantations. The data were collected in two stands of this species of the same age, 18 years old, planted in the Center-South region of the Paraná state, Brazil which received similar silvicultural treatment and belonged to the same site class, one of them being damaged and the other not damaged by the Capuchin monkeys. In a first phase of the field work, two plots with area of one hectare each were installed and measured in the two stands, measuring the diameters and height of all the trees. In a second phase, 80 trees (40 trees damaged and 40 trees not damaged by the Capuchin monkeys) were selected and felled, contemplating all the diametric variability. In these trees, the volumes were obtained by the Smalian formula, generating data for adjustments of volume equations, identifying and measuring the extent of damages on the 40 trees damaged, classifying them as ringed and windowed. In the same trees, 663 discs (8 discs in each non-damaged tree and 9 discs in ringed trees) were used for the application of the complete stem analysis in order to reconstitute the past growth of the variables diameter, individual basal area, height and volume, common form factor at the various ages, besides generating data of the profiles of the stem at the various ages, with which the fifth degree polynomial were adjusted to evaluate the evolution of the assortment. With these taper functions, assortment grouped by classes of age were estimated for the first thinning (8-11 years), second thinning (12-15 years) and with a clear cutting (16-18 years). The Chapman-Richards model was used to describe the production curves and the current annual increment curves (CAI) and mean annual increment (MAI) curves. The Regazzi test (2013) was applied to the production curves to verify the possibility of grouping or not the data of non-damaged and damaged trees (two groups: ringed and windowed). The assortment of wood at 18 years of age for non-damaged trees was compared to the assortment for damage trees, as well as the income produced. To adjust the volume equations in trees damaged by Capuchin monkeys, different groupings of the data were tested according to the type of damage (ringed and windowed). The identity test (Graybill test, 1976) was used to verify the possibility of adjustment of damaged and undamaged trees by single-pronged Capuchin monkeys in a single model or whether there is a need to adjust them separately, as well as to verify the possibility of adjustment of trees with windowing-type damages and ring-type damages in a single model. The models tested to estimate the individual volume of *Pinus taeda* trees damaged and undamaged by monkey-monkeys proved to be adequate, with some advantage for the Meyer model. The identity test indicated that it is necessary to adjust the volume

equations specific to damaged and undamaged trees. He also pointed out that, for damaged trees, adjustments should be made, separately, for ringed and windowed trees. The results generated by Complete stem analysis indicated that the first damage occurred between 5-6 years of age, but most occurred between 7-8 years. Height was the variable most affected by the damage of the Capuchin monkeys, reducing its growth potential by approximately 50% for ring-like damages and, consequently, affecting volume. The windowed trees presented a higher individual medium volume compared to not damaged group. This happened due to the cicatrization process of the fissure caused by the monkeys as well as due the excentricity of the section where the damage occurred. The Regazzi test (2013) showed a difference between the growth curves for the variables diameter (dbh), height (h) and volume (v), and it was not possible to use the same equation for the three groups of trees evaluated (ringed, windowed and non-damaged). The curves produced with the taper functions at various ages, as well as the form factor by age, allowed to describe the average evolution of the stem taper to non-damaged, windowed and ringed trees, and it was verified that the damaged trees became more cylindrical with the age than the trees not damaged. The damages to the wood were mainly concentrated in the assortments destined to pulpwood (8-18 cm) and sawmill 2 (18-25 cm). In the clear cutting, the main product obtained for the damaged and non-damaged stands was assigned to sawmill 1 (25-35 cm). The difference between the income obtained for the damaged stand and for the non-damaged stand was 12%, which is equivalent to R\$ 5,426.48.ha⁻¹.

Keywords: *Sapajus nigritus*, forest damage, evolution of the assortment, economic evaluation, increment.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, uma nova problemática vem preocupando produtores florestais. Trata-se do macaco-prego (*Sapajus nigritus* Goldfuss, 1809), um animal de pequeno porte, mas que vem ocasionando grandes prejuízos ao setor florestal no sul do Brasil.

No ano de 2003, a Embrapa Florestas deu início ao programa Macaco-Prego. Pesquisadores, preocupados com os danos causados por macacos-prego às plantações de *Pinus* spp. no sul do país, deram início às pesquisas com a finalidade de estudar a espécie, seus hábitos e tentar descobrir alternativas para reduzir os danos causados a essas plantações.

Segundo Liebsch *et al.* (2015) o macaco-prego é considerado um dos primatas mais inteligentes das Américas, e vem desenvolvendo novos hábitos. Segundo esses autores, para não correr o risco de ser caçado por uma jaguatirica, a espécie evita atravessar a floresta pelo chão, pulando de galho em galho até alcançar o terço superior dos *Pinus* spp. Eles até utilizam pedras como ferramentas para obter alimento.

Para Mikich e Liebsch (2014) a principal causa dos descascamentos de árvores é a falta de recursos causada pela forte flutuação sazonal na disponibilidade dos frutos, que provavelmente está relacionado ao clima mais extremo.

No estado de Santa Catarina o dano do macaco-prego é bastante intenso em plantios de *Pinus* spp., como relatou o Presidente da Associação Catarinense de Empresas Florestais, Epiátgoras Oliveira Costa: “*Estamos fazendo o balanço e não temos dados concretos sobre isso (os prejuízos)*” (SILVA, 2011). Dessa forma, o macaco-prego tem causado grande preocupação ao setor florestal do sul do Brasil, pois além de não se saber como controlar a espécie, ainda faltam muitas informações sobre os tipos de danos causados nas árvores, bem como as doenças e pragas que podem estar associadas ao dano e também como o crescimento das árvores é afetado e, principalmente, quais são os reais danos econômicos causados.

Apesar da relevância do tema para o setor florestal, são poucas as informações para diagnosticar os reais danos econômicos gerados pelo macaco-prego. Muitos produtores avaliam suas perdas contabilizando apenas árvores com 100% de perda (árvores mortas) sem considerar a possível perda de incremento anual ou da qualidade da madeira. Dados mais acurados, como por exemplo, se existe a perda de incremento anual em árvores que foram danificadas, mas não morreram pelo dano, podem gerar uma visão mais realista da situação (JUNGLES e VIDOLIN, 2009).

Uma das grandes dificuldades dos produtores florestais é prognosticar a produção futura de uma floresta, em especial aquelas que sofreram danos por macacos-prego. Muitos produtores predizem a sua produção com equações tradicionais disponíveis na literatura ou que foram desenvolvidas pelos próprios produtores para regiões específicas, porém para plantios danificados por macacos-prego, a produção predita não condiz com a realidade no momento da colheita, resultando em superestimativas da produção. Isso se deve aos danos que os macacos causam na madeira e que limitam o seu uso ou desclassificam a madeira para determinado fim.

Essa diferença entre a produção predita e a produção real pode ocasionar grandes problemas no planejamento estratégico dos produtores florestais e na expectativa financeira, gerando receitas abaixo dos valores esperados.

Diante do exposto e considerando a importância dos plantios de *Pinus taeda* L. para o setor florestal do sul do Brasil, a presente pesquisa buscou avaliar os danos causados pelos macacos-prego, seus efeitos sobre o crescimento das árvores e a respectiva consequência econômica, assim como, gerar ferramentas dendrométricas que auxiliem os produtores florestais nas estimativas da produção.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os danos causados pelos macacos-prego, seus efeitos sobre o crescimento e a consequência econômica produzida na receita de plantios de *Pinus taeda* L. A pesquisa buscou ainda, gerar ferramentas dendrométricas mais acuradas que auxiliem os produtores florestais nas estimativas de produção.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimar o estoque atual existente em povoamentos danificados e não danificados por macaco-prego;
- Cubar árvores danificadas e não danificadas pelo macaco-prego para obter fatores de forma, ajustar equações de volume e de afilamento;
- Avaliar o crescimento passado de árvores danificadas e não danificadas com análise de tronco completa (ANATRO);
- Avaliar o efeito do dano dos macacos-prego no crescimento em diâmetro, altura, área transversal e volume das árvores;
- Identificar, por meio da ANATRO, em que idades ocorreram os primeiros danos;
- Estimar o sortimento de árvores danificadas e não danificadas;
- Determinar os percentuais de danos na madeira por idade e classe de sortimento;
- Gerar a receita bruta para o povoamento danificado e para o povoamento não danificado e avaliar suas possíveis perdas econômicas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Macaco-prego (*Sapajus nigrinus* Goldfuss, 1809)

Sapajus nigrinus, anteriormente classificado como *Cebus nigrinus*, é uma espécie endêmica da Floresta Atlântica e sua distribuição se dá no sudeste e sul do Brasil e no noroeste da Argentina, na província de Misiones. Trata-se de um animal de pequeno porte com no máximo, 4,5 kg e que vive em grupos de 6 a 30 indivíduos liderados por um macho dominante (FRESSE e OPPENHEIMER, 1981 apud MIKICH e LIEBSCH, 2009).

A proposta inicial da mudança de *Cebus nigrinus* para *Sapajus nigrinus* foi sugerida por José de Sousa e Silva Júnior em seu doutorado na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ele propôs dois subgêneros: *Cebus* para os caiararas, mais esguios, distribuídos da Amazônia para o norte, e *Sapajus* para os macacos-prego, mais robustos e muitas vezes caracterizados por um topete na cabeça, espalhados da Amazônia para o sul. Mas foi no trabalho de Jessica W. Lynch Alfaro que a subdivisão se ampliou por meio de amplas análises genéticas, realizadas sobretudo na Universidade Federal do Amazonas (UFAM) que ficou demonstrado que *Cebus* e *Sapajus* eram diferentes a ponto de serem considerados gêneros distintos embora de tamanho parecido (GUIMARÃES, 2012).

Segundo Alfaro *et al.* (2012), o primata que deu origem aos macacos-prego e caiararas vivia no oeste da Amazônia há mais de 6 milhões de anos e os *Sapajus* tiveram origem num ancestral que chegou à mata atlântica e se diversificaram. Tudo isso estava relacionado à geografia de sua distribuição atual, em que a formação do rio Amazonas foi responsável por criar uma separação norte-sul que isolou os primatas que ali viviam, gerando a ramificação na genealogia que deu origem a *Cebus* e a *Sapajus*. Somente por volta de 2 milhões de anos atrás, o grupo que deu origem aos macacos mais robustos se espalhou pela mata atlântica. Segundo os autores a ocupação de toda a costa brasileira, ocorreu de forma rápida em conjunto com uma grande diversificação de espécies, sendo que há cerca de 700 mil anos a expansão ao sul chegou até a Argentina, próximo às cataratas do Iguazu e rumou para o norte ocupando o cerrado, na região central do Brasil.

Segundo Anderson *et al.* (2014) os macacos-prego são bastante generalistas em termos de comportamento e alimentação. Trata-se de uma espécie com grande flexibilidade, diversidade e complexidade comportamental, que os permite viver em áreas antropizadas, próximas a centros urbanos e conviver com humanos, podendo essa espécie viver até 30 anos.

Com os aumentos sucessivos dos processos de fragmentação e empobrecimento de habitats, a espécie passou a incluir diversos itens cultivados pelo homem à sua dieta, como frutas produzidas em pomares, milho, cana-de-açúcar e espécies florestais como *Pinus* spp. Esse comportamento vem causando grandes preocupações entre os produtores de florestas comerciais, considerando os prejuízos econômicos potenciais ou reais provocados por esse primata (ROCHA, 2000).

Apesar dos prejuízos para o setor, o macaco-prego não deve ser visto como uma praga, pois é um importante dispersor de sementes e predador de insetos e, portanto, um elemento fundamental para a manutenção dos ecossistemas florestais. Ressalta-se que, por se tratar de uma espécie da fauna nativa, o macaco-prego é protegido pela Lei Nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998 e seu abate ou tentativa de impedir que a espécie se reproduza, constituem-se em crimes ambientais (MIKICH e LIEBSCH, 2009).

3.2 Danos em árvores plantadas de pinus atacadas pelo macaco-prego

Os primeiros danos causados por macacos-prego em plantios de *Pinus* spp. no sul do Brasil foram registrados na década de 1950, entretanto foi na década de 1990 que os danos aos povoamentos aumentaram de intensidade (ROCHA, 2000). Nas últimas décadas os danos estão mais frequentes, provavelmente em função do aumento da área plantada e do monitoramento florestal (MIKICH *et al.*, 2015). Os plantios florestais de *Pinus* spp. ocupam 1,6 milhão de hectares e concentram-se principalmente nos estados do Paraná (42%), Santa Catarina (34%) e Rio Grande do Sul (12%) (IBÁ, 2017), praticamente a mesma distribuição geográfica dos macacos-prego (*Sapajus nigritus*), que vai do sul de Minas Gerais ao norte do Rio Grande do Sul e parte da Argentina (ALFARO *et al.*, 2012).

Para os pesquisadores Mikich *et al.* (2015) os danos dos macacos-prego aos plantios florestais é crítico nas regiões em que a floresta nativa foi ou é explorada/suprimida, pois isso reduz a abundância de espécies que servem de alimento para o macaco-prego. Para Liebsch *et al.* (2018), esses primatas descascam árvores de pinus para consumir seiva em períodos de escassez de frutos nos remanescentes de Floresta com Araucária onde vivem.

Na busca para compreender porque os macacos-prego vêm se alimentando da seiva elaborada de pinus, além da redução das áreas de florestas nativas e escassez dos recursos naturais, Rocha (2000) mencionou mais duas hipóteses que segundo o autor precisariam ser avaliadas: a primeira é que os animais seriam atraídos pela alta palatabilidade da resina e a

segunda hipótese é que poderia estar ocorrendo um aumento populacional de macacos devido a ausência de predadores e alta disponibilidade de recursos.

Os macacos descascam as árvores de pinus e diversas outras espécies (por exemplo: eucaliptos, cupressus, araucária, cuvinga) e raspam o tecido exposto com os dentes e unhas, o que danifica o tronco e compromete o crescimento e, eventualmente, a sobrevivência das árvores danificadas. As árvores podem ser descascadas inúmeras vezes em diferentes posições e alturas e a seiva é apreciada porque, tal como os frutos, tem em sua composição uma grande quantidade de açúcares, além de outros nutrientes (MIKICH *et al.*, 2015).

Almeida (2013) avaliou a variação na concentração de nutrientes e antinutrientes na seiva de *Pinus* spp. e sua relação com os danos causados por macacos-prego (*Sapajus nigritus*). A autora analisou a quantidade de nutrientes e antinutrientes em três espécies, *P. taeda*, *P. elliotti* e *P. patula*, a última, evitada pelos macacos e considerou que a seiva é um item alimentar de baixa preferência, mas, com alta importância para o macaco-prego, pois compreende a maior parte da sua dieta em determinados períodos do ano em que há escassez de outros alimentos. A autora identificou que as espécies de *Pinus taeda* e *P. elliotti* apresentaram valores consideravelmente altos de glicose e frutose nas estações em que houve maior consumo de seiva (inverno/primavera) enquanto o *P. patula*, evitado por *S. nigritus*, apresentou uma concentração média mais baixa desses açúcares. Ainda como resultado das análises de Almeida (2013) o *P. patula* apresentou um teor bastante elevado de compostos fenólicos no inverno, com média quase quatro vezes superior às outras duas espécies na mesma estação, sendo essa substância capaz de repelir os danos do macaco-prego.

Os pesquisadores Mikich *et al.* (2015), ainda justificaram a preferência do macaco-prego pela espécie *Pinus taeda* e *P. elliottii*, devido a maior quantidade de seiva e floema que o animal obtém por área descascada e com a facilidade de remover a casca quando comparados às demais espécies, comumente plantadas no sul do País para a produção de madeira e celulose, tais como *P. oocarpa*, *P. patula*, etc.

Os danos às árvores podem ser classificados como do tipo janelamento, quando apenas uma face do tronco é descascada, ou anelamento (Figura 01), quando o dano atinge todas as faces, sendo este mais grave, já que interrompe o fluxo de seiva, comprometendo o desenvolvimento e o crescimento da árvore e podendo levá-la à morte (KOEHLER e FIRKOSKI, 1996; ROCHA 2000; MIKICH e LIEBSCH, 2014; LIEBSCH *et al.*, 2015).

Os danos ocorrem nas partes mais altas da árvore (terço superior do tronco) e serão tanto mais graves quanto mais novas forem às árvores danificadas, pois comprometem o

desenvolvimento e o crescimento das mesmas (ROCHA, 2000). As árvores começam a ser danificadas pelo macaco-prego geralmente entre 5 e 6 anos de idade e podem se estender por toda a vida da árvore (MIKICH *et al.*, 2015).



Figura 1. Ilustração dos danos Janelamento (A) e Anelamento (B) causados por macaco-prego. Fonte: (A) PIRES NETO (2014), (B) LIEBSCH (2009).

3.3 Crescimento das árvores danificadas pelo macaco-prego

Ainda são poucos os trabalhos sobre como os danos dos macacos-prego afetam o crescimento das árvores de *P. taeda*, dentre os quais está o trabalho de Carvalho (2007). Este Autor buscou levantar informações sobre as quantidades de árvores de *Pinus* spp. que foram danificadas por macacos-prego, identificando os danos ocorridos e também verificou se existiam diferenças significativas entre os diâmetros (diâmetro a 1,3 m do solo – DAP) das árvores danificadas e não danificadas, em plantios da espécie nos municípios de Ventania e Jaguariaíva, região noroeste do estado do Paraná. Constatou diferenças significativas nos diâmetros (DAP) entre as árvores danificadas e não danificadas ($t = 7,63$, $gl = 722$, $p < 0,05$) no município de Ventania, sendo que as árvores danificadas tinham maior DAP médio. Também em Jaguariaíva as médias diamétricas eram diferentes estatisticamente ($t = 7,63$, $gl = 722$, $p < 0,05$), todavia, as árvores danificadas tinham DAP médio menor que as não danificadas.

Liebsch *et al.* (2015) descreveram os efeitos dos danos causados pelo macaco-prego sobre o incremento em diâmetro e volume em plantios de *P. taeda*. Os autores avaliaram o incremento em diâmetro a altura do peito (DAP) a partir do momento do dano até a idade final, e puderam observar que nas árvores com danos do tipo janela (como os autores classificaram), a perda em crescimento foi mais acentuada em árvores jovens, variando de 3,5 a 0,7% aos 5,5 anos e 10 anos de idade, respectivamente. Já para as árvores que sofreram ferimentos do tipo anelamento, na primeira avaliação (5,5 anos) a perda foi de 25,7%, caindo gradativamente chegando a 4,2% no último ano (10 anos).

Avaliando em termos volumétricos, Liebsch *et al.* (2015) compararam indivíduos danificados com indivíduos sem danos e observaram que o dano do tipo janela ocasionou uma perda de 7,0% aos 5,5 anos, atingindo 1,4% aos 10 anos de idade. Para o dano tipo anelamento o incremento em volume sofreu uma redução de 44,9% quando os danos foram ocasionados aos 5,5 anos, sendo que esse valor caiu gradativamente nos anos seguintes, chegando a 8,2% aos 10 anos.

Por meio da sua pesquisa Liebsch *et al.* (2015) observaram ainda que, quanto mais jovem for o povoamento no momento do dano pelo macaco-prego, maiores serão os prejuízos econômicos, pois acabam danificando o terço superior das árvores entre 5 e 7 metros de altura, atingindo partes mais nobres das árvores que possuem alto valor comercial.

Utilizando-se dos dados do trabalho de Liebsch *et al.* (2015) anteriormente citado, Oliveira *et al.* (2015) apresentaram um procedimento desenvolvido para calibrar o *software* SisPinus visando projetar o crescimento e a produção de povoamentos danificados por macaco-prego, em função de diferentes níveis de danos e idades de ocorrência dos mesmos. Segundo os autores esse procedimento permite que o SisPinus quantifique, para os anos subsequentes aos danos, a produção madeireira do povoamento danificado por macacos-prego, quantificando os danos tanto em termos de volume total quanto de volume por classe de uso (sortimentos).

Oliveira *et al.* (2015) desenvolveram três planilhas em *Excel* que foram construídas e interligadas a uma planilha já existente no software, destinada ao cálculo de volume parcial de fustes para sortimento da madeira em classes de uso industrial (sortimentos). As três planilhas indicam as perdas pelo decréscimo de crescimento das árvores e também calculam as perdas decorrentes dos danos físicos no fuste.

Para utilizar as planilhas desenvolvidas por Oliveira *et al.* (2015) é necessário ter em mãos, dados de altura total (m) das árvores, altura inferior do dano (m), comprimento do dano

(m), diâmetro à altura do peito 1,30 m (DAP) e o tipo de dano (janelamento ou anelamento). Segundo esses autores, tendo por base a evolução da incidência, os tipos de dano e o efeito destas variáveis no crescimento em diâmetro das árvores, podem ser obtidos fatores que ajustam o Índice de Sítio para considerar o nível de dano e a idade de ocorrência na produtividade dos povoamentos, ou seja, por meio das planilhas é realizada a correção dos Índices de Sítios, os quais são aplicados na estimativa do crescimento e produção de povoamentos danificados.

Pavelski (2016) utilizou o *software* Sispinus para simular o crescimento dos talhões e o crescimento corrigido dos mesmos, para determinar perdas de volume. O Autor avaliou dezoito fazendas de uma determinada empresa localizada no meio-oeste catarinense, constatando que apenas três delas apresentaram danos de macacos-prego. Utilizou então, as planilhas desenvolvidas por Oliveira *et al.* (2015) para correção do índice de sítio, chegando a valores de perdas em volume nos talhões danificados que variaram entre $12,6 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (2,30%) a $47,3 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (8,96%) no final de um ciclo de 18 anos.

3.4 *Pinus taeda* L.

A introdução do gênero *Pinus* no Brasil, visando plantios comerciais, ocorreu por volta dos anos 1966 com a política dos incentivos fiscais, utilizando-se espécies provenientes de diferentes regiões dos Estados Unidos da América (EUA), México, América Central, Ilhas Caribenhas e Ásia (SHIMIZU, 2008). Os plantios de pinus, em 2017, ocupavam 1,6 milhão de hectares e concentravam-se (Figura 2) no estado do Paraná com 672.607 ha (42%), Santa Catarina com 545.835 ha (34%) e no Rio Grande do Sul com uma área de 184.595 ha (12%) (IBÁ, 2017).

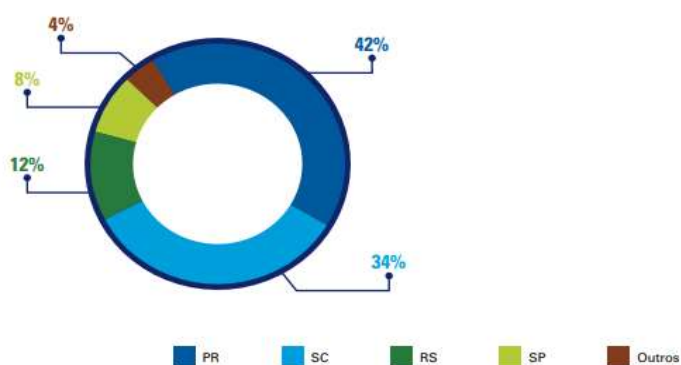


Figura 2. Distribuição do gênero pinus no Brasil no ano de 2016.
Fonte: IBÁ, 2017.

Segundo IBÁ (2017), a indústria de base florestal é mundialmente reconhecida pela alta produtividade das árvores plantadas no Brasil. Em 2016, o país manteve sua liderança no ranking global de produtividade florestal com uma média para os plantios de pinus de 30,5 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. O crescente aumento de produtividade (m³.ha⁻¹) do gênero *Pinus* se deve principalmente ao uso de materiais genéticos superiores oriundos de programas de melhoramento genético, aliado às condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do gênero principalmente na região sul e sudeste do país.

Nos Estados Unidos, região de ocorrência natural do gênero *Pinus*, a espécie *Pinus taeda* L. é a mais importante dentre as espécies florestais plantadas comercialmente, no sul e sudeste do país. A espécie ocorre em toda a região, desde Delaware, no nordeste, até o Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao oeste, estende-se até o oeste do Rio Mississippi. A cobertura florestal com esta espécie, nos Estados Unidos, é estimada em 11,7 milhões de hectares (SHIMIZU, 2014).

Segundo Marto (2009) as florestas de pinus se diferenciam pelo seu “multi-uso”, sendo a espécie *P. taeda* indicada para a produção de celulose, papel, resina, madeira serrada, postes, moirões, dormentes, laminação, indústria de MDF, movelaria e seus resíduos podem ser aproveitados para energia.

No início da introdução da espécie, as árvores apresentavam baixa qualidade do fuste, sendo tortuosos, bifurcados e com ramos grosseiros, apesar do vigor e da alta produtividade de biomassa lenhosa. Essas características da espécie ocorreram devido à procedência das sementes, as quais foram coletadas de povoamentos de baixa qualidade genética. Graças aos programas de melhoramento genético conduzidos para a espécie e das técnicas de manejo, encontram-se disponíveis no mercado, material genético de alta qualidade e produtividade (SHIMIZU, 2014).

As condições edafoclimáticas da região sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), assim como as províncias de Misiones e Corrientes na Argentina, têm-se caracterizado como áreas de maior potencial de crescimento de *P. taeda* no mundo, alcançando incrementos médios anuais (IMA) superiores a 40 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ aos 18 anos de idade (FERREIRA, 2005), níveis de produtividade que estão entre os maiores do mundo. Esses valores são bastante superiores aos das plantações nos EUA, local de ocorrência natural da espécie, onde a média de incremento médio anual (IMA) é 10 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ABRAF, 2006).

Muitas pesquisas foram desenvolvidas para avaliar o crescimento e desenvolvimento da espécie *P. taeda* no Brasil. Matos (1997) em seu estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *P. taeda* utilizou árvores provenientes do estado de Santa Catarina, com 21 anos, as quais atingiram altura média de 19,4 m e DAP (diâmetro à altura do peito (1,30 m)) de 32,3 cm. Oliveira *et al.* (2006), trabalhando com a determinação das propriedades de *P. taeda* em função da idade e da posição radial da tora, na região de Sengés, estado do Paraná, encontraram para plantios de 9, 13 e 20 anos altura média de 12,6; 20,4 e 22,3 m e DAP médio de 19,8; 27,2 e 33,1 cm, respectivamente.

Dentre as características da espécie *P. taeda* está o baixo teor de resina natural na madeira, a qual fez com que essa espécie passasse a ser a melhor alternativa disponível para a indústria de celulose de fibras longas e papéis kraft. A espécie também se tornou a principal fonte de madeira para as serrarias, fabricação de painéis de madeira, pisos laminados e indústria de móveis, gerando uma alta diversidade de produtos e subprodutos (PRANGE, 2016).

Diante da alta produtividade das florestas de *Pinus* spp. e das demais espécies florestais plantadas no Brasil, o setor florestal contribui fortemente no desenvolvimento socioeconômico do país. Em relação ao PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro, o setor de árvores plantadas fechou o ano de 2016 com 1,1% de toda a riqueza gerada no país e 6,2% do PIB industrial. O PIB setorial alcançou R\$ 71,1 bilhões, com um decréscimo de 3,3% em relação ao ano anterior. Em 2016, o setor florestal empregou, diretamente, 510 mil pessoas. Estima-se que, no total, o número de postos de trabalhos da atividade florestal, diretos, indiretos e resultantes do efeito renda, tenha sido da ordem de 3,7 milhões (IBÁ, 2017).

3.5 Análise de tronco completa

A análise de tronco (ANATRO) é uma técnica que possibilita recuperar o crescimento passado de uma árvore, por meio da contagem e medição dos anéis de crescimento de seções transversais tomadas a diversas alturas no tronco da árvore. Para Husch *et al.*, (1982), a técnica de análise de tronco completa consiste na contagem e medições dos anéis de crescimento em diversas seções à diferentes alturas.

A análise de tronco completa é um método destrutivo, em que as árvores selecionadas são derrubadas para retirada de seções do troco em diferentes alturas absolutas e/ou relativas, muito aplicada a estudos de crescimento das árvores (MACHADO *et al.*, 2013; KOHLER,

2013). Para Rosot (2003) trata-se de um procedimento laborioso, devido ao trabalho de campo propriamente dito, que envolve a derrubada das árvores, a marcação e o seccionamento das fatias.

Essa técnica somente é aplicável em espécies que crescem acumulando camadas anuais visíveis na forma de cones superpostos, originados pela atividade dos tecidos meristemáticos apicais e do câmbio da árvore, interagindo com o meio ambiente onde ela cresce (FIGUEIREDO FILHO, 1991).

Essa técnica permite a reconstituição de todo o crescimento passado da árvore, considerando cada ano de crescimento como uma árvore individual, permitindo a obtenção de um extenso conjunto de dados acerca do crescimento em diâmetro, altura e volume, bem como a obtenção dos incrementos médios e anuais para essas variáveis (ENCINAS 2005; KOHLER, 2013).

Para Nutto *et al.* (2012) a grande limitação dessa técnica é que a espécie na qual ela será aplicada precisa apresentar um registro que evidencie o fim e o início de um período de crescimento (anéis de crescimento). Quanto mais evidentes forem os anéis, mais facilmente se define o fim e o início de um período de crescimento. Outras limitações da técnica de análise de tronco é que não se pode obter informações como ingresso, mortalidade e frequência de indivíduos por hectare (CAMPOS e LEITE, 2009).

Apesar das limitações citadas anteriormente Figueiredo Filho (1991) considerou a técnica de análise de tronco, como a mais acurada para avaliação da produção passada de variáveis medíveis em árvores que apresentam anéis de crescimento anuais e, portanto, muitas são as informações que podem ser obtidas por meio da análise de tronco completa. Dentre as principais estão: altura, diâmetro, área transversal, volume e incrementos médios e anuais, informações estas que podem ser recuperadas ano a ano, desde o início do crescimento vegetativo até o momento do corte. A análise de tronco também é muito utilizada para estudos de dendrocronologia, dendroclimatologia, dendroecologia, entre outros, além de ser utilizada para o desenvolvimento de modelos de crescimento e produção.

Nagel e Athari (1982) apud Santos (2006) consideraram a ANATRO uma importante fonte de dados para as pesquisas sobre os seguintes temas:

- Investigação sobre a reação do crescimento em relação a fatores ambientais (biótico, abiótico) e ao manejo do povoamento (adubação, poda e desbaste);
- Avaliação das alterações da forma dos troncos em função de fatores mencionados no item anterior;

- Sincronização das medidas dos anéis de crescimento e determinação do número de anéis ausentes como indicadores do grau de danos sofridos pelas árvores;
- Elaboração de modelos de produção.

Segundo JORGE *et al.* (2008), além da reconstituição do crescimento das árvores ao longo do tempo, a técnica de ANATRO permite avaliar uma série de características capazes de fornecer informações sobre a qualidade das toras e da madeira. Entre elas, os autores citaram a forma da seção transversal e a conicidade das toras, a largura dos anéis de crescimento, a proporção de lenhos inicial e tardio e de alburno e cerne. Incorporando-se a medição das dimensões das fibras, é possível estimar, também, as proporções de madeira juvenil e adulta.

Para obter bons resultados com a aplicação da técnica de ANATRO é necessário cuidados na escolha da base de dados e no processamento das amostras, tais como os citados por Encinas (2005):

- Seleção das árvores-amostra: a escolha das árvores a serem amostradas depende da finalidade do trabalho. Para estudos de classificação do sítio, devem ser escolhidas preferencialmente árvores dos estratos dominantes e co-dominantes (indivíduos livres de competição). Para a estimação dos valores médios da população deverão ser escolhidas as árvores que possuam o diâmetro de área basal média. A amostra deve conter árvores de diversos sítios, de diferentes idades e todas as classes sociológicas ou de tamanho.
- Seccionamento da árvore: para o seccionamento das árvores, deve-se procurar abranger o máximo de variação possível do fuste, levando-se em consideração o custo do processo e os aspectos operacionais. Após a retirada dos discos, estes devem ser identificados com o número da árvore e a porção do fuste em que foi retirado o disco.
- Secagem: a secagem do material deve ser realizada ao ar livre, em locais bem arejados e com sombra. Estará seco quando o teor de umidade dos discos estiver em equilíbrio com a umidade do ar. No caso do uso de estufa, o tempo de secagem poderá ser reduzido significativamente, sendo suficiente, três a cinco dias em estufa ventilada, a temperaturas em torno de 40 a 50°C.
- Marcação e medição dos anéis: para melhor visualização dos anéis, os discos devem ser lixados. Após as amostras serem lixadas deve-se proceder a marcação dos anéis, em que são traçados, em geral, 4 raios no sentido da medula para a borda do disco. Os quatro raios são perpendicularmente dispostos, sendo a espessura dos anéis de crescimento obtida pela média aritmética dos quatro raios.

A análise de tronco serve como base para diversos estudos nos mais diversos temas, tais como o trabalho de Campos e Turnbull (1980) que utilizou dados de análise de tronco para construção de curvas de índice de sítio para *Pinus patula*. Thomas *et al.* (2006) utilizaram dados de volume de árvores de *Pinus taeda* do estado de Santa Catarina, obtidos por análise de tronco. Wolff II (2012) realizou ajustes de modelos matemáticos com dados obtidos pela análise de tronco completa para gerar as equações que melhor representassem o crescimento e a produção futura dos plantios de *Pinus taeda* L. Figueiredo Filho *et al.* (2014) estudaram a dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *Araucaria angustifolia* com dados advindos de análise de tronco completa. Oliveira (2014) utilizou dados advindos de análise de tronco para avaliar o volume de cerne produzido em árvores de *Tectona grandis* L.f..

3.6 Crescimento e produção florestal

A produção florestal pode ser definida como o crescimento acumulado em um determinado período de tempo. Como por exemplo, a quantidade total de volume, ou outra variável, acumulada num determinado período de tempo (CAMPOS e LEITE, 2009). Para Spathelf e Nutto (2000) o crescimento de um indivíduo se refere ao acréscimo nas suas dimensões da altura, do diâmetro, da área basal, do volume, enquanto a produção é relacionada ao seu tamanho final após um período definido de observação.

O crescimento refere-se ao incremento em dimensão de um ou mais indivíduos do povoamento em um período de tempo determinado (por exemplo: crescimento em volume dado em $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), ou ao acréscimo das variáveis: altura, diâmetro, volume ou no valor de um sistema orgânico, podendo ser avaliados em termos de árvores individuais ou povoamentos (VANCLAY, 1994; SPATHELF e NUTTO, 2000). O crescimento de uma árvore ou de um povoamento é o mais importante acontecimento na floresta e consiste no alongamento e engrossamento das raízes, tronco e galhos, ocasionando mudanças na árvore, que influenciam no seu peso, volume e forma (DELLA FLORA, 2004).

Para Encinas *et al.* (2005), o crescimento em diâmetro refere-se ao aumento dessa variável em um determinado período de tempo. Também denominado crescimento secundário, influenciado pela atividade do câmbio, o diâmetro não cresce de maneira uniforme ao longo do fuste, sendo fortemente afetado pelo espaçamento. As densidades baixas favorecem o crescimento em diâmetro das árvores, espaçamentos maiores diminuem a

competição entre os indivíduos (DIÉGUEZ-ARANDA *et al.*, 2003). Para Schneider (1993) os incrementos em diâmetro podem ser influenciados por fatores como qualidade do sítio e idade, em que sítios bons ocorre uma taxa inicial maior de crescimento.

A altura da árvore é uma importante variável dendrométrica para estimar, junto com o diâmetro, o volume de madeira da árvore (FINGER, 2006). Já o crescimento em altura se produz pela atividade da gema apical ou terminal, com a divisão celular. Este crescimento é também chamado de crescimento primário (ENCINAS *et al.*, 2005). Para Finger (2006) a variável altura tem importância fundamental no estudo dos sítios, quando se quer descrever o comportamento e desenvolvimento de uma espécie, associados a um determinado local e analisada juntamente com a idade.

O volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal, sendo que o volume individual fornece um ponto de partida para a avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais (MACHADO *et al.*, 2005). O crescimento em volume depende do crescimento em diâmetro do tronco e do crescimento em altura e também da forma, sendo influenciado pelos mesmos fatores mencionados para o crescimento em altura e, principalmente, pela densidade da floresta (ENCINAS *et al.*, 2005).

Finegan (1993) relatou que os estudos de crescimento e produtividade das florestas estão fundamentados na medição de dimensões da árvore, tais como diâmetro do fuste e altura e, cálculo de outras variáveis derivadas destas, tais como área basal e volume. Os incrementos e a produtividade podem ser relacionados a fatores como estrutura e densidade da floresta e a qualidade do sítio para obter um melhor entendimento em relação a muitos objetivos de manejo.

Outras fontes de influência direta no crescimento são os fatores climáticos (temperatura, precipitação, vento, insolação etc.), pedológicos (características físicas, químicas e biológicas dos solos), topográficos (inclinação, altitude e exposição), biológicos (pragas e doenças) e pela própria competição com outras árvores e outros tipos de vegetação. Outros fatores que também se relacionam são aquelas derivadas de ações antrópicas tais como desbastes, incêndios, etc. (ENCINAS *et al.*, 2005).

Existem várias formas para expressar o crescimento de um povoamento florestal, para Campos e Leite (2009) as mais frequentes são:

- Incremento Corrente Anual (ICA): Corresponde ao valor da produção acumulado no período de um ano.

- Incremento Médio Anual (IMA): Produção até uma determinada idade particular, dividida por essa idade.
- Incremento Periódico (IP): Produção havida num definido período, o qual varia com a intensidade de crescimento.
- Incremento Periódico Anual (IPA): Representa a diferença de produção entre duas idades, dividida pelo período, em anos.

3.7 Fator de forma

Para Schneider (1993) as árvores possuem determinado tipo de forma de tronco que varia com a espécie e em função de vários fatores como o sítio, a densidade do povoamento, a intensidade do vento que age sobre a copa das árvores, e as intervenções silviculturais aplicadas nos povoamentos, como os desbastes e a desrama. Para Scolforo *et al.* (1998), o estudo da forma do fuste tem sido objeto de muitos estudos, dada a importância deste parâmetro na quantificação do volume.

Segundo Husch *et al.* (1982) o tronco de uma árvore pode apresentar diferentes formas, não se identificando especificamente com apenas um sólido, assim, o tronco das árvores pode ser geometricamente descrito como um neilóide na base, um parabolóide no meio e um cone no topo (Figura 3).

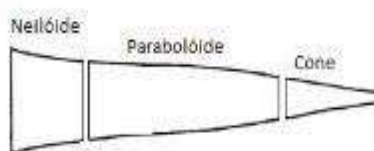


Figura 3. Forma do tronco de uma árvore.

De acordo com Figueiredo Filho (1991) o tronco das árvores pode ser geometricamente descrito como um neilóide na base, um parabolóide no meio e um cone no topo, sendo que os pontos de transição ou limites desses sólidos são de difícil determinação nos troncos, sendo por isso, de pouca importância prática. No entanto, segundo o autor esses pontos desempenham um grande valor teórico na definição de expressões matemáticas que descrevem a forma do fuste.

Uma das maneiras de expressar a forma do fuste é por meio do fator de forma, que é um fator de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore, podendo ser

verdadeiro ou artificial. Se o diâmetro do cilindro de referência for medido em uma altura relativa, o fator de forma será o verdadeiro, se for medido a uma altura absoluta será o fator de forma artificial (KOHLENER, 2013).

Árvores com mesmo diâmetro e mesma altura podem apresentar volumes e sortimentos distintos se a forma dos fustes for diferente. Este fato tem conduzido diversos pesquisadores a estudarem a forma das árvores objetivando alcançar maior acurácia na estimativa de volumes totais e, ou, parciais dos fustes (FERREIRA, 2004).

Segundo Drescher *et al.* (2001) quando se necessita avaliar os recursos florestais disponíveis num povoamento, a variável volume, com certeza, é uma das mais importantes variáveis a ser apreciada. E, para se calcular o incremento em volume de uma árvore, deve-se levar em consideração o crescimento em área transversal, altura e o desenvolvimento do fator de forma. Os autores ainda ressaltaram que a determinação do fator de forma artificial ou natural se constitui numa importante prática, quando se pretende estimar volume individual de árvores.

3.8 Funções de afilamento

Os modelos de afilamento são relações funcionais que permitem descrever o perfil longitudinal do tronco. São funções consideradas dinâmicas, porque possibilitam estimar o diâmetro (d_i) a uma determinada altura (h_i) e a altura a qualquer diâmetro especificado. As funções de afilamento também são utilizadas para fazer o sortimento e estudar a evolução da forma da árvore ao longo de sua vida (KOZAK *et al.*, 1969).

Para Ferreira (2004) com o desenvolvimento do setor florestal brasileiro e o aumento da demanda de mercado por produtos madeireiros, tornou-se cada vez mais importante o emprego de técnicas adequadas de inventário e manejo florestal com a finalidade de se realizar um diagnóstico mais completo e preciso da produção. Assim, com a necessidade de obter informações mais detalhadas sobre dimensões e volumes do tronco, foram desenvolvidas as funções de afilamento.

Em geral, a forma das árvores possui uma variação muito grande dentro da floresta. Essa variação ocorre por causa da diminuição do diâmetro em direção ao topo da árvore, sendo conhecida como *taper*, afetando diretamente o volume e variando com a espécie, idade, espaçamento entre árvores e condições do sítio (DRESCHER *et al.* 1999).

De acordo com Figueiredo Filho *et al.* (1996) o primeiro trabalho com equação de afilamento foi desenvolvido por Höjer, em 1903. Desde então, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos, tais como o de Scolforo *et al.* (1998); Fischer *et al.* (2001); Ferreira (2004); Figueiredo Filho *et al.* (2014); Stepka *et al.* (2017), dentre muitos outros. Segundo Figueiredo Filho *et al.* (1996), o polinômio do quinto grau tem sido o mais usado para descrever o perfil de *P. taeda* e *P. elliottii* na região sul do Brasil. Os modelos polinomiais, frequentemente utilizados no meio florestal, caracterizam-se por um ajuste de regressão que relaciona vários diâmetros tomados ao longo do tronco e respectivas alturas, com o DAP ou $D_{0,1}$ (diâmetro tomado a 0,10 m de altura do solo) e altura total das árvores (FERREIRA, 2004).

A descrição matemática do afilamento permite inferir na quantidade e dimensão das toras de forma dinâmica, simulando cenários de custo e renda, os quais podem auxiliar na definição da rotação da floresta (COSTA *et al.*, 2016). Assim, o estudo e desenvolvimento de equações de afilamento que representem com mais acurácia o perfil das árvores é de grande importância para o setor florestal.

3.9 Sortimento florestal

O sortimento florestal é o seccionamento da árvore pelas dimensões diâmetro e comprimento das toras, gerando estimativas de multiprodutos que permitem um melhor planejamento na busca de um maior retorno financeiro. Quanto maior o diâmetro e os comprimentos, maiores as dimensões das peças resultantes, conseqüentemente, podem gerar maiores preços no mercado (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2014).

O sortimento florestal também pode ser descrito como o termo utilizado para resumir a avaliação comercial de uma floresta em pé, em termos qualitativos e quantitativos, a partir de uma lista de diferentes multiprodutos, e constitui-se em uma ferramenta para tomada de decisões referentes ao manejo florestal (ARCE, 2000).

Para Soares *et al.* (2003), existe uma tendência de que parte das plantações florestais seja utilizada segundo o conceito de florestas para multiprodutos, em que de um mesmo fuste de uma árvore consegue-se extrair madeira para laminação, serraria, fabricação de papel e celulose e, ainda, aproveitar os resíduos da madeira para fabricação de chapas de fibras e geração de energia, entre outros produtos, sendo o uso de multiprodutos, provavelmente, a opção que apresente maior possibilidade de remuneração do produto advindo de povoamentos florestais.

De acordo com Machado *et al.* (2004), o aproveitamento de uma árvore deve ser feito de maneira que proporcione sempre o maior retorno financeiro. Assim, quando uma mesma árvore tem diversos usos finais, o seu valor agregado é maior, pois alcança preços diferentes no mercado. Segundo Souza *et al.*, (2008) a descrição e classificação dos fustes de forma otimizada, segundo sua qualidade, suas dimensões e suas possibilidades de utilização, garante, além da classificação física, melhor remuneração da madeira, com a destinação de toras de diversas bitolas ao mercado específico.

Desta forma, conhecer como se desenvolve o sortimento de um povoamento florestal ao longo dos anos, torna-se uma importante ferramenta para o planejamento da produção florestal, pois permite um melhor aproveitamento da madeira, reduzindo o volume de resíduos gerados e aumentando os lucros. Assim, planos de manejo mais adequados podem ser elaborados com base nesses estudos, auxiliando o manejador florestal a tomar decisões mais seguras acerca de quando e como devem ser realizadas as intervenções na floresta, atendendo às exigências do mercado (KOHLENER *et al.*, 2016).

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

Os dados foram coletados em um povoamento de *Pinus taeda*, localizado na região Centro-Sul do estado do Paraná. Este povoamento está situado na Fazenda Lageado Grande II (Figura 4) pertencente à Remasa Reflorestadora. A região tem topografia fortemente ondulada a montanhosa, com altitudes variando de 900 a 1100 metros. O clima mesotérmico do tipo temperado proporciona verões amenos e chuvosos e invernos mais secos e frios. As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, sofrendo influência de massa de ar polar e massas tropicais com precipitação anual encontrando-se entre 1.000 e 2.000 milímetros de chuvas, mais concentradas de novembro a janeiro. As temperaturas da região acompanham a dinâmica das massas de ar, correspondendo a uma média de 20° a 22°C no verão e 10° a 12°C no período de inverno (RECITECH, 2013).

Foram amostrados dois talhões estabelecidos em 1998 com espaçamento inicial de 3,0 x 2,5 m, os quais receberam os mesmos tratamentos silviculturais, além de pertencerem ao mesmo sítio (ver item 4.3). No talhão 01, com área de 13,81 ha, foram coletadas informações de árvores que não foram danificadas pelo macaco-prego e no momento da amostragem tinha 19 anos de idade. Por outro lado, o talhão 05 com área de 14,12 ha tinha, no momento da amostragem, 18 anos e 5 meses, e as árvores foram severamente danificadas pelo macaco-prego. Devido a essa diferença de idades, na análise de tronco, as medições e avaliações foram realizadas até os 18 anos de idade em ambos os talhões.

4.2 Inventário florestal

4.2.1 Amostragem

Para quantificar o dano causado pelo macaco-prego foram instaladas previamente duas parcelas, uma parcela de um hectare na área não danificada por macacos-prego (Figura 4 - talhão 01) e uma parcela de um hectare na área danificada por macacos-prego (Figura 4 - talhão 05).

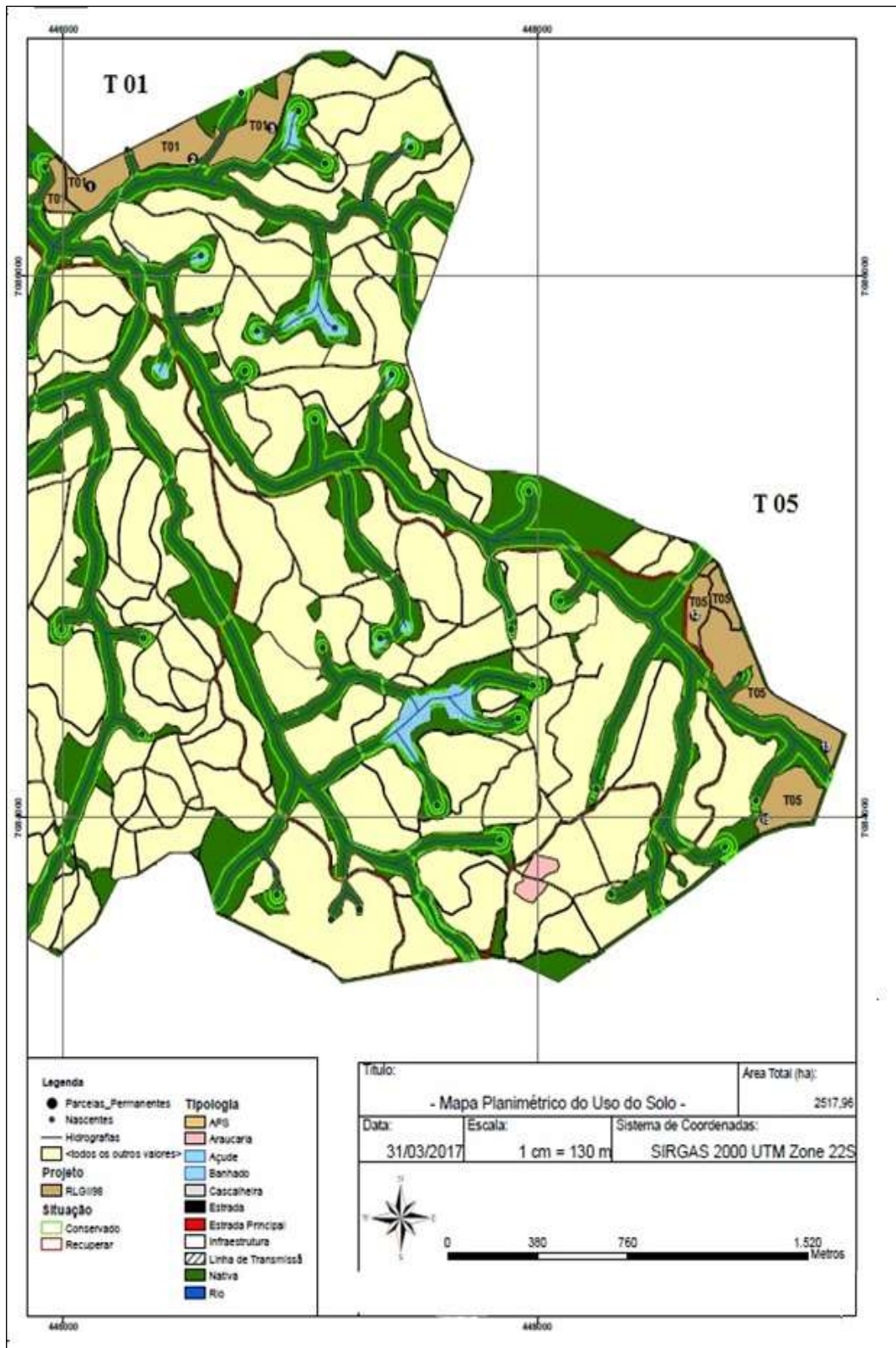


Figura 4. Área de coleta dos dados, talhão 01 e talhão 05.

4.2.2 Dados coletados

Nas parcelas instaladas no talhão 01 (não danificado) e talhão 05 (severamente danificado) foram medidos todos os diâmetros à altura do peito (DAP) e todas as alturas totais. No talhão 05 nas árvores que sofreram danos do tipo anelamento foi necessário medir a altura até o ponto de anelamento (hPA) e a altura total (h) (medindo a altura do maior fuste ou brotação que surgiu após o anelamento) (Figura 5). A medição das alturas em todas as árvores foi realizada devido ao grande número de árvores com ponteiros quebrados que existiam nos talhões, dificultando a estimativa de altura com uma relação hipsométrica. Os diâmetros (DAP) foram medidos com suta e as alturas com hipsômetro.



Figura 5. Altura até o ponto de anelamento (hPA) e altura total (h).

Para a determinação da altura dominante, foi utilizada a metodologia proposta por Assmann (1961), que correspondente à média aritmética da altura das 100 árvores mais grossas ou de maiores diâmetros por hectare.

Além das informações dendrométricas de cada árvore, estas foram classificadas como danificadas ou não danificadas pelo macaco-prego. No caso das árvores danificadas, foram, ainda, classificadas quanto ao tipo de dano: anelada ou janelada.

4.3 Capacidade produtiva do local

É fundamental em comparações de estudos de crescimento, garantir que os dados sejam coletados em talhões de mesmo sítio e para isto, a capacidade produtiva do local foi determinada pela equação (1) desenvolvida por Retslaff (2014). A autora testou equações para estimar altura dominante e construir curvas de índice de sítio pelo método da curva-guia, com dados de povoamentos de *P. taeda*, utilizando 3150 pares de valores h_{dom} e idade (I), com idades variando de 3,7 a 44,0 anos, construindo curvas de sítio com amplitude de 3 m. Segundo a autora, os dados utilizados nos ajustes são provenientes de diversas regiões do estado do Paraná, inclusive da região do presente estudo.

$$h_{dom} = S \cdot \left[\frac{1 - \left(e^{-0,0925913I} \right)}{1 - \left(e^{-0,0925913I_{ref}} \right)} \right]^{1,41987} \quad (1)$$

Em que: h_{dom} = altura dominante (m); I = Idade (anos); I_{ref} = idade referência ou idade índice de 18 anos.

4.4 Cubagem

A partir do inventário florestal, os dados foram agrupados em classes diamétricas com amplitude de 3 cm, a fórmula de Sturges foi empregada para definir o número de classes de diâmetro, para as árvores danificadas e não danificadas pelo macaco-prego. Foram selecionadas para cubagem e análise de tronco completa (ANATRO), 40 árvores não danificadas e 40 árvores danificadas, distribuídas em todas as classes de diâmetro, as quais foram utilizadas para ajustar equações de volume e de afilamento e recuperar o crescimento passado com a ANATRO.

Para a cubagem das árvores, os diâmetros foram medidos nas alturas absolutas de 0,10 e 1,30 m e nas alturas relativas de 15, 30, 45, ..., 90% da altura total da árvore. Para as árvores aneladas foi considerada a altura até o ponto de anelamento (hPA). Nestas mesmas alturas foram coletados discos para a ANATRO. Os volumes com e sem casca foram determinados pela fórmula de Smalian. Para as árvores que sofreram danos do tipo anelamento não foi possível calcular a última seção com a fórmula do cone, sendo necessária a aplicação da fórmula do tronco de cone (5) ao qual se assemelha mais à forma da seção anelada, como segue:

$$v_i = \frac{g_1 + g_2}{2} \cdot l \quad (2)$$

$$v_p = \frac{g_n \cdot l}{3} \quad (3)$$

$$v = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_p \quad (4)$$

$$v_{tc} = \frac{(g_n + g_{n-1} + \sqrt{g_n \cdot g_{n-1}})}{3} \cdot l \quad (5)$$

Em que: v_i = volume com e sem casca (m^3) da tora i ; v_p = volume da última seção do fuste da árvore (cone); g_1 = área transversal (m^2) na extremidade com maior diâmetro em cada tora; g_2 = área transversal (m^2) na extremidade com menor diâmetro em cada tora; l = comprimento da tora (m); v = volume total com ou sem casca da árvore; v_{tc} = volume do tronco de cone; g_{n-1} = área transversal na extremidade do tronco de cone nas árvores aneladas; g_n = área transversal na extremidade do tronco de cone das árvores aneladas.

4.4.1 Avaliação dos danos e sua extensão na árvore

Durante a cubagem foi avaliado, quando presente, o tipo do dano (anelamento, janelamento), quantidade e altura do dano, ocorrência de ponta seca ou quebrada e reincidência de danos.

Para definir a extensão do dano na madeira foi analisada a porcentagem de perda de madeira (necrosada ou deteriorada) ocasionada pela abertura de fissuras na casca pelo dano do macaco-prego, sendo necessário o traçamento do fuste para visualizar a real extensão dos danos na madeira, avaliando-se também o dano interno.

4.5 Esquema de representação dos volumes determinados na pesquisa

Durante o desenvolvimento deste estudo, diferentes volumes foram calculados. Assim, visando um melhor entendimento dos mesmos foi elaborada uma figura esquemática representando os volumes obtidos para árvores não danificadas e janeladas (A) e aneladas (B) (Figura 6).

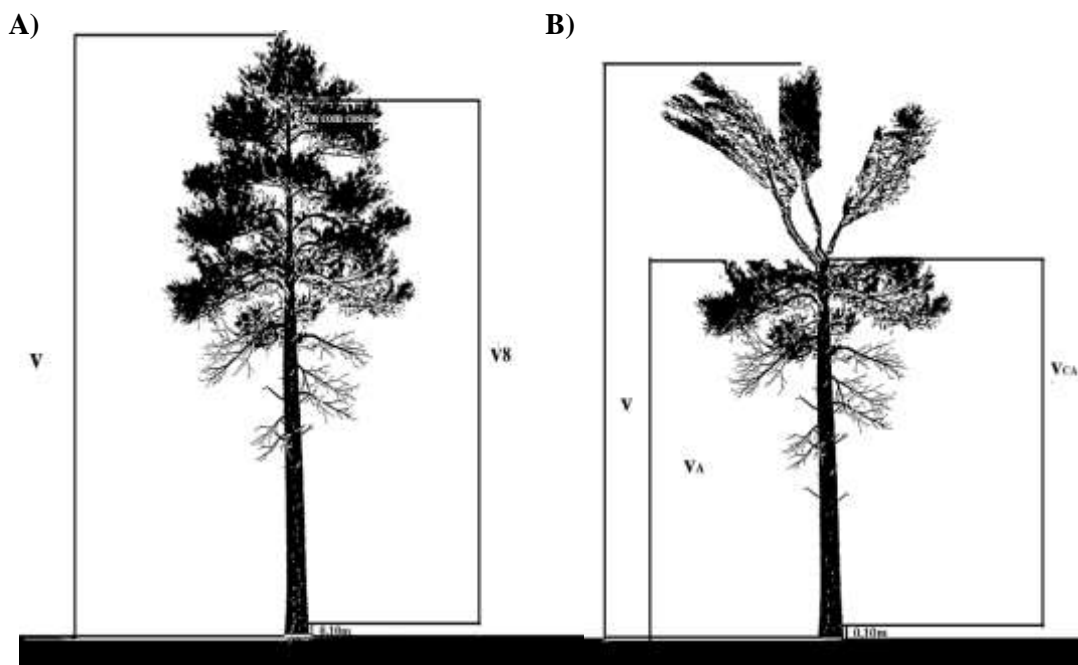


Figura 6. Representação esquemática dos volumes determinados na presente pesquisa.

Em que: v = volume total com casca; v_8 = volume comercial até 8 cm com casca; v_A = volume com casca até o ponto de anelamento; v_{CA} = volume comercial com casca até o ponto de anelamento.

4.6 Análise de tronco completa (ANATRO)

Para recuperar o crescimento passado, identificar a provável idade de ocorrência dos danos pelo macaco-prego e avaliar a interferência dos danos no crescimento foi utilizada a técnica de análise do tronco completa (ANATRO). Foram retirados discos das árvores nos mesmos pontos de medição determinados para a cubagem e nas mesmas árvores cubadas por Smalian (40 com danos e 40 sem danos do macaco-prego) totalizando 663 discos coletados, sendo retirados 8 discos em cada árvore não danificada, 8 discos em cada árvore janelada e 9 discos em cada árvore anelada, dos quais, 8 do fuste principal e um da base de maior brotação (Figura 7).



Figura 7. Retirada dos discos no campo (A). Amostras identificadas (B). Várias árvores amostradas (C). Disco apresentando dano pelo macaco-prego (D).

Esses discos foram numerados, secos e lixados para obter uma melhor visualização dos anéis na face utilizada para as medições. Foram então, marcados 4 raios para as medições dos anéis anuais de crescimento (Figura 8).

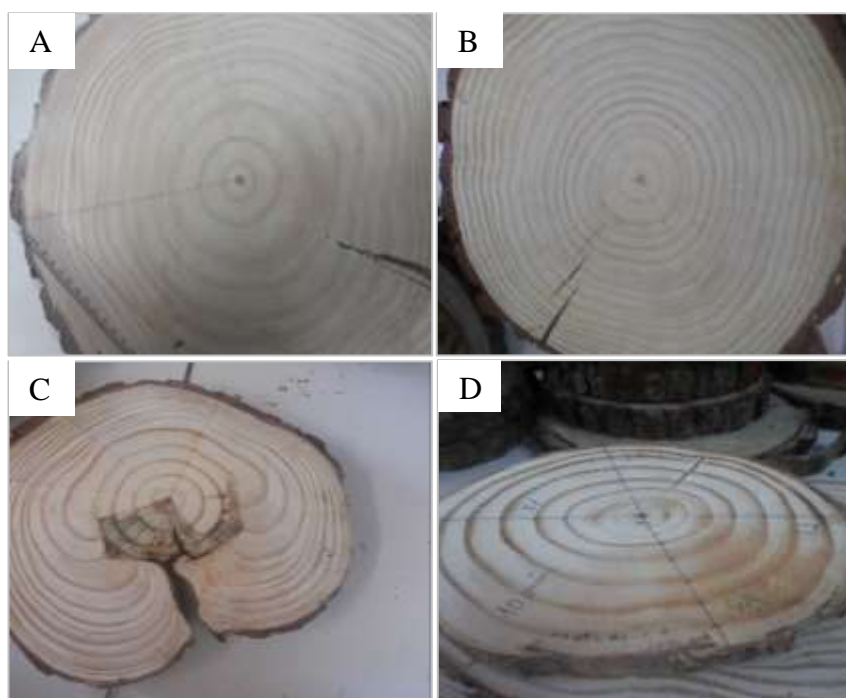


Figura 8. Preparo do material para leitura dos anéis: marcação dos raios e identificação dos anéis nos discos (A, B). Marcação dos discos danificados por macacos-prego (C, D).

Para a contagem e medição dos anéis foi utilizado o medidor de anéis de crescimento LINTAB 6 (Figura 9) do Laboratório de Manejo Florestal da UNICENTRO, *Campus* de Irati. Este equipamento tem precisão de 0,01 mm e utiliza o programa TSAP (*Time Series Analysis Program*), desenvolvido por Frank Rinn e Siegwad Jaekel, em Heidelberg na Alemanha, com o qual, efetuam-se as medições, manipulação de banco de dados e apresentação de séries temporais de anéis de crescimento (WOLFF II, 2012; PACHECO, 2013; KOHLER, 2013).



Figura 9. Medição dos anéis de crescimento no LINTAB 6.

Os dados gerados com a ANATRO foram utilizados para verificar o início dos danos, ou seja, em que idade ocorreu. Além disto, os anéis de crescimento de árvores não danificadas com os de árvores danificadas foram comparados buscando identificar possíveis reduções no crescimento.

Para o processamento dos dados da ANATRO foi utilizado o suplemento FlorExel® desenvolvido pelo Professor Julio Eduardo Arce da Universidade Federal do Paraná. Este suplemento reúne um conjunto de ferramentas para processamento de dados florestais e trabalha em conjunto com o *Microsoft Excel*.

Primeiramente, os arquivos que foram gerados pelo software TSAP-Win, em formato *.txt* foram exportados para planilhas do *Microsoft Excel* e padronizados no formato específico para entrada de dados no módulo de análise de tronco compatíveis com o suplemento FlorExel® (KOHLER, 2013). Esse suplemento gera informações do crescimento anual em diâmetro, área transversal, altura total e volume (as informações são sem casca). Todas essas informações foram obtidas para a idade atual (18 anos) e para todas as idades passadas da árvore.

A análise de tronco completa possibilita a medição do diâmetro com casca apenas para idade de corte ou idade atual. Nas idades anteriores têm-se apenas diâmetros sem casca e, como consequência, todos os parâmetros gerados são sem casca (WOLFF II, 2012). Nos

estudos realizados para avaliar a evolução do sortimento há a necessidade de ter o perfil do tronco com casca nas várias idades ou classes de idade. Desta forma, foi empregada a equação (6) ajustada por Wolff (2012) para estimar os diâmetros com casca ao longo do tronco nas idades passadas em *P. taeda*. A equação de Wolff II (2012) apresentou estatísticas de ajuste e precisão respectivamente de $R^2 = 0,9983$ e $S_{yx} = 3,14\%$.

$$d_{c/c} = 0,024184 + 1,0662557 \cdot d_{s/c} \quad (6)$$

Em que: $d_{c/c}$ = diâmetro com casca ao longo do tronco (cm); $d_{s/c}$ = diâmetro sem casca ao longo do tronco (cm).

O suplemento FlorExel® também gera gráficos do perfil do fuste em todas as idades, os quais permitem identificar a ocorrência de possíveis erros de medição dos anéis de crescimento.

4.7 Equações para estimar volumes individuais

Embora existam inúmeras publicações apresentando o ajuste de modelos matemáticos para estimar volume de árvores de *P. taeda*, não há disponível na literatura equações para o caso de árvores que sofreram danos por macacos-prego. Nesse contexto, para estimar os volumes individuais com casca e sem casca das árvores danificadas e não danificadas pelo macaco-prego foram ajustados e testados, com as árvores cubadas, os modelos listados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos ajustados para estimar o volume individual de árvores danificadas e não danificadas de *Pinus taeda*.

Equação	Autor	Modelo
(7)	Spurr	$v = b_0 + b_1 \cdot (d^2 \cdot h) + \varepsilon_i$
(8)	Husch	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + \varepsilon_i$
(9)	Schumacher-Hall	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln h + \varepsilon_i$
(10)	Meyer	$v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d \cdot h + b_4 \cdot d^2 \cdot h + b_5 \cdot h + \varepsilon_i$

Em que: v = volume (m^3); h = altura total (m); \ln = logaritmo neperiano; b_i = coeficiente do modelo; ε_i = erro aleatório.

Utilizando os dados de 40 árvores cubadas de árvores não danificadas e 40 árvores cubadas danificadas (23 árvores aneladas e 17 árvores janeladas), foram ajustados e testados 4 modelos volumétricos. Para ajustar as equações de volume nas árvores danificadas por macacos-prego foram testados quatro tipos de agrupamento:

- I. Ajuste apenas para as 17 árvores cubadas que sofreram danos do tipo janelamento;
- II. Ajuste apenas para as 23 árvores cubadas que sofreram danos do tipo anelamento (volume do fuste principal);
- III. Ajuste das 40 árvores cubadas que sofreram danos de janelamento e anelamento (volume do fuste principal);
- IV. Ajuste das 40 árvores cubadas janeladas e aneladas (volume incluindo brotações).

Os ajustes dos agrupamentos II e III foram realizados considerando a altura até o ponto de anelamento (hPA).

4.8 Funções de afilamento

Para descrever o perfil do tronco com casca das árvores danificadas e não danificadas por macaco-prego foi ajustado o polinômio de 5º grau (Equação 11), utilizando-se os dados gerados pela análise de tronco completa. Os diâmetros com casca nas várias idades ao longo do tronco foram estimados com a equação de Wolff II (2012) descrita no item 4.6. Com objetivo de avaliar a evolução do afilamento foi realizado o ajuste em três classes de idade: 8 a 11 anos, 12 a 15 anos e 16 a 18 anos. Nessas classes de idades, em geral, ocorrem o primeiro e segundo desbastes e o corte final, respectivamente.

$$\text{Polinômio de 5º grau} \quad d_i = \text{DAP} \left(b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h} \right) + b_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + b_4 \cdot \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 + b_5 \cdot \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 \right) \quad (11)$$

Em que: d_i = diâmetro com casca (cm) na altura h_i (m); DAP: Diâmetro com casca à altura do peito (cm); h =altura total (m), h_i = altura (m) no diâmetro d_i ; b_i =coeficientes do modelo.

Para o ajuste da função de afilamento para as árvores aneladas em vez de usar a altura total (h), foi utilizada a altura até o ponto de anelamento (hPA).

4.9 Avaliação dos modelos de volume e afilamento

A seleção das equações de volume e avaliação da função de afilamento foi baseada nas seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão de estimativa (S_{yx}) absoluto e relativo ($S_{yx}\%$) e a distribuição gráfica dos resíduos em percentagem. As fórmulas para a obtenção destas estatísticas são apresentadas na sequência.

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} ; \quad (12) \quad R_{aj}^2 = 1 - (1 - R^2) \cdot \left(\frac{n-1}{n-p} \right) ; \quad (13)$$

$$Syx = \sqrt{\frac{SQ_{res}}{n-p}} ; \quad (14) \quad Syx \% = \frac{Syx}{\bar{Y}} \cdot 100 ; \quad (15)$$

$$Res \% = \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \cdot 100 \quad (16)$$

Em que: R^2 = Coeficiente de determinação; R_{aj}^2 = Coeficiente de determinação ajustado; SQ_{res} = Soma de quadrados de resíduos; SQ_{tot} = Soma de quadrados total; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo; \bar{Y} = média dos valores observados; y_i = valor observado da variável de interesse; \hat{y} = valor estimado da variável de interesse.

Após a seleção da melhor equação volumétrica foi empregado o teste de identidade (teste de Graybill, 1976), para verificar a possibilidade de ajuste de árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego em um único modelo ou se há necessidade de ajustá-las separadamente.

As hipóteses para o teste de identidade de modelos foram:

H_0 = pode-se ajustar um único modelo volumétrico para árvores de *P. taeda* danificadas e não danificadas por macacos-prego;

H_1 = devem ser ajustados modelos independentes para árvores danificadas e não danificadas.

O teste de modelos de Graybill (1976) também foi aplicado aos dados de árvores danificadas para verificar a possibilidade de realizar um único ajuste volumétrico para as árvores que sofreram danos de anelamento (considerando o volume do fuste principal) e árvores que sofreram danos do tipo janelamento.

As hipóteses para o teste de identidade são:

H_0 = pode-se ajustar um único modelo volumétrico para *P. taeda* danificado por macacos-prego, independentemente do tipo de dano (janelamento e anelamento);

H_1 = devem ser ajustados modelos independentes para cada tipo de dano.

O teste de identidade de modelos proposto por Graybill (1976) consiste, basicamente, na redução da soma dos quadrados, permitindo verificar estatisticamente, pelo teste F, a significância da diferença entre o total das somas dos quadrados das regressões ajustadas para cada caso (árvores danificadas e não danificadas separadamente) chamado modelo completo, e a soma do quadrado da regressão ajustada para o conjunto total dos dados (árvores danificadas e não danificadas juntas) chamado de modelo reduzido (TONINI, 2008).

4.10 Fator de forma artificial

Para avaliar a evolução da forma das árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego foi determinado o fator de forma artificial (17) com casca médio por idade. As cascas para as idades anteriores aos 18 anos foram estimadas com a equação de Wolff II (2012) descrita no item 4.6. O fator de forma artificial é obtido por meio da razão entre o volume do cilindro (18) e o volume com casca do tronco da árvore (v_{arv}) determinado pela fórmula de Smalian:

$$f_{1,3} = \frac{v_{arv}}{v_{cil}} \quad (17)$$

$$v_{cil} = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40000} \cdot h \quad (18)$$

Em que: $f_{1,3}$ = fator de forma artificial com casca; v_{arv} = volume total da árvore (m^3); v_{cil} = volume do cilindro de referência (m^3); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m).

Para as árvores aneladas em vez da altura total (h), foi utilizada a altura até o ponto de anelamento (hPA).

4.11 Modelagem do crescimento e produção

Para descrever as curvas de crescimento e produção das variáveis estudadas (DAP, g , v , h) foi utilizado o modelo biológico de Chapman-Richards (19). Os dados para o ajuste foram gerados com auxílio do suplemento FlorExel, sendo ajustado o modelo separadamente para cada grupo de árvores (não danificada e danificadas por macacos-prego). Para as árvores danificadas foi realizado um ajuste separadamente para cada tipo de dano (janelamento e anelamento), a fim de comparar o crescimento médio entre os indivíduos que sofreram danos com os indivíduos que não sofreram danos por macacos-prego.

$$y = A \cdot [1 - e^{(-b \cdot I)}]^c \quad (19)$$

Em que: y = variável dependente (d, altura, área transversal e volume); A , b e c = coeficientes do modelo; e = exponencial; I = Idade (anos).

Devido aos povoamentos não apresentarem exatamente a mesma idade e o povoamento danificado ainda não ter completado 19 anos, as análises foram realizadas até os 18 anos, considerando-se os anéis a partir de 3 anos de idade, devido às distorções causadas pelas dificuldades de identificação e medição dos anéis nessas idades. Os incrementos ICA (Incremento Corrente Anual) e IMA (Incremento Médio Anual) foram obtidos com base nas equações 20 e 21, utilizando os valores estimados pelo modelo de Chapman-Richards. Esses valores foram utilizados para a construção de curvas de incremento para cada uma das variáveis, com objetivo de identificar possíveis alterações no incremento de árvores danificadas por macacos-prego comparadas com as árvores não danificadas.

$$ICA_y = y_{i+1} - y_i \quad (20)$$

$$IMA_y = \frac{y_i}{i} \quad (21)$$

Em que: ICA_y = incremento corrente anual da variável y (DAP, altura, área transversal e volume); y_{i+1} : variável na idade $i + 1$; i : idade (anos); y_i : variável na idade i ; IMA_y : incremento médio anual da variável y .

4.12 Comparações da produção das árvores danificadas e não danificadas pelo macaco-prego

O Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) foi usado para verificar se a produção em para cada uma das variáveis estudadas (diâmetro, altura, área transversal e volume) são estatisticamente iguais para árvores danificadas e não danificadas. O teste de Bartlett ($\alpha = 5\%$) foi aplicado aos dois grupos de árvores (danificadas e não danificadas por macacos-prego) para verificar a homogeneidade das variâncias dos dados (DAP, h, g e v). Após a verificação da homogeneidade das variâncias procedeu-se a ANOVA, quando o teste F da ANOVA foi significativo, aplicou-se o teste de Tukey ($\alpha = 5\%$) a fim de verificar a existência de diferenças entre as médias dos tratamentos. A análise foi realizada por idade, a partir dos cinco anos até aos 18 anos de idade, para identificar a partir de que idade os danos dos macacos-prego pode ter interferido no crescimento das variáveis em análise.

Os testes estatísticos citados foram aplicados aos dados advindos da ANATRO. Além desses testes estatísticos, o teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear proposto por Regazzi (2003) foi usado para verificar se as curvas de produção geradas pelo ajuste de Chapman-Richards, que descrevem o crescimento médio das

variáveis (DAP, g, h e v) eram estatisticamente iguais. O teste indica se uma única equação pode ser usada para a estimativa da produção média de uma determinada variável para os três grupos de árvores estudados (não danificadas, aneladas e janeladas) ou se é necessária uma equação para cada grupo. Avalia ainda, se um subconjunto de parâmetros é igual para os três grupos estudados.

Assim, foram testadas as seguintes hipóteses:

(a) H_{01} , H_{02} e H_{03} : um determinado coeficiente é igual para os três grupos de dados; H_1 : um determinado coeficiente é diferente para os três conjuntos de dados e;

(b) H_{04} : as funções de crescimento são idênticas para árvores aneladas, janeladas e não danificadas, isto é, uma função comum pode ser usada como estimativa para os três conjuntos de dados (nesta hipótese testa-se se os coeficientes das três equações de crescimento são iguais para os três grupos – aneladas, janeladas e não danificadas); H_1 : pelo menos uma igualdade é uma desigualdade, ou seja, pelo menos um coeficiente é diferente.

Para testar as hipóteses H_{01} , H_{02} e H_{03} foi necessário avaliar cada coeficiente separadamente. No ajuste fixou-se um a um e testou-se a hipótese de ser igual ou diferente em cada grupo de dados.

Para a realização do teste, as três equações de crescimento foram ajustadas com variáveis “dummy” (Figura 10), onde um modelo completo (ômega) e um modelo reduzido (w) são ajustados.

Grupo	Idade	DAP (cm)	d1	d2	d3
1	18	36,08	1	0	0
1	17	33,64	1	0	0
1	16	32,42	1	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1	3	6,44	1	0	0
2	18	41,49	0	1	0
2	17	39,8	0	1	0
2	16	37,7	0	1	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	3	7,08	0	1	0
3	18	23,38	0	0	1
3	17	22,15	0	0	1
3	16	21,28	0	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	3	6,32	0	0	1

Figura 10. Exemplo da base de dados para ajuste com variáveis “dummy” (d1, d2 e d3).

O modelo completo (22) foi ajustado com os coeficientes diferentes para os três grupos de dados (não danificadas, janeladas e aneladas) e no modelo reduzido (23) foi imposta a restrição de que os coeficientes do modelo para os três grupos devem ser iguais, ou seja, uma única equação pode ser usada para os três grupos de dados.

Modelo completo:

$$Y=d1*(A1*(1-\exp(-b1*x))^{c1})+d2*(A2*(1-\exp(-b2*x))^{c2})+d3*(A3*(1-\exp(-b3*x))^{c3}) \quad (22)$$

Modelo reduzido:

$$Y=d1*(A*(1-\exp(-b*x))^c)+d2*(A*(1-\exp(-b*x))^c)+d3*(A*(1-\exp(-b*x))^c) \quad (23)$$

Em que: Y = variável estimada (DAP, g, h e v); x = idade; d = variável Dummy; A, b, c = coeficientes do modelo, as numerações 1, 2 e 3 referem-se aos grupos: 1 refere-se as árvores não danificadas, 2 às janeladas e 3 árvores aneladas.

A estatística do teste é apresentada a seguir (24):

$$\chi^2_{calculado} = -n \ln \left(\frac{SQR_{\Omega}}{SQR_w} \right) \quad (24)$$

Em que: SQR_{Ω} = Soma de quadrados de resíduo do modelo completo (Ω); SQR_w = soma de quadrados do modelo reduzido (w); n = número total de observações.

O teste apresenta a seguinte regra de decisão (REGAZZI, 2003):

Se $\chi^2_{calculado} \geq \chi^2_{tabelado}$, rejeita-se H_0 . Caso contrário não se rejeita H_0 .

O valor tabelado foi obtido em função do nível $\alpha = 5\%$ de probabilidade e do número de graus de liberdade v ($p_{\Omega}-p_w$).

Em que: v = número de graus de liberdade; p_{Ω} = número de coeficientes do modelo completo p_w = número de coeficientes dos modelos reduzidos.

4.13 Evolução do sortimento

Muitos produtores predizem a sua produção utilizando equações tradicionais disponíveis na literatura ou que foram desenvolvidas para áreas específicas, mas que quando aplicadas às árvores danificadas por macacos-prego podem ocasionar superestimativas. Neste contexto, para gerar as estimativas e avaliar a evolução do sortimento foram utilizadas as equações de afilamento desenvolvidas no presente trabalho especificamente para cada grupo de árvores estudado (não danificadas, aneladas e janeladas).

As equações de afilamento foram aplicadas para gerar os sortimentos, de acordo com as especificações de sortimento da Tabela 2, as quais têm sido utilizadas por diversos segmentos que atuam com *Pinus taeda* na região sul do país (Liebsch *et al.*, 2018).

É importante mencionar, que essa avaliação foi realizada com base no DAP e na altura total gerada pela ANATRO nas 40 árvores danificadas (23 aneladas e 17 janeladas) e 40 árvores não danificadas nas três classes de idades mencionadas. Ressalta-se ainda que para as árvores aneladas foi considerada como altura total a altura até o ponto de anelamento (hPA).

Tabela 2. Classes de sortimento usadas na comercialização de madeira de *Pinus taeda* em várias regiões do sul do Brasil.

Destinação	Classes de sortimento (cm)	Comprimentos (m)		
		1º Desbaste	2º Desbaste	Corte final
Resíduo	≤ 7,99	2,40	2,60	2,65
Celulose	8,00-17,99	2,40	2,60	2,65
Serraria 2	18,00-24,99	2,40	2,60	2,65
Serraria 1	25,00-34,99	2,40	2,60	2,65
Laminação	≥ 35,00	2,40	2,60	2,65

Fonte: Liebsch *et al.* (2018), adaptada.

Para as árvores não danificadas, as estimativas dos sortimentos foram realizadas com o suplemento FlorExel®, sendo necessário fornecer ao suplemento os coeficientes obtidos para as funções de afilamento ajustadas para cada classe de idade e informações de DAP, altura total e as dimensões dos sortimentos desejados.

Por outro lado, não foi possível utilizar o suplemento FlorExel® para as árvores danificadas devido à necessidade de computar o volume danificado dessas árvores. Desta forma, as estimativas dos sortimentos para as árvores danificadas foram realizadas de forma manual, por árvore, no *software Excel*, determinando-se o sortimento das 40 árvores danificadas nas idades de 8 a 18 anos. Para isto, utilizou-se a função de afilamento específica para árvores danificadas de acordo com o tipo de dano (janelamento ou anelamento), sendo necessário para verificar o percentual de volume danificado para cada classe de sortimento.

4.13.1 Percentuais de volume danificado por classe de sortimento

Para computar o volume danificado foram utilizadas as funções de afilamento (como mencionado no item 4.13) em conjunto com as medições da extensão dos danos externos e internos na madeira avaliados em campo e na análise de tronco. No momento da marcação dos anéis nos discos foi realizado para cada árvore um relatório indicando em qual anel e a

que altura, encontrava-se o dano, identificando-se também, a idade de ocorrência. Desta forma, foi possível obter para cada árvore o seu volume com e sem danos por classes de usos (sortimentos) nas idades de 8 até 18 anos, gerando também o percentual de volume danificado por classe de uso.

4.13.2 Estimativa do sortimento para brotações epicórmicas

Após o anelamento das árvores pelo macaco-prego, muitas delas emitem novas brotações denominadas “brotações epicórmicas”, as quais são originadas de gemas latentes que existem sob a casca. Quando uma árvore sofre um determinado estresse (como é o caso dos danos por macacos-prego), ocorre um desbalanço hormonal que induz a germinação das gemas dormentes, exatamente abaixo do ponto onde foi ocasionado o estresse. Segundo Zimmermann e Brown (1974) o anelamento aumenta a concentração de substâncias promotoras de brotações como as citocininas, e reduz a concentração de auxina nesse ponto, devido ao seu transporte via floema ter sido interrompido pela retirada do anel de casca, ocasionando um desbalanço hormonal (auxina/citocinina). Esse desbalanço leva a atividade do meristema apical causando o alogamento das gemas dormentes que se encontram abaixo do ponto de anelamento, assim gerando as brotações epicórmicas.

No presente trabalho foi constatada nas árvores amostradas, a presença de uma até sete brotações epicórmicas na mesma árvore. Com o passar dos anos as brotações atingiram diâmetros expressivos, sendo possível sua comercialização. Assim, buscando obter o sortimento para essas brotações foi ajustada uma função de afilamento (Equação 25) tendo como referência o diâmetro da base (d_B) de cada ramificação mensurada em campo e a altura ou comprimento das brotações (c_b). A equação foi desenvolvida apenas como uma ferramenta auxiliar para essa pesquisa.

$$d_i = d_B \cdot \left(b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right) + b_2 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right)^3 + b_4 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right)^4 + b_5 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right)^5 \right) \quad (25)$$

Em que: d_i = diâmetro com casca (cm) no comprimento c_i (m); d_B : Diâmetro da base da ramificação com casca (cm); c_b = comprimento da brotação (m), c_i = comprimento da seção (m).

4.13.3 Evolução do sortimento médio individual

Para avaliar a evolução do sortimento foi obtido o sortimento médio individual por classes de idade (8-11, 12-15 e 16-18 anos) para os três grupos de árvores estudados (não danificadas, aneladas e janeladas), utilizando as equações de afilamento desenvolvidas no presente trabalho especificamente para cada grupo de árvores estudado (não danificadas, aneladas e janeladas).

4.13.4 Produção média individual incluindo as brotações

Foi avaliado o volume médio individual (vmi) aos 18 anos para árvores não danificadas e danificadas com danos do tipo janelamento e do tipo anelamento (incluindo os produtos gerados pelas brotações das árvores aneladas). Essa avaliação foi realizada somente para a idade de 18 anos (no momento do corte das árvores para ANATRO) com a finalidade de quantificar a produção total para as árvores aneladas.

4.13.5 Estimativa do sortimento por unidade de área (ha)

Para gerar as estimativas dos sortimentos por hectare para as duas áreas (danificada e não danificada por macacos-prego), foram utilizadas as informações de DAP e altura (para as árvores aneladas foi utilizada a altura até o ponto de anelamento - hPA), oriundas do inventário realizado previamente na área. As funções de afilamento ajustadas foram utilizadas para estimar os sortimentos para cada tipo de árvore (não danificada, janelada e anelada).

4.14 Formação das receitas e avaliação econômica

As informações geradas no inventário permitiram conhecer, além do volume total por hectare, a porcentagem desse volume que poderá ser destinada para cada classe de uso (sortimentos), além dos percentuais médios de volume danificados, que foram utilizados para quantificar as possíveis perdas econômicas.

Para cada classe de sortimento foram aplicados os seus respectivos percentuais médios de volume danificado. Os volumes estimados para cada sortimento foram multiplicados pelo seu valor de mercado (Tabela 3) para determinar a diferença monetária entre árvores danificadas e não danificadas na idade de 18 anos. Os valores de mercado dos sortimentos se

baseiam no trabalho de Liebsch *et al.* (2018), em que esses autores utilizaram valores médios de compra e venda da madeira sadia e danificada na região sul do país.

Tabela 3. Preços dos sortimentos de *Pinus taeda* (madeira posta na beira do talhão) com e sem danos causados por macacos-prego no sul do Brasil.

Produto	Classe (cm)	R\$.m ³ não Danificado	R\$.m ³ Danificado
Resíduo	≤ 7,99	5,00	5,00
Celulose	8,00-17,99	42,50	42,50
Serraria 2	18,00-24,99	92,50	50,88
Serraria 1	25,00-34,99	135,00	54,00
Laminação	≥ 35,00	180,00	63,00

Fonte: Liebsch *et al.* (2018), adaptada.

A utilização do sortimento na idade da coleta dos dados para a presente pesquisa (18 anos) buscou melhor avaliar os danos econômicos causados pelos macacos-prego, que apenas a utilização do volume não danificado das árvores danificadas por um valor médio de venda por metro cúbico. Isto porque, dependendo da altura em que a madeira está danificada (fungos, madeira apodrecida) inutilizará uma tora que poderia ter um uso mais nobre, sendo que esta acaba sendo destinada para outro fim menos nobre, e por consequência sua madeira é desvalorizada e perde seu valor de mercado, sendo comercializada por um valor inferior ao que realmente poderia gerar.

Visando um melhor entendimento das fases da presente pesquisa e também da base de dados utilizadas para desenvolver cada um dos objetivos foi elaborado um fluxograma (Figura 11).

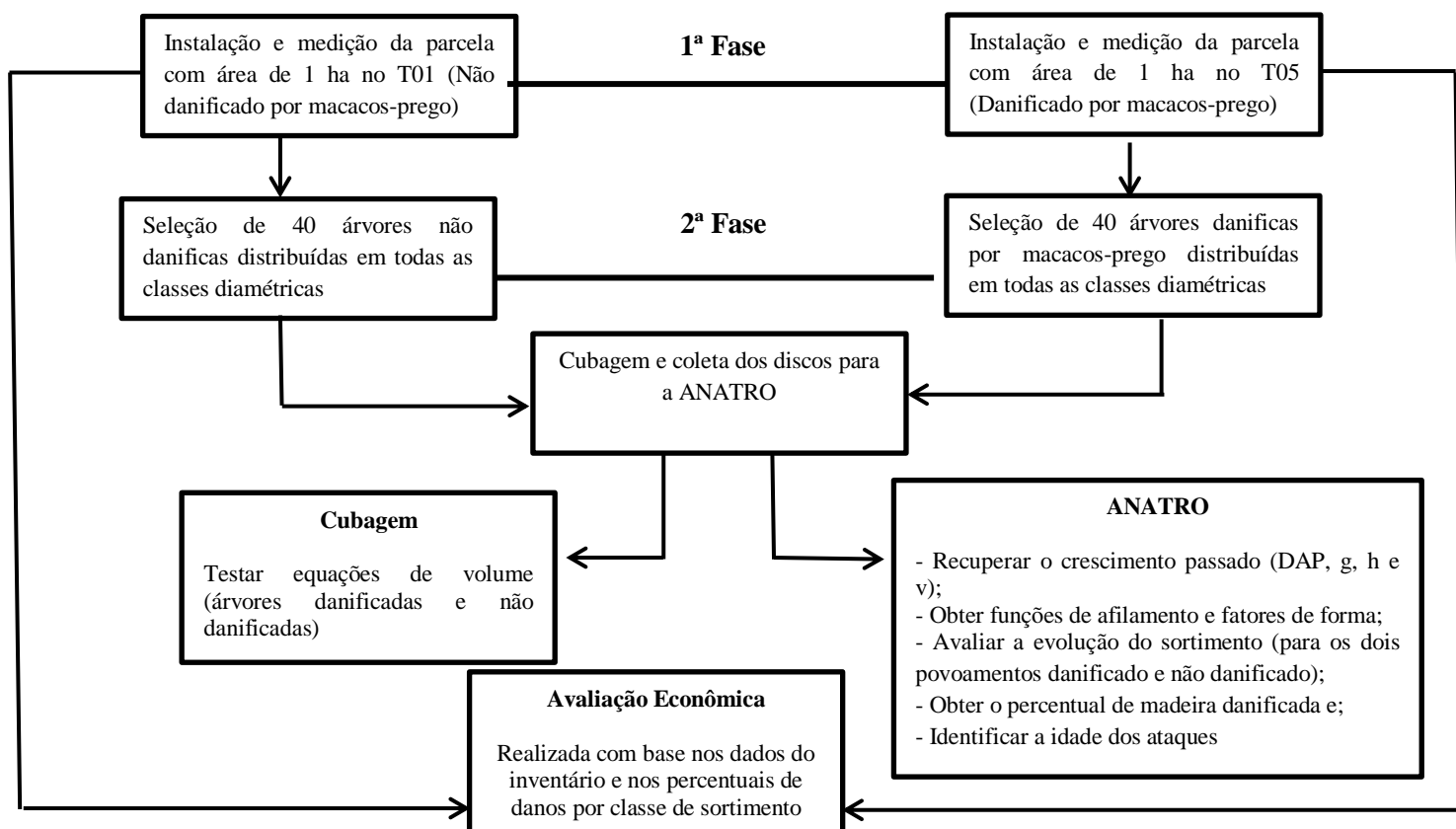


Figura 11. Fluxograma com as fases de desenvolvimento da presente pesquisa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização dos dados

5.1.1 Caracterização da população danificada e não danificada pelos macacos-prego

Com base no levantamento realizado nas duas parcelas instaladas, uma no talhão 01 (não danificado) e outra no talhão 05 (danificado), foi possível avaliar as características dendrométricas de cada talhão e também realizar a quantificação e caracterização dos danos ocasionados às árvores devido aos danos dos macacos-prego.

Para verificar se as duas áreas amostradas (danificada e não danificada por macacos-prego), pertenciam ao mesmo sítio, foi determinada a capacidade produtiva do local utilizando a equação desenvolvida por Retslaff (2014) e os dados de altura dominante (h_{dom}) coletados nas duas áreas. Os índices de sítio obtidos com a equação foram de 22,3 m para a área não danificada (talhão 01) e 21,9 m para a área danificada (talhão 05) na idade de referência de 18 anos, indicando que ambos os talhões, encontram-se na classe de sítio 21 m (19,5 a 22,5 m).

O talhão 05 apresentou 100% das árvores medidas na parcela (1,00 ha) danificadas por macacos-prego. Identificaram-se danos antigos e danos recentes e muitas árvores sofreram diversos danos em diferentes momentos. Também foram identificados em algumas árvores os dois tipos de danos, tipo anelamento e janelamento.

As árvores do talhão 05 (danificado) apresentaram forma irregular, fustes tortuosos e brotações que surgiram após essas árvores serem aneladas pelos macacos-prego. Os principais danos às árvores podem ser observados nas Figuras 12, 13 e 14.

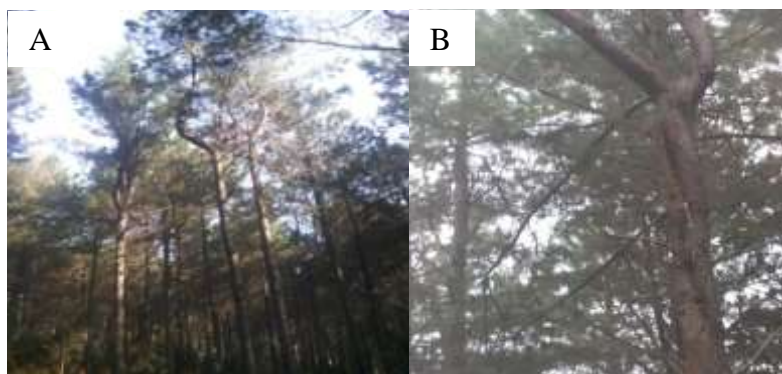


Figura 12. Árvores com fustes irregulares e tortuosos (A). Fuste tortuoso devido ao processo de cicatrização de uma sequência de danos do tipo janelamento causados pelos macacos-prego (B).



Figura 13. Anelamento do fuste principal (A) e emissão de brotações com formação de vários novos fustes (B).

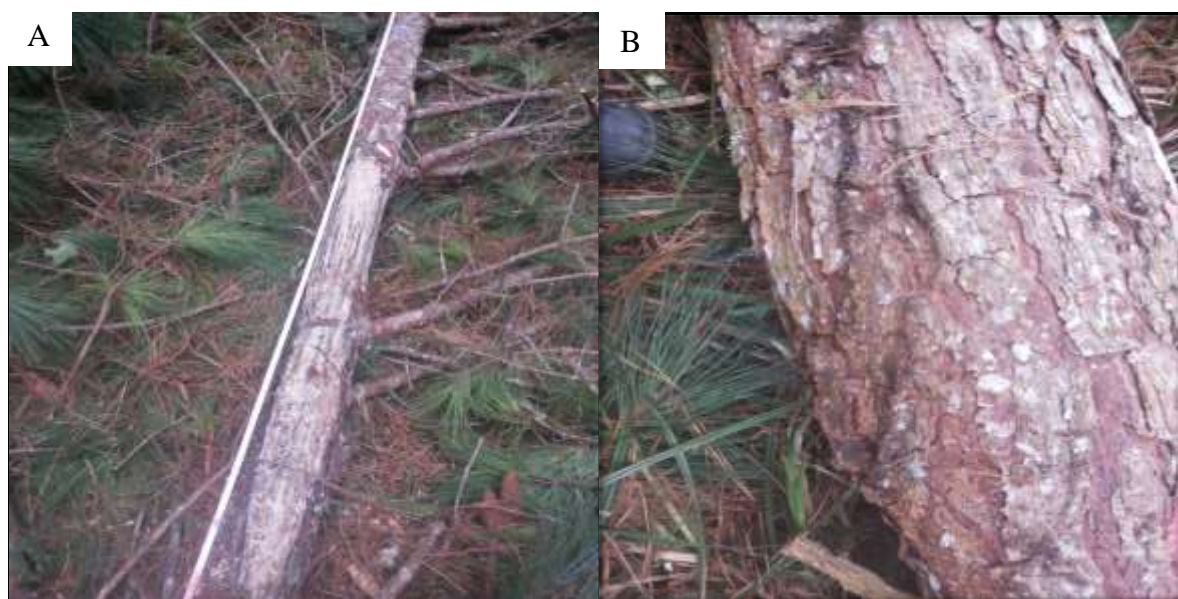


Figura 14. Dano recente do tipo janela (A). Dano antigo cicatrizado do tipo janela (B).

A distribuição diamétrica para as duas áreas, danificada e não danificada, apresentaram distribuição diamétrica unimodal (Figura 15), típica de plantios florestais. O talhão 05 tem um menor número de árvore por hectare que o talhão 01 (311 e 352) e isto pode ser consequência de um número maior de árvores mortas pelos danos dos macacos-prego durante a rotação. A maior frequência de árvore não ocorre na mesma classe nos dois talhões (classe 37,5 e 34,5 cm, respectivamente para danificadas e não danificadas). O talhão danificado apresentou 12 classes de diâmetro, cujos centros de classes variaram de 22,5 a 55,5 cm, enquanto o talhão não danificado tinha 11 classes de diâmetro, com centros de classes

variando de 19,5 a 49,5 cm. Pode-se constatar árvores de maiores diâmetros no talhão danificado que pode ser resultado de uma menor frequência de árvores por hectare.

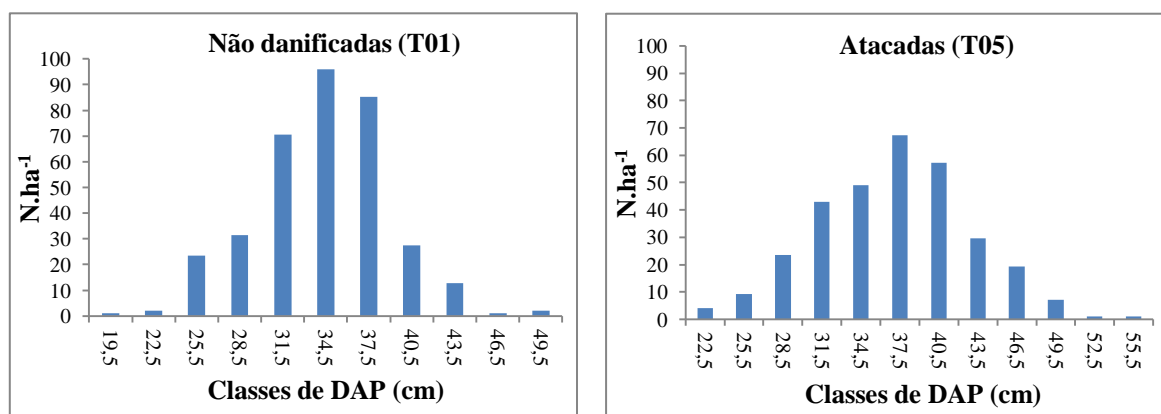


Figura 15. Distribuição diamétrica para árvores não danificadas e árvores danificadas.

Para a área não danificada os diâmetros variaram de 19,7 a 50 cm, com diâmetro médio quadrático (dg) de 34,55 cm, enquanto que para a área danificada o dg foi de 37,5 cm, variando de 21,45 a 56,66 cm. Os maiores diâmetros encontrados são relativos às árvores com danos do tipo “janela”, portanto com a maior média diamétrica, apesar de o maior DAP encontrado na parcela pertencer a uma árvore com dano do tipo anelada (56,66 cm). Na Tabela 4 estão descritos os diâmetros máximos, médios e mínimos encontrados para as áreas danificada e não danificada.

Tabela 4. Estatísticas diamétricas para as áreas danificada (talhão 05) e não danificada (talhão 01).

Parcela	Dano	DAP (cm)				CV%
		Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão	
Não danificados	Sem dano	19,70	34,26	50,00	4,50	13,15
	Anelada	21,45	35,55	56,66	5,67	15,94
Danificados	Janelada	28,10	39,68	52,84	5,51	14,76

Avaliando o tipo de dano ocorrido na área danificada, constatou-se que 63% das árvores medidas na parcela sofreram danos do tipo anelamento e 37% sofreram danos somente do tipo janelamento. As árvores que apresentaram os dois tipos de danos foram consideradas como aneladas, pois segundo Liebsch *et al.* (2015), essas árvores apresentam comportamento de árvores aneladas quanto ao incremento, sendo esse dano considerado mais grave.

Na Figura 16 é possível avaliar a altura máxima, média e mínima para as árvores não danificadas e para as árvores danificadas por macacos-prego. Para as árvores danificadas as

alturas estão apresentadas de acordo com o tipo de dano (anelada ou janelada). No caso das árvores aneladas as alturas correspondem até o ponto do anelamento hPA (fuste principal).

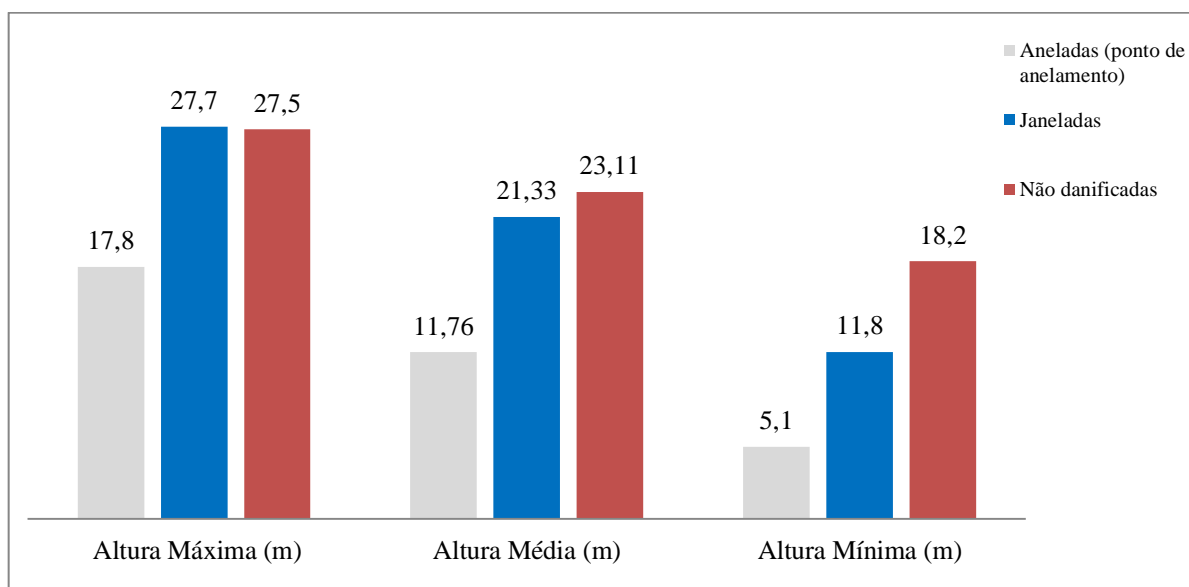


Figura 16. Alturas (m) máximas, médias e mínimas para a população de árvores não danificadas (T01) e danificadas (T05) por macacos-prego.

Com o inventário também foi possível avaliar em que altura se encontravam os primeiros danos do tipo janelamento em cada árvore. A média de altura do primeiro dano do tipo janelamento foi de 10,46 m, no entanto, foi encontrado o primeiro dano a partir de 3,9 m. Foram identificadas até 5 janelas sucessivas no fuste principal de uma mesma árvore.

5.1.2 Caracterização das árvores amostradas

Com base na distribuição diamétrica dos dois talhões e, considerando a baixa frequência de árvores nas classes extremas e, também como forma de padronizar a coleta de árvores, foram definidas sete classes de diâmetro (Tabela 5) para a amostragem visando tanto a cubagem de árvores para o ajuste de funções de volume e afilamento, como para a realização da análise de tronco completa. Assim, as árvores finas foram agrupadas em uma classe $\leq 27,99$ cm e as árvores grossas na classe $\geq 43,00$ cm.

Tabela 5. Árvores amostradas para cubagem e análise de tronco completa para árvores danificadas e não danificadas em classes de diâmetro.

Classes de diâmetro (cm)	T05 - Danificadas	T01 - Não danificadas
≤ 27,99	5	5
28,00 - 30,99	5	5
31,00 - 33,99	6	7
34,00 - 36,99	6	10
37,00 - 39,99	6	7
40,00 - 42,99	6	3
≥ 43,00	6	3
Total	40	40

Na Tabela 6 estão descritos os diâmetros máximos, médios e mínimos referentes às árvores amostradas. Foram amostradas 17 árvores com danos do tipo janelamento e 23 árvores com danos do tipo anelamento, totalizando 40 árvores do talhão danificado e 40 árvores do talhão não danificado.

Tabela 6. Estatísticas diamétrica para as áreas danificada (talhão 05) e não danificada (talhão 01) referentes à amostra na idade da coleta dos dados (18 anos).

Parcela	Dano	DAP com casca (cm)				CV%
		Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão	
Não danificados	Sem dano	24,4	33,5	48,9	5,57	16,7
	Anelada	21,2	34,6	53,6	7,79	22,52
Danificados	Janelada	24,2	34,7	50,5	6,01	20,26

Como mencionado na metodologia, durante a cubagem foi avaliada a extensão dos danos externamente e internamente. O comprimento das janelas foi em média de 2,40 m, variando de 0,32 m até 10,5 m tratando-se de uma sequência de várias janelas que se unem e formam uma única janela de grande extensão (Figura 17).



Figura 17. Medição da extensão dos danos externos e internos nos fustes.

Na Figura 18 é possível avaliar a altura máxima, média e mínima referentes aos dois grupos de árvores amostradas, não danificadas e árvores danificadas por macacos-prego. Para as árvores danificadas as alturas estão apresentadas de acordo com o tipo de dano (anelada ou janelada). No caso das árvores aneladas as alturas correspondem até o ponto do anelamento hPA (fuste principal).

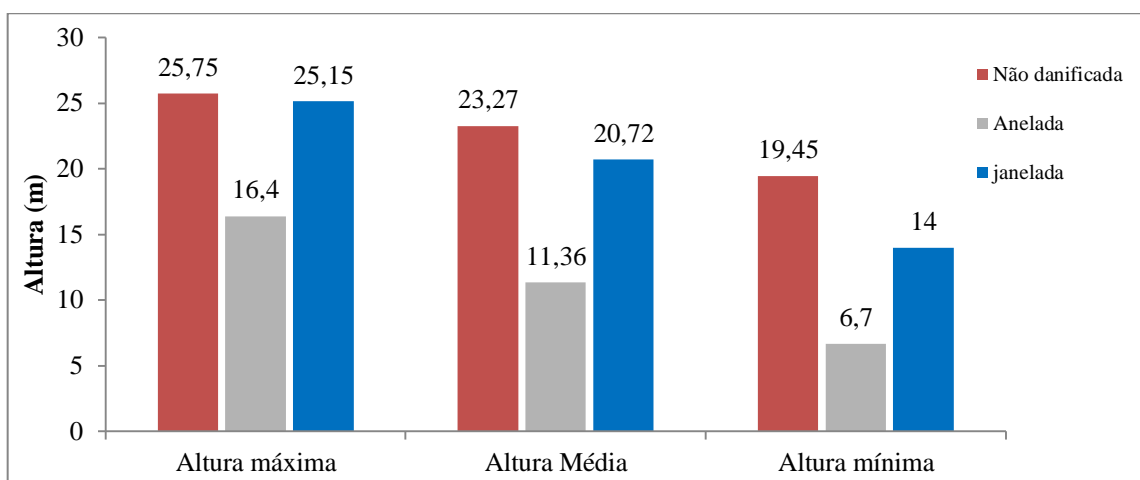


Figura 18. Alturas (m) máximas, médias e mínimas para árvores amostradas não danificadas e danificadas por macacos-prego.

5.2 Desenvolvimento de equações

5.2.1 Equações de volume para árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego

Na Tabela 7 estão os coeficientes e as estatísticas de ajuste e precisão para as equações de volume que apresentaram o melhor desempenho na estimativa do volume com casca para cada um dos agrupamentos realizados, árvores não danificadas e danificadas (grupos I, II, III e IV), conforme detalhado na metodologia (item 4.7). Os demais coeficientes, estatísticas de ajuste e precisão para as equações de volume testadas para a estimativa do volume com e sem casca estão descritas no Apêndice.

Entre os modelos volumétricos para árvores sem danos, o modelo de Meyer e Schumacher-Hall apresentaram estatísticas idênticas de ajuste e precisão. As distribuições gráficas de resíduos não mostraram quaisquer tendências para esses dois modelos, indicando que ambos podem ser utilizados com mesma performance para estimar o volume total com casca das árvores não danificadas, porém na Tabela 7 é apresentado os coeficientes e as estatísticas de ajuste e precisão apenas para o modelo de melhor desempenho.

Tabela 7. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para estimar volume com casca para árvores de *Pinus taeda* não danificadas e danificadas por macacos-prego.

Grupo	Modelos	Coeficientes	R ² _{aj}	S _{yx} (m ³)	S _{yx} %
Não danificadas	Meyer $v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d \cdot h + b_4 \cdot d^2 \cdot h + b_5 \cdot h$	$b_0 = -6,499611$	0,9407	0,0727	8,40
		$b_1 = 0,379792$			
		$b_2 = -0,005652$			
		$b_3 = -0,016214$			
		$b_4 = 0,0002715$			
		$b_5 = 0,2799441$			
Danificadas	Modelos	Coeficientes	R ² _{aj}	S _{yx} (m ³)	S _{yx} %
Grupo I	Meyer $v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d \cdot h + b_4 \cdot d^2 \cdot h + b_5 \cdot h$	$b_0 = -0,412395$	0,965	0,0814	7,93
		$b_1 = 0,096131$			
		$b_2 = -0,002554$			
		$b_3 = -0,001167$			
		$b_4 = 0,0001041$			
		$b_5 = -0,030741$			
Grupo II	Meyer $v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d \cdot h + b_4 \cdot d^2 \cdot h + b_5 \cdot h_i$	$b_0 = 4,606298$	0,9373	0,0968	11,46
		$b_1 = -0,238363$			
		$b_2 = 0,003108$			
		$b_3 = 0,024042$			
		$b_4 = -0,000259$			
		$b_5 = -0,457031$			
Grupo III	Schumacher –Hall $\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln h$	$b_0 = -7,762486$	0,9056	0,1268	13,74
		$b_1 = 1,851339$			
		$b_2 = 0,397423$			
Grupo IV	Meyer $v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d \cdot h + b_4 \cdot d^2 \cdot h + b_5 \cdot h$	$b_0 = 1,699694$	0,9132	0,1373	13,51
		$b_1 = -0,094707$			
		$b_2 = 0,002023$			
		$b_3 = 0,009314$			
		$b_4 = -0,000120$			
		$b_5 = -0,168080$			

Em que: Grupos: I = ajuste das 17 árvores cubadas com danos do tipo janelamento; II = ajuste das 23 árvores com danos do tipo anelamento (volume do fuste principal); III = ajuste das 40 árvores com danos de janelamento e anelamento (volume do fuste principal); IV = ajuste das 40 árvores janeladas e aneladas (volume incluindo brotações). R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx}% = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados, v = volume (m³); h = altura total (m); ln = logaritmo neperiano.

Silvestre *et al.* (2014) em seu estudo sobre “Equações volumétricas em povoamentos de *P. taeda* no município de Lages, estado de Santa Catarina” testaram 33 equações de volume para estimativa do volume com casca de um plantio de *P. taeda* com 9 anos. Entre as equações ajustadas pelos autores, estava o modelo de Meyer, que apresentou o terceiro melhor desempenho entre as 33 equações ajustadas, apresentando R²_{aj} = 0,98, S_{yx} = 0,0135m³ e S_{yx} de 11,3%. Thomas *et al.* (2006) ajustaram equações volumétricas para *P. taeda* no município de Ponte Alta do Norte, Santa Catarina, com dados variando de 8 a 28 anos de idade, dentre os modelos testados os autores ajustaram o modelo de Meyer que apresentou as seguintes estatísticas para o ajuste e precisão: R²_{aj} 0,98, e S_{yx} = 0,1539 m³.

Yoshitani (2009) em seu trabalho “Avaliação biométrica e econômica de plantios de *P. taeda* L. em Santa Catarina” testou equações de volume utilizando dados de cubagem rigorosa de 320 árvores amostras de *P. taeda*, com idades variando de 11 a 26 anos. O autor

encontrou valores de ajuste e precisão para o modelo de Meyer de R^2_{aj} 0,978, $S_{yx} = 0,1078 \text{ m}^3$ e $S_{yx} = 11,03\%$.

O modelo de Meyer demonstrou, para as pesquisas citadas, assim como para a presente pesquisa um alto grau de ajuste da descrição da variável dependente (volume) em relação às variáveis independentes (DAP e h), com valores de R^2_{aj} acima de 0,9 e erros próximos de 10%.

Para as árvores que sofreram danos do tipo janelamento (grupo I) o modelo de Meyer apresentou melhor desempenho, apresentando um coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) de 0,9650 e um erro padrão de estimativa de 7,93% (Tabela 7). O modelo de Meyer também apresentou uma distribuição de resíduos mais uniforme (Figura 19).

Com base nas estatísticas de ajuste e precisão (Tabela 7) a equação que apresentou melhor desempenho para estimativa do volume (volume do fuste principal) com casca para as árvores que sofreram danos do tipo anelamento (Grupo II) foi o modelo de Meyer. Esse modelo apresentou $R^2_{aj} = 0,9373$ e $S_{yx}\% = 11,46\%$. Os modelos testados para estimar o volume com casca das árvores que sofreram danos do tipo anelamento apresentaram estatísticas inferiores às estatísticas obtidas para as árvores que sofreram danos do tipo janelamento (Grupo I).

Avaliando-se a terceira situação para as árvores danificadas, em que foram testadas as equações para estimar o volume com casca para as árvores que sofreram danos do tipo janelamento e anelamento (volume do fuste principal) juntos (grupo III), o modelo de Schumacher-Hall apresentou o melhor desempenho com R^2_{aj} de 0,9056 e erro padrão de estimativa de S_{yx} 13,74%.

Para testar as equações de volume na quarta situação foi necessário utilizar os dados de volume total obtidos por cubagem para as árvores janeladas e para as árvores aneladas. No caso das árvores aneladas foi utilizado o volume do fuste principal mais o volume das brotações, obtendo-se assim o volume total (grupo IV). Para essa situação o modelo de Meyer apresentou melhor desempenho, com coeficiente de determinação R^2_{aj} de 0,9132 e um erro padrão de estimativa de S_{yx} 13,51%, e uma distribuição homogênea dos resíduos (Figura 19).

Os resultados dos ajustes de modelos para estimar o volume individual total sem casca de *P. taeda* (Apêndice) seguem o mesmo padrão das estatísticas de ajuste e precisão para o volume com casca, ou seja, o modelo de Meyer apresentou estatísticas superiores aos demais modelos testados para a estimativa do volume sem casca, além de apresentar uma distribuição de resíduos mais homogênea e próxima de zero (Figura 19). Schumacher-Hall e Spurr

apresentaram valores muito próximos aos obtidos com Meyer para estatísticas de ajuste e precisão.

Na Figura 19 são apresentados os gráficos de distribuição de resíduos. Pode-se observar que o modelo de Meyer para árvores não danificadas e janeladas apresenta uma distribuição gráfica dos resíduos mais homogênea, quando comparada aos demais grupos.

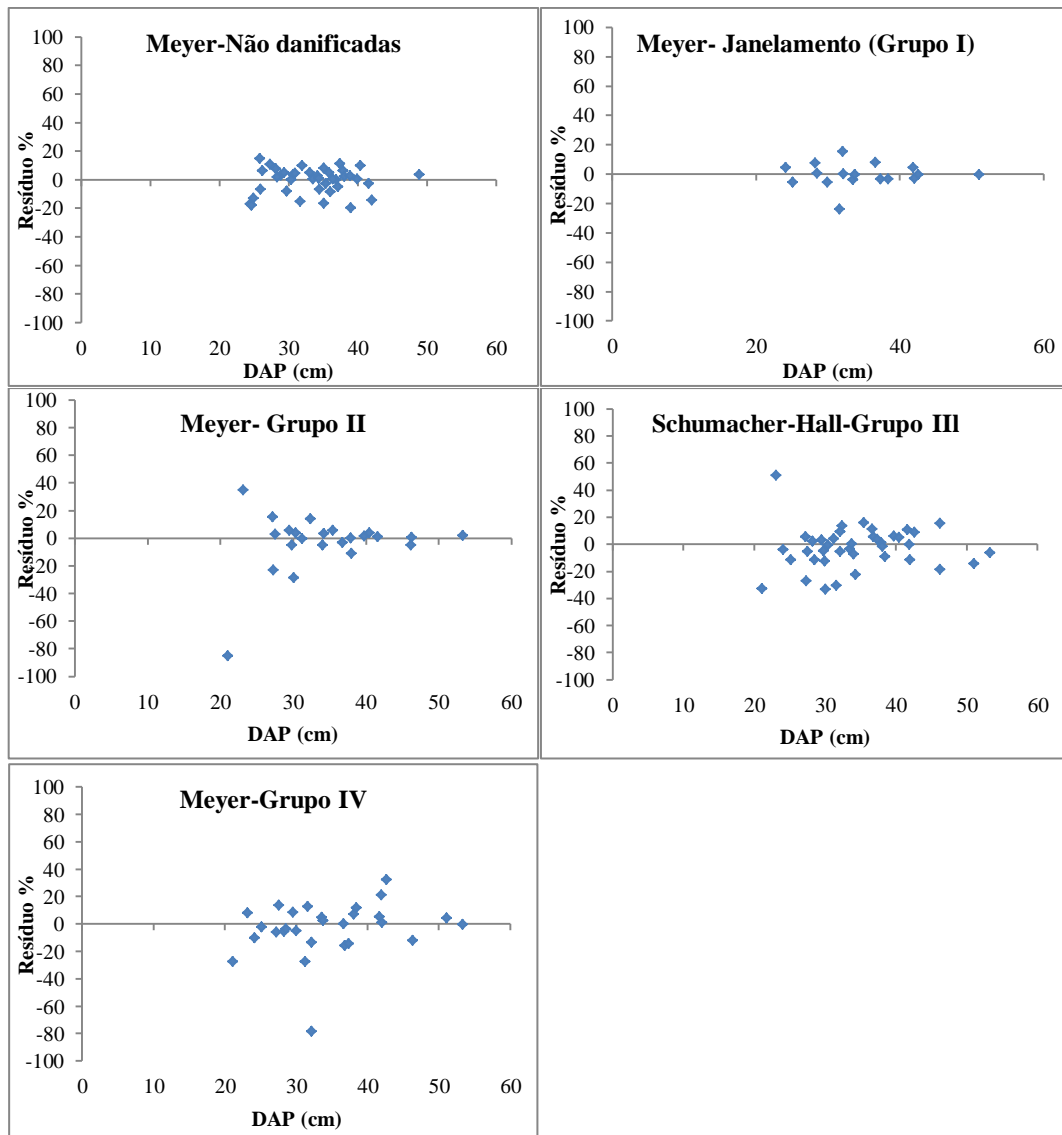


Figura 19. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume individual (com casca) para as árvores de *Pinus taeda*.

5.2.1.1 Teste de identidade para modelos de volume

Avaliando o desempenho das equações testadas, a equação de Meyer apresentou bom desempenho em todas as situações, considerado adequado para realizar as estimativas dos volumes totais com casca das árvores danificadas e árvores não danificadas. Após a seleção da melhor equação volumétrica foi empregado o teste de identidade de modelos de Graybill (1976) para verificar a possibilidade de realizar um único ajuste volumétrico para as árvores de *P. taeda* danificadas (janeladas e aneladas-fuste principal) e não danificadas por macacos-prego, e assim verificar a possibilidade do emprego de um número menor de modelos.

Considerando o modelo para estimativa do volume total com casca, o valor do F calculado (7,16) obtido no teste foi superior ao F tabelado (2,24), para 5% de probabilidade de erro, rejeitando a hipótese H_0 . Assim, o teste de identidade de modelos indicou não ser adequado o uso do modelo reduzido de Meyer, pois esse difere do modelo completo e como consequência, os ajustes das equações de volume de árvores que sofreram danos por macacos-prego e árvores que não sofreram danos devem ser realizadas separadamente (Tabela 8).

Tabela 8. Teste de identidade de Graybill (1976) para ajuste de modelo volumétrico de árvores de *Pinus taeda* danificadas e não danificadas por macacos-prego.

Teste para modelo de volume com casca					
	GL	SQ	QM	F_c	F tab (5%)
Modelo Completo	12	73,37			
Modelo Reduzido	6	72,90			
Diferença para testar hipótese (H0)	6	0,47	0,078	7,16	2,24
Resíduo	68	0,74	0,011		
Total	80	74,11			

Em que: GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F_c= estatística F calculado.

O teste de modelos de Graybill (1976) também foi aplicado aos dados de árvores danificadas para verificar a possibilidade de realizar um único ajuste volumétrico para as árvores que sofreram danos de anelamento (considerando o volume do fuste principal) e árvores que sofreram danos do tipo janelamento.

Os resultados (Tabela 9) obtidos para o teste de identidade de modelos de Graybill (1976) indicam que o valor do F calculado (6,63) foi superior ao F tabelado (2,45), para 5% de probabilidade de erro, rejeitando a hipótese H_0 . Apesar das estatísticas de ajuste e precisão do modelo de Meyer se mostrarem adequadas, quando realizada a junção dos dados de árvores aneladas e janeladas, apresentando R^2_{aj} de 0,9029, S_{yx} de 0,1286 m³ e S_{yx} de 13,94%, o

teste de identidade indicou não ser adequado o agrupamento dos dados de árvores que sofreram danos do tipo janelamento com árvores que tiveram o dano do tipo anelamento, devendo ser realizado ajuste separadamente para cada tipo de dano.

Tabela 9. Teste de identidade de modelos de Graybill (1976) para ajuste de modelo volumétrico de árvores de *Pinus taeda* danificadas por macacos-prego.

Teste para modelo de volume com casca					
	GL	SQ	QM	F_c	F tab (5%)
Modelo Completo	12	40,43			
Modelo Reduzido	6	40,10			
Diferença para testar hipótese (h0)	6	0,33	0,055	6,63	2,45
Resíduo	28	0,23	0,008		
Total	40	40,67			

Em que: GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM: quadrado médio; F_c= estatística F calculada.

5.2.2 Função de afilamento

Para descrever o perfil do fuste (com casca) das árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego foi ajustado o polinômio de quinto grau. As estatísticas de ajuste e precisão para as estimativas dos diâmetros ao longo do fuste estão na Tabela 10. Para todas as classes de idades as árvores que não sofreram danos apresentaram as melhores estatísticas de ajuste e precisão, com coeficiente de determinação (R^2_{aj}) variando de 0,9872 a 0,9900 e erro padrão de estimativa S_{yx} de 5,52 a 7,19%. Kohler (2013) trabalhando com dados de análise de tronco de *P. taeda* (árvores sem danos causados por macaco-prego) no estado do Paraná, ajustou o polinômio de quinto grau em quatro classes de idade (7-9, 10-12, 13-15 e 16-18 anos). A autora encontrou valores de ajuste e precisão que variaram de R^2_{aj} 0,981 a 0,99 e S_{yx} de 5,25 a 8,47%, resultados semelhantes aos obtidos nessa pesquisa para as árvores que não sofreram danos pelos macacos-prego.

As árvores que sofreram danos do tipo janelamento apresentaram o segundo melhor desempenho com R^2_{aj} variando de 0,9719 a 0,9794 e erros (S_{yx}) de 8,39 a 10,52%. As árvores aneladas apresentaram estatísticas de ajuste e precisão mais baixas comparadas às árvores não danificadas e janeladas, com R^2_{aj} de 0,8852 a 0,8641 e S_{yx} de 9,92% a 16,03%. Essas estatísticas inferiores àquelas obtidas para as árvores janeladas se devem à dificuldade do modelo em representar o perfil do tronco dessas árvores, principalmente na extremidade superior (ponteiros).

Tabela 10. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão para o modelo de afilamento ajustado para árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego (com casca).

Tipo de dano	Classe de idade	R^2_{aj}	S_{yx} (cm)	$S_{yx}\%$	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
Anelada	8 a 11 anos	0,8673	2,641	16,03	1,227641	-2,6227232	8,095651	-13,588534	9,923608	-2,705952
Janelada	8 a 11 anos	0,9794	1,290	8,39	1,212944	-3,1599903	12,29374	-26,570969	24,95787	-8,729898
Não danificadas	8 a 11 anos	0,9893	0,942	7,05	1,216661	-3,1888286	13,247441	-30,048558	28,783659	-10,00994
Anelada	12 a 15 anos	0,8641	2,727	12,01	1,219299	-2,746396	9,2653322	-15,036134	10,380498	-2,510823
Janelada	12 a 15 anos	0,9719	1,853	10,52	1,217875	-4,000683	18,227963	-38,707397	34,708681	-11,436981
Não danificadas	12 a 15 anos	0,9900	1,118	5,72	1,188524	-3,238602	14,061082	-31,335851	29,476228	-10,148981
Anelada	16 a 18 anos	0,8852	2,711	9,92	1,220275	-2,8038393	9,612955	-15,463683	10,679161	-2,549616
Janelada	16 a 18 anos	0,9761	1,957	9,47	1,218443	-4,3864643	20,802531	-44,269892	40,095996	-13,45701
Não danificadas	16 a 18 anos	0,9872	1,391	7,19	1,196660	-3,551721	15,131711	-31,95619	28,820154	-9,641521

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx}\%$ = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

De modo geral, as equações apresentaram um alto coeficiente de determinação ajustado e também um baixo erro padrão da estimativa e, portanto, podem estimar satisfatoriamente os diâmetros (d_i) nas diferentes alturas (h_i).

Os resíduos foram plotados em relação as suas respectivas alturas relativas (h_i/h), para árvores aneladas foram plotadas em relação as suas respectivas alturas relativas (h_i/h_{PA}) (Figura 23). Pode-se observar que o polinômio de quinto grau apresentou tendência a superestimar os diâmetros na porção superior do tronco das árvores não danificadas e janeladas por se tratarem de diâmetros pequenos. Para as árvores aneladas, a primeira classe de idade apresentou resíduos bastante altos, com dificuldades de expressar a extremidade superior dessas árvores, diferente das árvores não danificadas, em que a extremidade superior não apresenta diâmetros pequenos, porque a seção não é um cone e sim assemelha-se a um tronco de cone no ponto do anelamento. Provavelmente, os danos possam ter sido próximos a essas idades, fazendo com que haja uma grande variabilidade nos dados nessas extremidades, levando o modelo a apresentar dificuldades em expressar a ponteira para este tipo de árvores.

Na Figura 20, pode-se observar a evolução do afilamento por classes de idade para os três grupos de árvores estudados (anelada, janelada e não danificadas). Constata-se as modificações que ocorreram na forma devido aos danos dos macacos-prego as árvores. Nas primeiras classes de idade, as curvas são mais íngremes, havendo assim maior afilamento do

tronco das árvores nas idades mais jovens, isso ocorre para os três grupos de árvores. Kohler *et al.* (2016) também descreveram a evolução do afilamento para *P. taeda* (árvores sem danos causados por macaco-prego) ao longo dos anos em classes de idade (7 a 9, 10 a 12, 13 a 15 e 16 a 18 anos), e também observaram, como vários outros autores, que nas idades mais jovens há um maior afilamento do tronco.

Para a segunda classe de idade (12 a 15 anos), observa-se diferenças mais acentuadas entre as formas, para as árvores aneladas pelo macaco-prego. Isto se deve ao fato que este grupo de árvores já não possui a forma de um cone na sua extremidade se assemelhando a um tronco de cone, ou paraboloide (Figura 20). Para as árvores não danificadas e janeladas, nota-se que o afilamento é mais acentuado, porém, as árvores janeladas tem um aumento em diâmetro na porção do fuste entre 40 e 60% da altura total quando comparado com árvores sem danos na mesma classe de idade.

Na última classe de idade de 16 a 18 anos, os perfis do fuste apresentam as diferenças mais acentuadas, para nas árvores aneladas a forma não se altera muito em relação à classe de idade anterior (12-15 anos). Para as árvores janeladas fica mais visível o aumento de diâmetro nas na porção entre 40 e 60% da altura total, comparada à mesma seção das árvores não danificadas na mesma classe de idade.

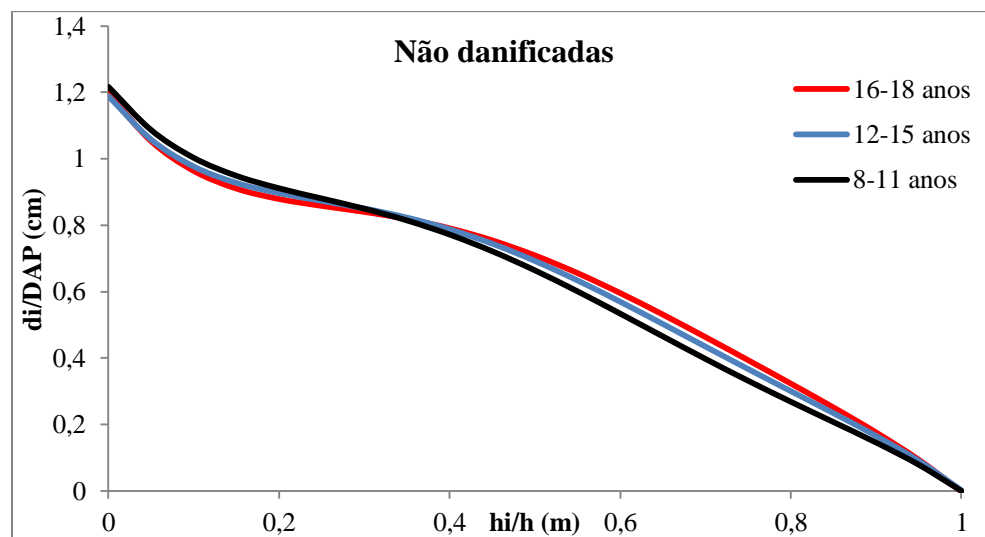


Figura 20. Evolução do afilamento para os três grupos de árvores estudadas (anelada, janelada e não danificadas)...

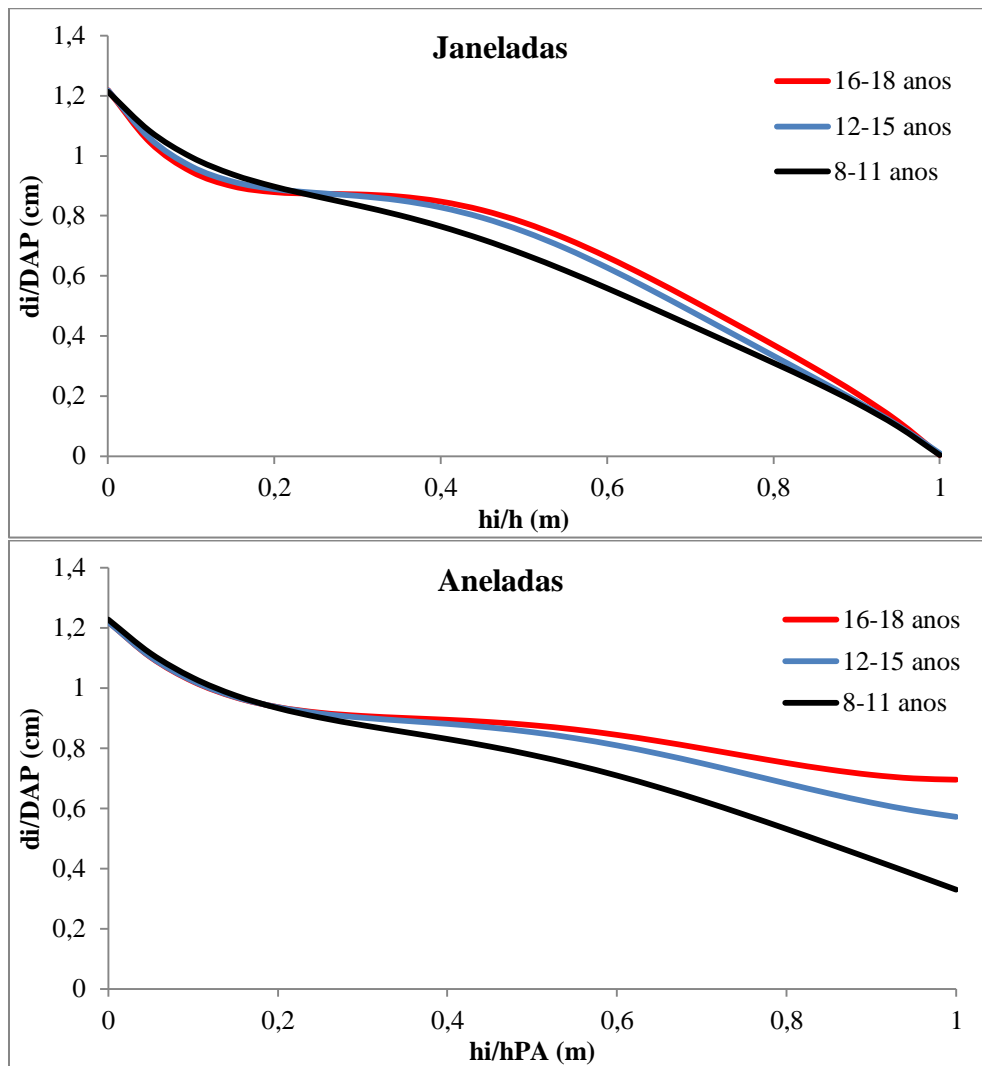


Figura 20. Evolução do afilamento para os três grupos de árvores estudadas (anelada, janelada e não danificadas).

Após os danos dos macacos-prego, a forma do fuste das árvores de *P. taeda* sofreram modificações, principalmente para as árvores aneladas. Aos 18 anos as árvores aneladas apresentavam forma mais próxima a um parabolóide (Figura 21).

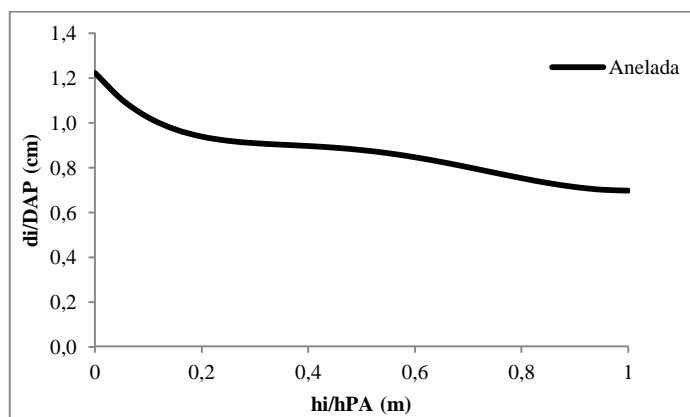


Figura 21. Perfil médio das árvores aos 18 anos para árvores aneladas.

Já as árvores janeladas são menos afiladas do que as árvores não danificadas. Isto pode ser claramente observado quando ajustado o perfil para uma árvore de diâmetro mínimo, uma de diâmetro médio e uma com diâmetro máximo (Figura 22).

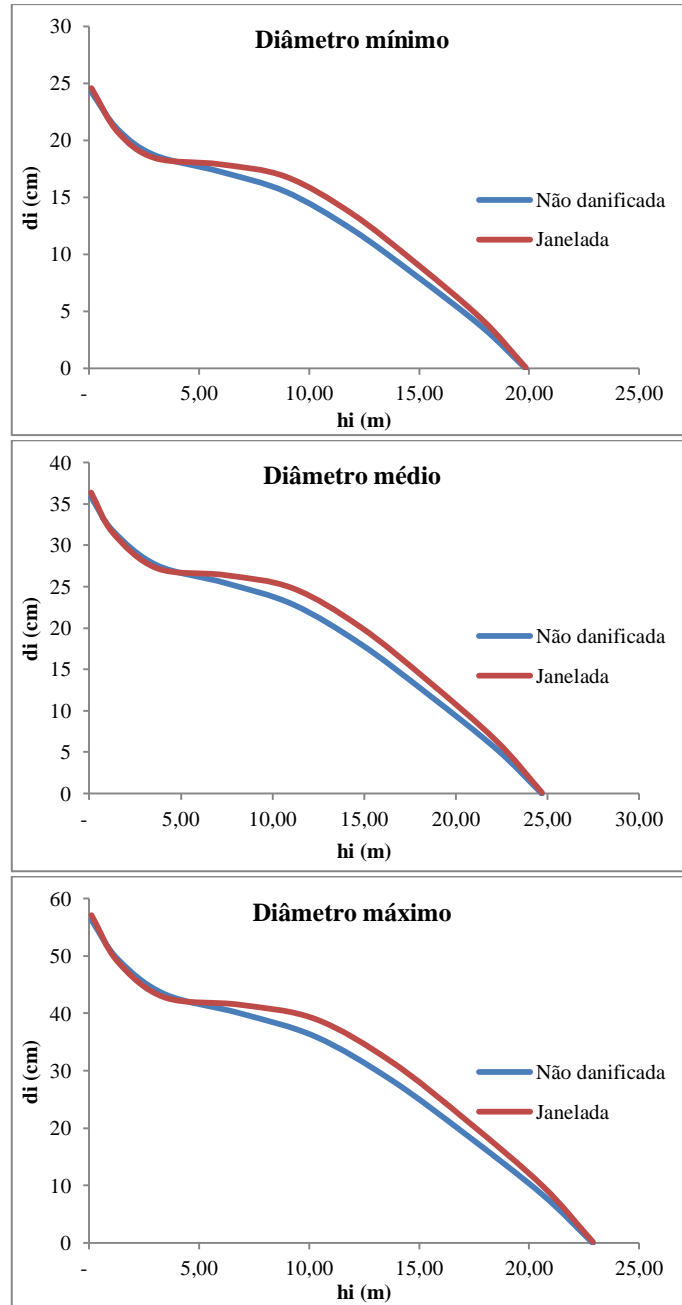


Figura 22. Perfil para árvores não danificadas e janeladas com diâmetro mínimo, médio e máximo aos 18 anos.

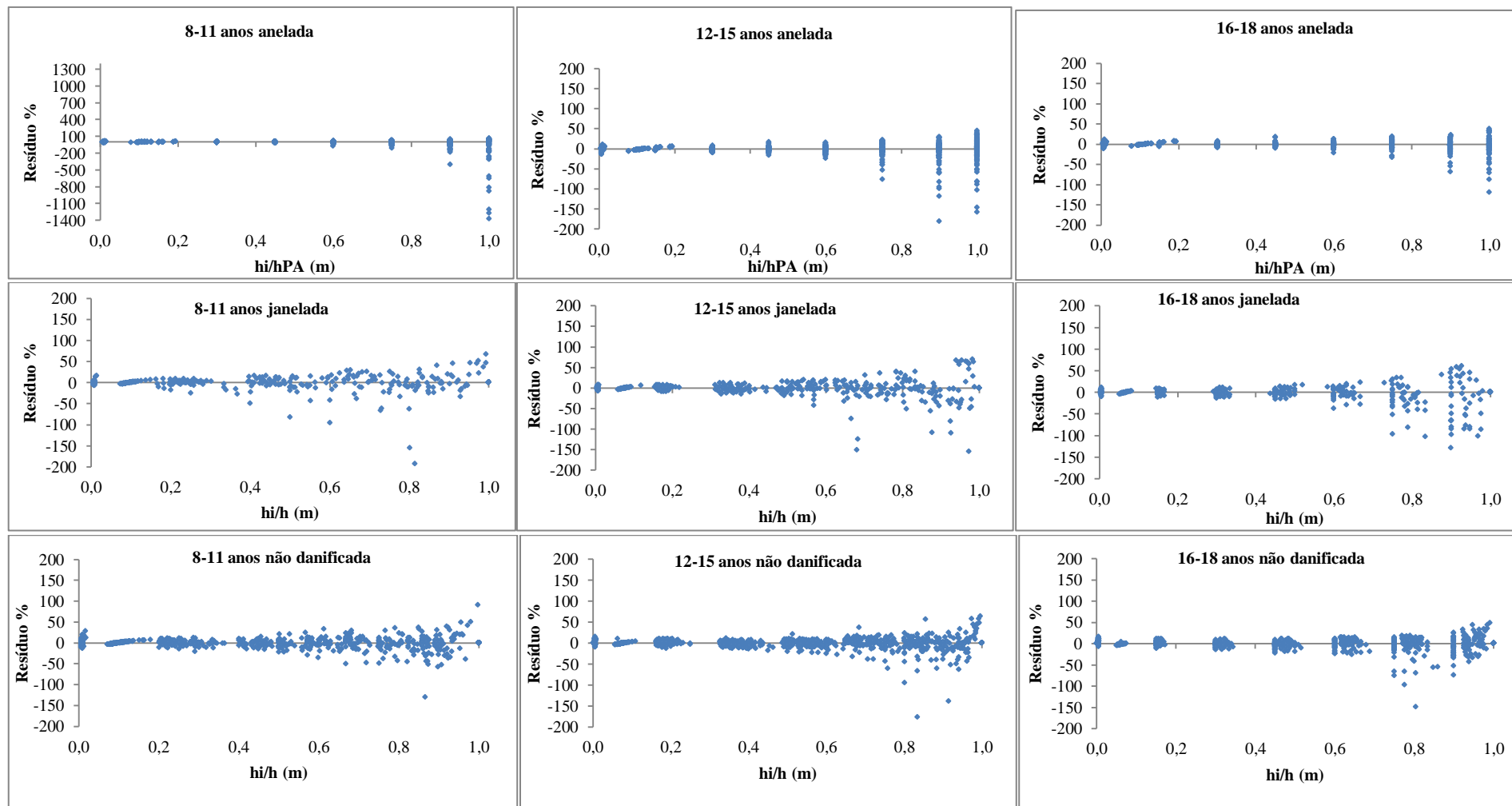


Figura 23. Dispersão gráfica dos resíduos das equações de afilamento ajustadas por classes de idade para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e não danificadas por macacos-prego.

5.2.3 Fator de forma

Para verificar se houve diferença na forma dos fustes devido aos danos provocados pelos macacos-prego, foi calculado ainda, fatores de forma artificiais com casca, (a casca foi estimada por meio da equação de Wolff II (2012) descrita no item 4.6) para os três grupos de árvores estudados. Na Tabela 11 estão os fatores de forma médios por idade, para cada grupo de árvores, a partir dos seis anos.

Tabela 11. Fatores de forma artificial ($f_{1,3}$) por idade para os três grupos de árvores estudados.

Idade (anos)	$f_{1,3}$ Não danificadas	$f_{1,3}$ Janeladas	$f_{1,3}$ Aneladas
6	0,594	0,494	0,509
7	0,514	0,481	0,504
8	0,497	0,467	0,532
9	0,481	0,483	0,581
10	0,480	0,494	0,617
11	0,480	0,506	0,654
12	0,481	0,513	0,684
13	0,484	0,516	0,708
14	0,482	0,524	0,731
15	0,483	0,531	0,749
16	0,496	0,541	0,763
17	0,497	0,544	0,779
18	0,498	0,545	0,791

O fator de forma artificial apresentou valores altos nas idades menores. Segundo Kohler (2013), isso não significa que as árvores estejam com uma forma mais cilíndrica, mas representa o efeito da utilização do DAP como diâmetro de referência. A Autora ainda comentou que as árvores mais novas possuem troncos mais afilados, assim o diâmetro da base da árvore é bem maior que o DAP, fazendo com que o volume da árvore seja muito próximo ou até maior que o volume do cilindro de referência (obtido com base do DAP), obtendo-se assim valores mais altos do fator de forma artificial nas idades muito jovens.

A partir dos 10 anos o fator de forma das árvores janeladas foi sempre superior aos das árvores não danificadas, chegando aos 18 anos com fator médio de 0,545 (Tabela 11), contra 0,498 das não danificadas. As árvores aneladas tiveram sempre fatores de forma bem maiores aos outros dois grupos, chegando a uma média de 0,791 aos 18 anos. Isto se explica pela queda da ponteira da árvore que leva a uma parada no crescimento em altura do tronco

principal, emergindo brotações que mantêm o crescimento diamétrico onde o tronco foi quebrado. Estes fatores de forma seriam equivalentes a um fator de forma comercial.

Para verificar se existe diferença entre fatores de forma das árvores que sofreram danos do tipo janelamento e das árvores que não foram danificadas por macacos-prego, foi aplicado o teste “t” de Student ($\alpha = 5\%$) (Tabela 12). Para as árvores que sofreram danos do tipo anelamento não foi necessário aplicar o teste “t” devido às mudanças óbvias nos fatores de forma desse grupo em relação aos outros dois.

Na Tabela 12 estão descritas as estatísticas para o teste “t”, mostrando que a forma das árvores janeladas sofreu alterações, sendo estatisticamente diferentes das árvores não danificadas a partir dos onze anos de idade. Constata-se que as árvores danificadas, tanto janeladas quanto aneladas, tiveram sua forma alterada, tornando-se mais cilíndrica. A evolução dos fatores de forma para as árvores aneladas, janeladas e não danificadas podem ser observados na Figura 24.

Tabela 12. Médias para o fator de forma artificial ($f_{1,3}$) por idade para árvores não danificadas e janeladas.

Idade (anos)	$f_{1,3}$ Não danificadas	$f_{1,3}$ Janeladas	F calc	p-valor
6	0,594 a	0,494 a	0,705 ^{ns}	0,4044
7	0,514 a	0,481 a	1,676 ^{ns}	0,4044
8	0,497a	0,467 a	3,450 ^{ns}	0,0685
9	0,481 a	0,483 a	0,008 ^{ns}	0,9255
10	0,480 a	0,494 a	2,436 ^{ns}	0,1242
11	0,480 b	0,506 a	5,884*	0,0186
12	0,481 b	0,513 a	10,200*	0,0023
13	0,484 b	0,516 a	10,489*	0,002
14	0,482 b	0,524 a	19,778*	0,0001
15	0,483 b	0,531 a	20,137*	0,0001
16	0,496 b	0,541 a	16,989*	0,0001
17	0,497 b	0,544 a	15,788*	0,0001
18	0,498 b	0,545 a	7,9339*	0,0067

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste “t” ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

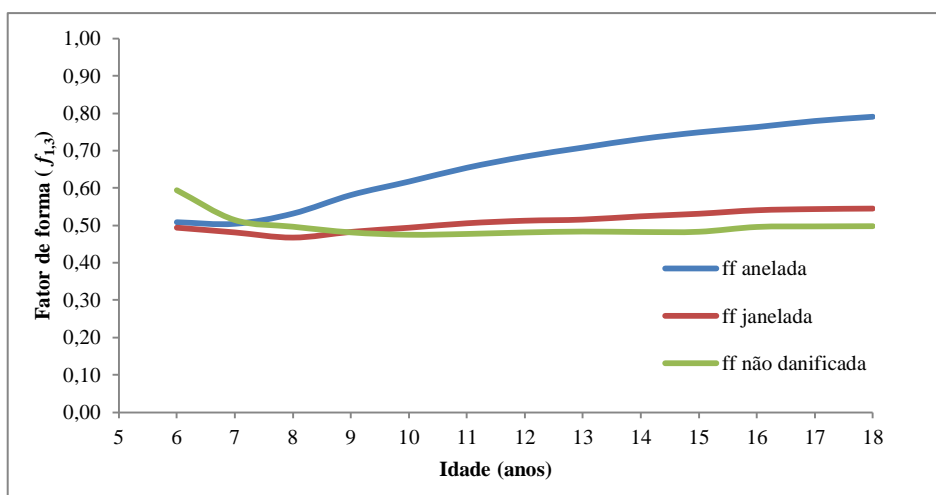


Figura 24. Evolução dos fatores de forma artificial ($f_{1,3}$) para árvores aneladas, janeladas e não danificadas.

Kohler (2013) encontrou um fator de forma médio para árvores de *P. taeda* (não danificadas) aos 18 anos de 0,459, muito próximo ao obtido na presente pesquisa para as árvores não danificadas (0,498).

Pacheco (2013) em sua pesquisa sobre a “Influência do espaçamento no crescimento de *Pinus taeda* L. na região centro-sul do Paraná” encontrou valores de fator de forma de 0,47 aos 9 anos para o espaçamento 3,0 x 2,5 m, praticamente igual ao obtido na presente pesquisa para o povoamento não danificado que foi de 0,481, na mesma idade. Stepka *et al.* (2016), estudando povoamentos de *P. taeda* com idades de 6, 8 e 9 anos na região dos Campos Gerais, estado do Paraná, obtiveram um fator de forma médio de 0,45.

5.3 Comparação do crescimento de árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego

Os resultados das comparações feitas para o crescimento de cada variável analisada (diâmetro, altura, área transversal e volume) entre árvores danificadas e não danificadas por macacos-prego estão apresentados na sequência. Para comparar o crescimento das variáveis foi realizado um delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), aplicando os testes estatísticos de Bartlett, ANOVA e Tukey (como descrito no item 4.12).

Por meio do teste de Bartlett foi verificado que as variâncias para todas as variáveis (diâmetro, altura, área transversal e volume) foram homogêneas, não havendo necessidade de transformação dos dados.

5.3.1 Diâmetro à altura do peito (DAP)

Na Tabela 13 observam-se as médias do crescimento em diâmetro (DAP) por idade, para cada grupo de árvores (não danificadas, aneladas e janeladas) com seus respectivos valores estatísticos para os testes de Bartlett, ANOVA e Tukey.

Tabela 13. Testes estatísticos (Bartlett, ANOVA e Tukey) para as médias de diâmetros à altura do peito (DAP) por idades para árvores não danificadas, janeladas e aneladas.

DAP (cm)					
Idade (anos)	Não danificadas	Janeladas	Aneladas	χ^2 calc	F cal
5	10,15 a	11,05 a	11,90 a	6,55874 ^{ns}	2,8387 ^{ns}
6	13,51 a	14,02 a	15,00 a	1,36745 ^{ns}	2,4348 ^{ns}
7	15,67 b	16,14 ab	17,50 a	2,26300 ^{ns}	3,3306 *
8	17,81 a	18,00 a	19,54 a	3,99731 ^{ns}	2,5799 ^{ns}
9	19,65 a	19,81 a	21,44 a	2,21333 ^{ns}	2,6912 ^{ns}
10	21,45 a	21,28 a	22,75 a	1,49159 ^{ns}	1,4417 ^{ns}
11	23,00 a	22,94 a	24,02 a	1,73452 ^{ns}	0,6260 ^{ns}
12	24,72 a	24,50 a	25,36 a	1,19339 ^{ns}	0,2731 ^{ns}
13	26,01 a	26,15 a	26,74 a	1,29401 ^{ns}	0,2052 ^{ns}
14	27,06 a	27,59 a	27,75 a	1,45341 ^{ns}	0,1701 ^{ns}
15	28,01 a	28,79 a	28,70 a	1,93638 ^{ns}	0,2021 ^{ns}
16	29,10 a	29,95 a	29,70 a	1,94589 ^{ns}	0,1767 ^{ns}
17	30,15 a	31,07 a	31,29 a	1,87729 ^{ns}	0,317 ^{ns}
18	31,53 a	32,69 a	32,55 a	2,09128 ^{ns}	0,2873 ^{ns}

Bartlett= χ^2 (Qui- quadrado); Fcal= teste F da ANOVA; Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; $\alpha = 5\%$.

O diâmetro para as árvores aneladas nos primeiros anos apresentou-se superior aos diâmetros das árvores não danificadas e também superior aos diâmetros das árvores janeladas. Isso leva a crer que, no passado, essas árvores aneladas foram, até um determinado período, árvores dominantes e codominantes. Liebsch *et al.* (2015) descreveram em seu estudo intitulado “Descascamento de *Pinus taeda* por macacos-prego (*Sapajus nigritus*): tipos e intensidades de danos e seus impactos sobre o crescimento das árvores” que os macacos-prego atacam árvores em todas as classes de diâmetro, mas que têm preferência por árvores dominantes ou as mais vigorosas dos plantios, devido a maior concentração de seiva nessas árvores, da qual o macaco se alimenta. Desta forma, nos primeiros ataques os macacos-prego

preferem as árvores dominantes e de diâmetros maiores, mas com o passar do tempo, se o ataque ocorre em grande intensidade, eles vão descascando também árvores mais finas.

No primeiro desbaste, segundo registros, foi buscado retirar as árvores que foram danificadas (as dominantes), porém nem todas foram retiradas mantendo-se no talhão árvores que apesar de danificadas possuíam potencial para obter produtos mais nobres no futuro.

Apesar de o teste de Tukey para quase todas as idades (com exceção da idade de sete anos) não detectar diferenças significativas, nota-se que até os nove anos as árvores aneladas apresentaram diâmetros maiores e após essa idade essa diferença entre as médias diminuiu.

As médias de DAP das árvores aneladas até os nove anos foram de 1,49 a 1,79 cm superiores às das árvores não danificadas. Após os nove anos esses valores foram de 1,30 a 0,60 cm, ou seja, com o passar dos anos ocorreram reduções nas diferenças dos diâmetros médios das árvores aneladas em relação ao DAP médio das árvores não danificadas. Para as árvores janeladas essa diferença de DAP médio foi de 0,16 cm até 0,51 cm superiores às árvores não danificadas. Entre os 10 e 12 anos essa diferença se inverte, ou seja, árvores não danificadas apresentaram médias de DAP de 0,17 a 0,22 cm superiores as árvores janeladas, o que leva a crer que nesse período o ritmo de crescimento dessas árvores sofreu alguma interferência. Porém, entre 13 e 18 anos, as árvores janeladas apresentaram novamente médias diamétricas superiores às das árvores não danificadas, com valores que variaram de 0,17 a 1,16 cm.

Liebsch *et al.* (2015) também constataram reduções após os danos nas diferenças das médias de diâmetros entre árvores não danificadas e danificadas. Esses autores descreveram que, as médias de DAP para as árvores aneladas no ano do ataque foram de 1,5 a 2,4 cm superiores às das árvores não danificadas. Para as árvores janeladas, estes valores variaram de 2 a 3,2 cm em relação às não danificadas. Segundo os autores, em ambos os casos, com o aumento de idade do povoamento de *P. taeda* estudado, ocorreram reduções nas diferenças em relação ao DAP médio das árvores não danificadas.

Desta forma pode-se observar que os danos por macacos-prego em árvores de *P. taeda* afetou o diâmetro das árvores, que tiveram uma redução no seu ritmo de crescimento e chegaram à idade de 18 anos com diâmetros semelhantes aos das árvores não danificadas. Por se tratarem de árvores dominantes e codominantes (no momento do ataque) as árvores aneladas diminuiram o seu potencial para obter produtos finais mais nobres, caso não tivessem sido danificadas.

5.3.2 Altura

Na Tabela 14 observam-se as médias de crescimento em altura (h) por idade para cada grupo de árvores estudado (não danificadas, aneladas e janeladas). Pode-se observar que a altura sofreu mudanças significativas a partir dos nove anos para as árvores aneladas, em que as alturas médias dessas árvores diferem estatisticamente das médias em altura das demais árvores, apresentando médias inferiores às médias de árvores janeladas e da média das árvores não danificadas. A partir dos 11 anos a altura das árvores aneladas se estabilizou no valor médio de 11,36 m até os 18 anos.

Árvores janeladas apresentaram seu crescimento em altura médio até os 14 anos estatisticamente iguais às médias de crescimento em altura das árvores não danificadas, após os 14 anos as médias de crescimento em altura foram estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey (Tabela 14), sendo a média de altura das árvores janeladas inferiores as das árvores não danificadas.

Tabela 14. Testes estatísticos (Bartlett, ANOVA e Tukey) para as médias de altura total (h) por idades para árvores não-danificadas, janeladas e aneladas de *Pinus taeda*.

Altura total (m)					
Idade (anos)	Não danificadas	Janelada	Anelada	χ^2 calc	F cal
5	6,45 a	6,61 a	7,02 a	5,23116 ^{ns}	2,31873 ^{ns}
6	7,92 a	8,47 a	8,69 a	3,64397 ^{ns}	2,4475 ^{ns}
7	9,42 a	10,04 a	10,09 a	0,17003 ^{ns}	1,5942 ^{ns}
8	11,00 a	11,82 a	10,76 a	0,29999 ^{ns}	2,0081 ^{ns}
9	12,62 a	13,28 a	11,08 b	0,87669 ^{ns}	8,2093*
10	14,21 a	14,46 a	11,24 b	1,34747 ^{ns}	21,2028*
11	15,77 a	15,55 a	11,36 b	2,37385 ^{ns}	39,8326*
12	17,14 a	16,48 a	11,36 b	2,83528 ^{ns}	69,1713*
13	18,38 a	17,45 a	11,36 b	5,43059 ^{ns}	114,8076*
14	19,60 a	18,33 a	11,36 b	4,40850 ^{ns}	151,7334*
15	20,68 a	19,05 b	11,36 c	4,05452 ^{ns}	186,2707*
16	21,55 a	19,68 b	11,36 c	5,04572 ^{ns}	225,4948*
17	22,41 a	20,42 b	11,36 c	5,13451 ^{ns}	246,7175*
18	23,26 a	21,17 b	11,36 c	5,59700 ^{ns}	272,4150*

Bartlett= χ^2 (Qui- quadrado); Fcal= teste F da ANOVA; Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; $\alpha = 5\%$.

5.3.3 Área transversal

Da mesma forma que para o diâmetro, o teste de Tukey para verificar diferença entre as áreas transversais médias por idade, para quase todas as idades (com exceção da idade de sete anos), não apresentarem diferença significativa. Pode ser observado que até os nove anos as árvores aneladas apresentaram áreas transversais médias maiores, após essa idade, essa diferença entre as médias diminuiu, comparando com árvores não danificadas (Tabela 15). No entanto, as árvores danificadas chegaram aos 18 anos com média pouco maior (0,0871 m²) do que as médias para a área transversal das árvores não danificadas (0,08048 m²).

Tabela 15. Testes estatísticos (Bartlett, ANOVA e Tukey) para as médias de área transversal (g) por idades para árvores não danificadas, janeladas e aneladas.

Idade (anos)	Área transversal (g.m ²)			χ^2_{calc}	F cal
	Não danificadas	Janeladas	Aneladas		
5	0,00989 a	0,01032 a	0,01161 a	2,43862 ^{ns}	1,6338 ^{ns}
6	0,01525 a	0,01577 a	0,01820 a	1,60444 ^{ns}	2,4225 ^{ns}
7	0,02036 b	0,02091 ab	0,02462 a	2,50878 ^{ns}	3,3642 *
8	0,02633 a	0,02578 a	0,03062 a	2,45034 ^{ns}	2,6399 ^{ns}
9	0,03116 a	0,03121 a	0,03685 a	2,24729 ^{ns}	2,8937 ^{ns}
10	0,03701 a	0,03607 a	0,04149 a	1,97725 ^{ns}	1,5038 ^{ns}
11	0,04290 a	0,04169 a	0,04641 a	1,75443 ^{ns}	0,7106 ^{ns}
12	0,04918 a	0,04799 a	0,05198 a	1,33950 ^{ns}	0,3292 ^{ns}
13	0,05449 a	0,05487 a	0,05805 a	1,19671 ^{ns}	0,2621 ^{ns}
14	0,05907 a	0,06124 a	0,06277 a	1,36859 ^{ns}	0,2149 ^{ns}
15	0,06359 a	0,06682 a	0,06743 a	2,18382 ^{ns}	0,2163 ^{ns}
16	0,06858 a	0,07248 a	0,07243 a	2,32059 ^{ns}	0,1961 ^{ns}
17	0,07355 a	0,07833 a	0,08042 a	2,89080 ^{ns}	0,3971 ^{ns}
18	0,08048 a	0,08710 a	0,08725 a	3,76839 ^{ns}	0,3736 ^{ns}

Bartlett= χ^2 (Qui- quadrado); Fcal= teste F da ANOVA; Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; $\alpha = 5\%$.

5.3.4 Volume

Na Tabela 16 observam-se as médias do crescimento do volume (v) total com casca por idade para cada grupo de árvores estudado (não danificadas, aneladas e janeladas) com

seus respectivos valores estatísticos. Apesar dos testes não detectarem diferenças estatísticas entre as médias de volume individual, pode-se observar que as médias para volume das árvores aneladas, de cinco a nove anos foi de 14 a 17% superiores às médias das árvores não danificadas. A partir dessa idade nota-se uma diminuição no ritmo de crescimento das árvores aneladas, chegando aos 18 anos com volume médio de aproximadamente 15% inferior aos das árvores não danificadas e 18% inferior ao volume das árvores janeladas. Para as árvores janeladas observa-se que as médias por idade para o sexto e sétimo anos são semelhantes com às médias das árvores sem danos. Aos oito anos, a média das árvores janeladas diminuiu aproximadamente 4% em relação às árvores não danificadas e a partir dessa idade e até a idade de 18 anos, as médias das árvores janeladas são superiores as médias das árvores não danificadas.

Tabela 16. Testes estatísticos (Bartlett, ANOVA e Tukey) para as médias de volume total com casca (v) por idades para árvores não danificadas, janeladas e aneladas.

Idade (anos)	Volume (v.m ³)			χ^2 calc	F cal
	Não danificadas	Janeladas	Aneladas		
5	0,03484 a	0,03642 a	0,04397 a	1,02480 ^{ns}	2,6784 ^{ns}
6	0,06547 a	0,06596 a	0,07980 a	1,63837 ^{ns}	2,6597 ^{ns}
7	0,10131 a	0,10196 a	0,12405 a	2,38108 ^{ns}	2,5017 ^{ns}
8	0,14867 a	0,14301 a	0,17304 a	1,51607 ^{ns}	2,3329 ^{ns}
9	0,19982 a	0,20022 a	0,23395 a	2,26744 ^{ns}	2,2457 ^{ns}
10	0,25753 a	0,25899 a	0,28391 a	0,74718 ^{ns}	0,7571 ^{ns}
11	0,32435 a	0,32970 a	0,34026 a	0,36184 ^{ns}	0,1482 ^{ns}
12	0,40696 a	0,40865 a	0,39937 a	0,22480 ^{ns}	0,0279 ^{ns}
13	0,48507 a	0,49728 a	0,46344 a	0,46612 ^{ns}	0,2088 ^{ns}
14	0,55859 a	0,59175 a	0,53729 a	0,39734 ^{ns}	0,2149 ^{ns}
15	0,63569 a	0,67647 a	0,57046 a	1,05839 ^{ns}	1,0626 ^{ns}
16	0,73218 a	0,77153 a	0,62530 a	0,63487 ^{ns}	1,7263 ^{ns}
17	0,81882 a	0,86922 a	0,71546 a	0,69677 ^{ns}	1,3545 ^{ns}
18	0,88944 a	0,92697 a	0,76170 a	0,96802 ^{ns}	1,4114 ^{ns}

Bartlett= χ^2 (Qui- quadrado); Fcal= teste F da ANOVA; Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; $\alpha = 5\%$.

5.4 Modelagem do crescimento e produção

O modelo de Chapman-Richards foi ajustado para descrever as curvas de crescimento e produção para as variáveis estudadas (DAP, altura total, área transversal e volume total). O ajuste do modelo foi realizado para as variáveis com casca, as quais (exceto a altura total, obviamente) foram estimadas nas várias idades com o modelo de Wolff II (2012), conforme descrito na metodologia. O ajuste foi realizado separadamente para cada grupo de árvores (aneladas, janeladas e não danificadas) com os dados gerados na análise de tronco completa (ANATRO). Na Tabela 17 estão os coeficientes e as estatísticas de ajuste e precisão para o modelo de Chapman-Richards obtidos para cada variável estudada.

Tabela 17. Coeficientes do modelo de Chapman-Richards para as variáveis DAP com casca, altura total, área transversal com casca e volume total com casca e suas respectivas estatísticas de ajuste e precisão, para árvores aneladas, janeladas e árvores não danificadas de *Pinus taeda*.

DAP (cm)					
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}(\%)$
Aneladas	36,01350	0,140550	1,617260	0,7518	20,22
Janeladas	40,06740	0,110668	1,538580	0,8354	17,14
Não danificadas	35,24700	0,151430	1,985650	0,8098	19,01
Altura total (m)					
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}(\%)$
Aneladas	11,53120	0,483096	4,597660	0,6030	19,23
Janeladas	24,42660	0,141331	1,900230	0,9154	12,07
Não danificadas	32,62960	0,097023	1,738490	0,9430	10,77
Área transversal com casca (m ²)					
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}(\%)$
Aneladas	0,15025	0,087157	2,589600	0,6739	38,91
Janeladas	0,279524	0,045138	2,014303	0,7221	37,72
Não danificadas	0,12066	0,111410	2,987440	0,6938	40,51
Volume total com casca (m ³)					
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}(\%)$
Aneladas	1,49100	0,095982	3,472070	0,6344	51,94
Janeladas	1,795180	0,114882	4,998330	0,7609	45,11
Não danificadas	2,219920	0,087932	3,965960	0,7655	43,55

Em que: R^2 = coeficiente de determinação; $S_{yx}\%$ = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

Para a variável DAP os valores dos coeficientes “ b_0 ” do modelo ajustado, que representa o valor assintótico, apresentaram-se coerentes com a lógica biológica esperada para

cada grupo de árvores (aneladas, janeladas e não danificadas), variando de 35 a 40 cm. As árvores que sofreram danos do tipo janelamento também apresentaram menor erro padrão de estimativa (17,14%) para a estimativa da variável DAP. Pacheco (2013) utilizou o modelo biológico de Chapman-Richards para estimar o crescimento acumulado em DAP de *P. taeda* para um plantio com espaçamento de 3,0 x 2,5 m e obteve um coeficiente de determinação de 0,91 e erro padrão de 33,84%.

Para o ajuste das alturas das árvores aneladas foi considerada a altura até o ponto de anelamento (hPA). Segundo Liebsch *et al.* (2018) essa altura é determinante para a produção de toras, sendo que acima desse dano o volume é perdido pela morte e seca da ponteira. Para a variável altura o menor erro foi obtido para as árvores não danificadas por macacos, com S_{yx} de 10,77%, seguido das árvores que sofreram danos do tipo janelamento com S_{yx} de 12,07%. Pacheco (2013) estimando o crescimento acumulado em altura obteve um erro padrão de estimativa de 20,91%.

O valor assintótico estimado pelo modelo de Chapman-Richards “ b_0 ” para altura das árvores não danificadas prevê que as árvores não danificadas podem atingir 32,62 m, enquanto que nas janeladas, esse valor máximo foi estimado em 24,42 m. Para as árvores que foram aneladas a altura assintótica estimada foi de 11,53 m, indicando que os danos causados pelos macacos-prego prejudicam, sobremaneira, o crescimento em altura dessas árvores.

O ajuste para a variável “g” apresentou erros altos que variaram de 38,91 a 40,51%. Para o estudo de Pacheco (2013) as estimativas de ajuste e precisão para estimativa do crescimento acumulado em área transversal utilizando o modelo de Chapman-Richards também resultou em erros altos que variaram de 61,10 a 89,79%.

Para a estimativa do volume total com casca (m^3), da mesma maneira que a área transversal, o volume também apresentou erros altos entre 43,55 e 51,94%. Erros altos também foram encontrados por Pacheco (2013), em que o erro para estimativa do crescimento acumulado em volume para o espaçamento 3,0 x 2,5 m foi de 76,95%.

Em geral, as piores estimativas foram encontradas para as árvores que sofreram danos do tipo anelamento, pois esse tipo de dano é considerado mais grave, afetando mais as características de crescimento das árvores. Algumas variáveis apresentaram erros altos nas estimativas, isso se deve a grande variabilidade das variáveis em cada idade, principalmente após os danos causados pelos macacos, que modifica o padrão de crescimento “normal” da árvore. Todavia, para os propósitos dessa pesquisa, o erro padrão de estimativa alto não é

relevante, considerando que a modelagem foi realizada a fim de se dispor de curvas médias de produção das árvores aneladas, janeladas e árvores não danificadas por macacos-prego.

5.4.1 Diâmetro à altura do peito (DAP)

Na Figura 25 pode-se observar a curva de produção em diâmetro ao longo dos anos para cada grupo de árvores analisadas (aneladas, janeladas e não danificadas). A curva de produção em diâmetro para as árvores aneladas, até aproximadamente 15 anos, se encontra acima das curvas de produção das árvores janeladas e não danificadas. As árvores janeladas apresentaram crescimento inicial até aproximadamente seis anos superior às árvores não danificadas. A partir de seis anos as curvas das árvores janeladas e não danificadas se sobrepõem até aproximadamente 15 anos, quando então, a curva de produção das árvores janeladas se torna pouco superior às árvores não danificadas. As três curvas de produção chegaram aos 18 anos com praticamente os mesmos valores médios de produções em diâmetro, com a curva de produção em diâmetro das árvores janeladas pouco superior à das árvores aneladas e não danificadas.

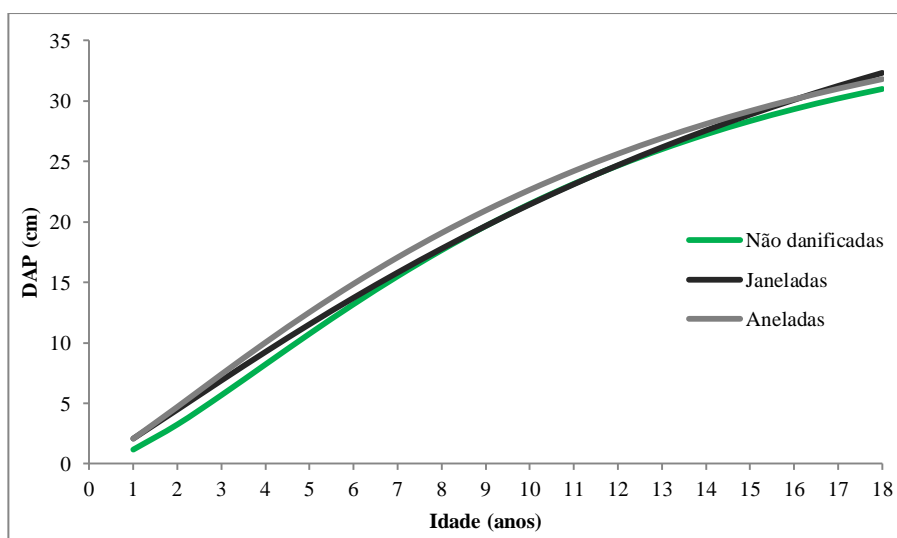


Figura 25. Curvas de produção em diâmetro para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e árvores não danificadas por macacos-prego.

O ponto de máximo incremento médio anual IMA em diâmetro para as árvores do povoamento danificado (aneladas e janeladas) ocorreu, respectivamente, aos sete e oito anos, enquanto que as árvores do povoamento não danificado ocorreram mais tarde, aos nove anos e meio.

Na idade de 18 anos, as árvores janeladas apresentaram maior incremento médio anual (IMA) em diâmetro com casca ($1,77 \text{ cm.ano}^{-1}$) em relação às árvores que sofreram anelamento (IMA de $1,75 \text{ cm.ano}^{-1}$) e às árvores não danificadas, com IMA de $1,71 \text{ cm.ano}^{-1}$.

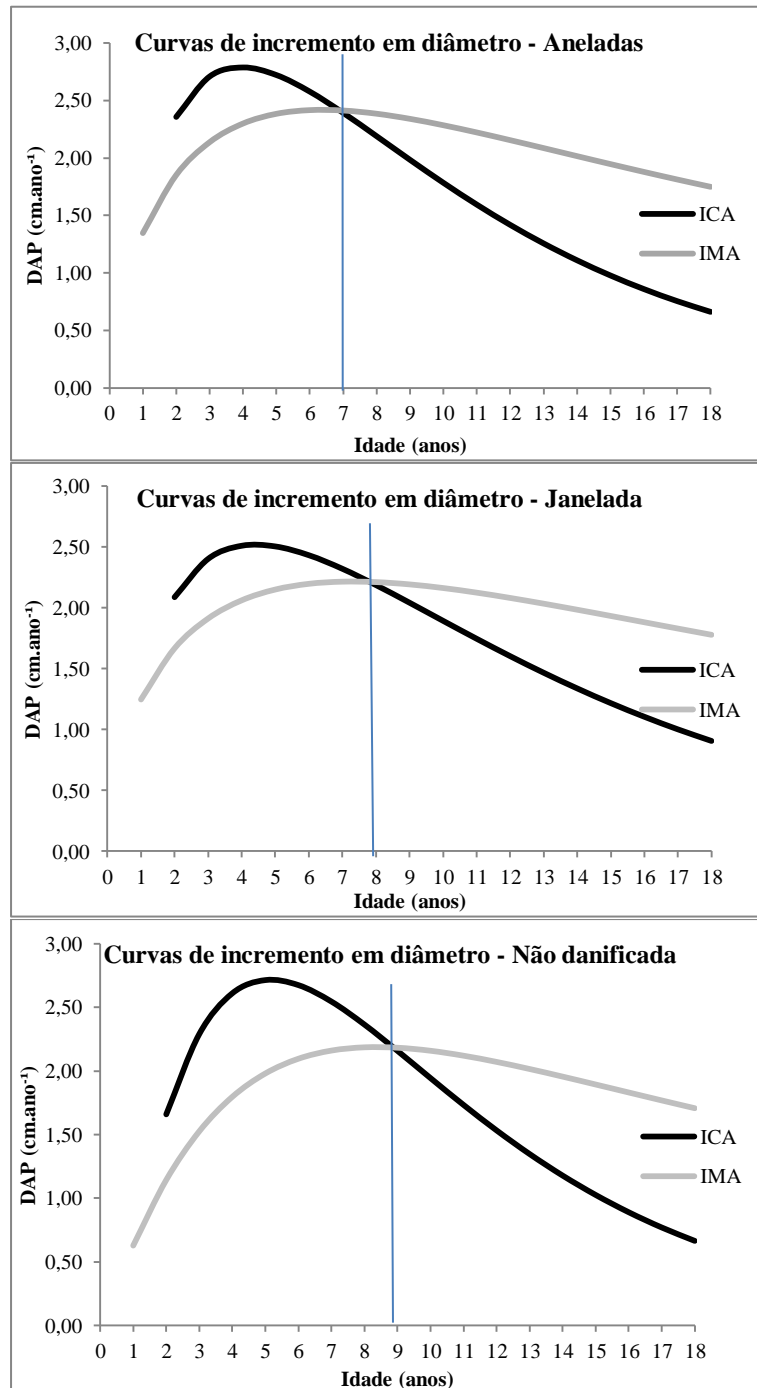


Figura 26. Curvas de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para diâmetro (DAP) para árvores aneladas, janeladas e não danificadas.

5.4.2 Altura

As curvas de produção apresentadas na Figura 27 mostram o impacto no crescimento em altura para as árvores que sofreram danos do tipo anelamento (considerando o fuste principal). A partir de dez anos a curva de produção se estabilizou mantendo-se a uma altura média de aproximadamente de 11,5 m, enquanto que árvores não danificadas e janeladas atingiram, aos 18 anos, respectivamente, cerca de 23 e 20 m. Essa redução do crescimento em altura foi de aproximadamente 50% do potencial de crescimento que essas árvores poderiam atingir aos 18 anos, comparadas às árvores não danificadas.

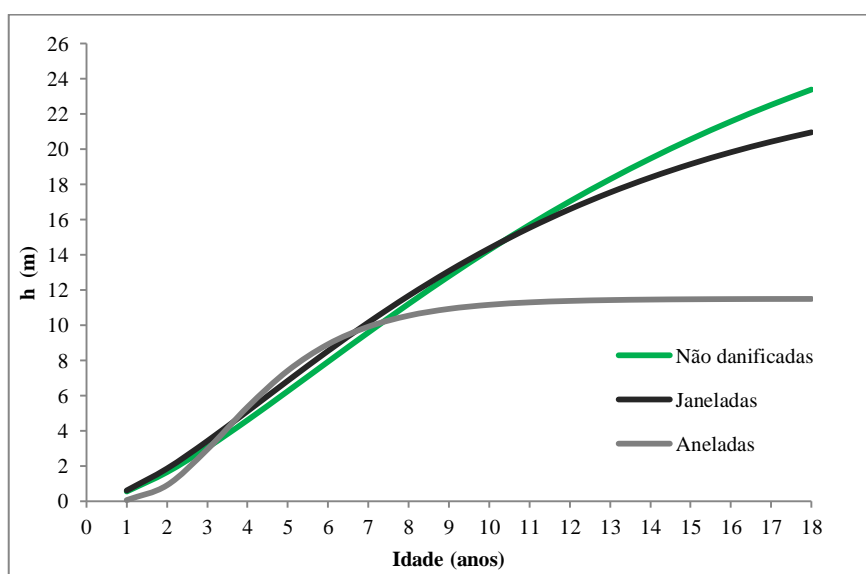


Figura 27. Curvas de produção em altura total para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e árvores não danificadas por macacos-prego.

As curvas de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) cruzaram aos seis anos, aproximadamente, para as árvores aneladas. Já para as árvores janeladas esse cruzamento ocorreu aos 8 anos, enquanto que as árvores do povoamento não danificado o cruzamento das curvas de incremento se deu aos 10 anos, aproximadamente.

O incremento médio anual em altura aos 18 anos foi maior para as árvores não danificadas ($1,25 \text{ m.ano}^{-1}$), seguido das árvores janeladas ($1,16 \text{ m.ano}^{-1}$) e, por último as árvores que foram aneladas pelos macacos-prego e tiveram a ponteira seca, estacionando o crescimento do fuste principal ($\text{IMA}_h = 0,64 \text{ m.ano}^{-1}$). Neste caso, no cálculo do incremento médio anual em altura não foram utilizadas as alturas das brotações que ocorrem quando a árvore anelada não morre após a queda da ponteira que secou.

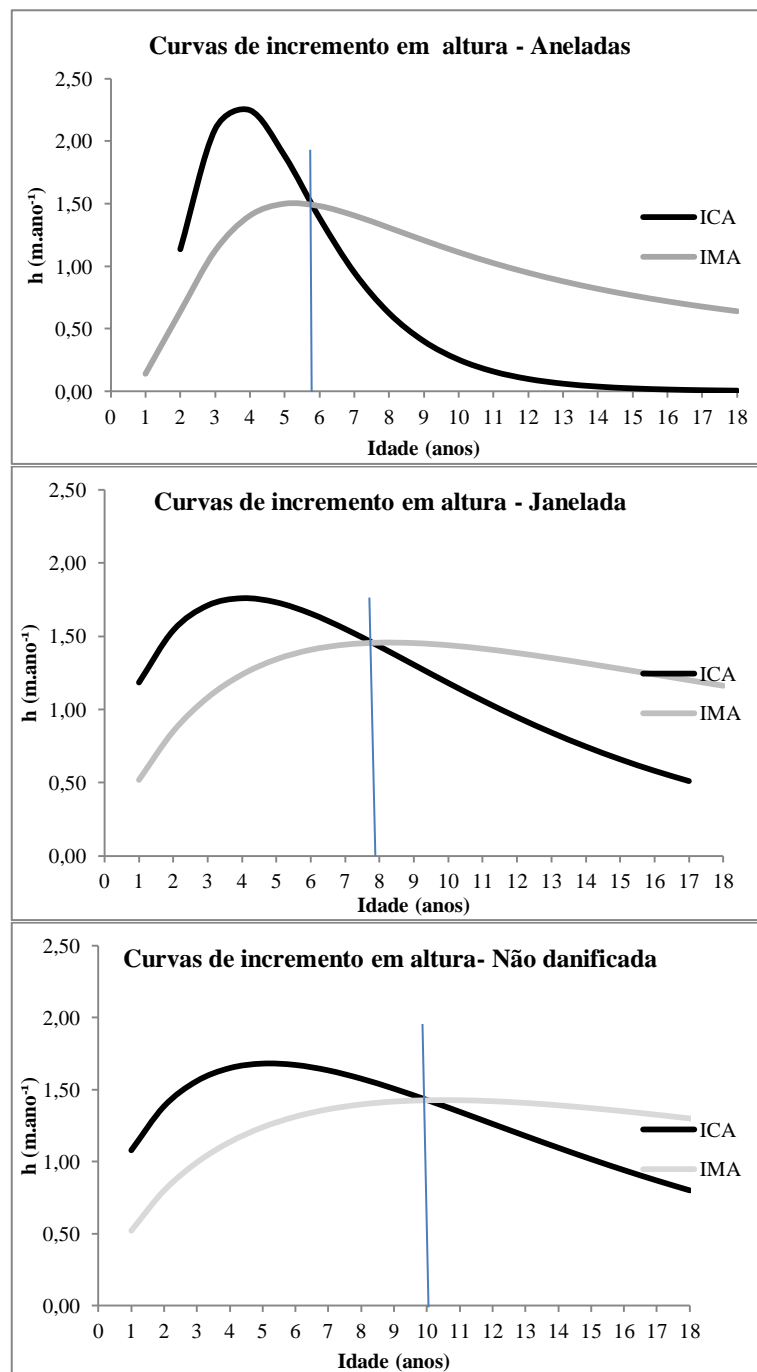


Figura 28. Curvas de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para altura (h).

Na Figura 29 é apresentado o perfil do tronco ao longo de 18 anos para duas árvores aneladas. Este perfil foi gerado por meio da ANATRO completa, com auxílio do FlorExel. Por meio do perfil é possível visualizar em que altura e idade ocorreram os anelamentos das árvores. Avaliando-se todos os perfis dessas árvores, pode-se constatar que vários anelamentos ocorreram entre sete e oito anos de idade.

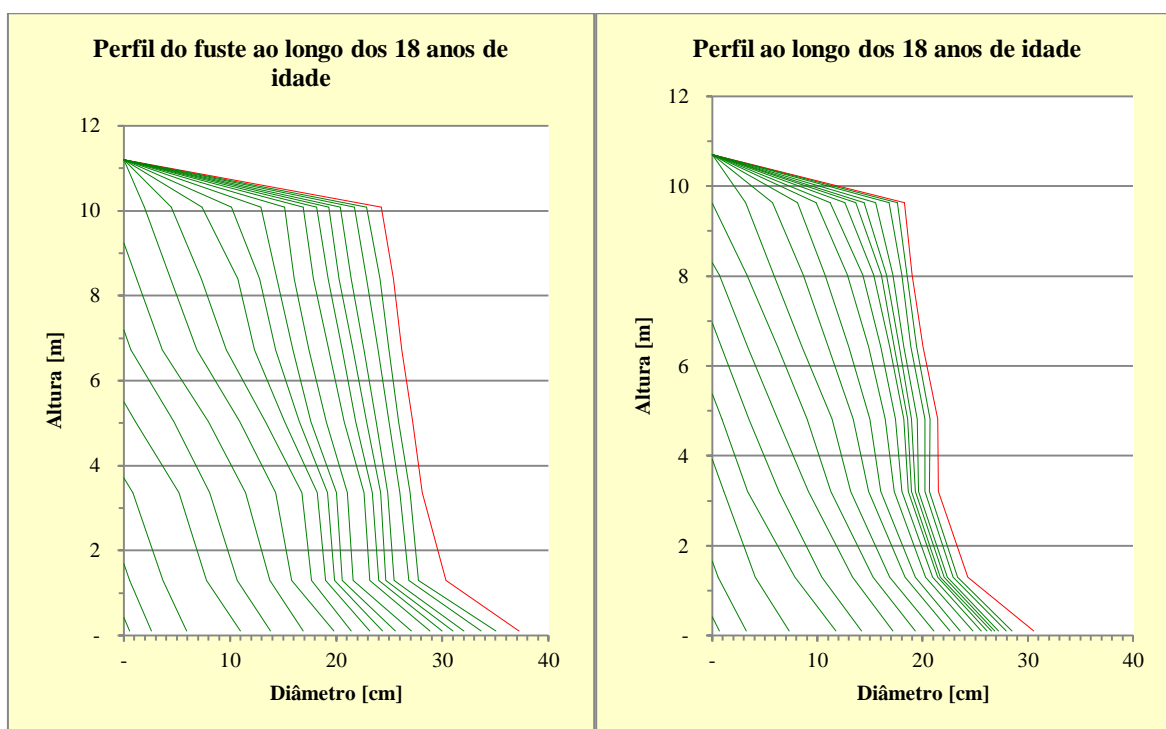


Figura 29. Perfil de árvores aneladas por macacos-prego.

5.4.3 Área transversal (g)

Na Figura 30 estão apresentadas as curvas de crescimento em área transversal para as árvores não danificadas, janeladas e aneladas por macacos-prego. A curva de produção em área transversal para as árvores aneladas manteve-se acima das curvas de produção das árvores janeladas e não danificadas até aproximadamente 15,5 anos. Deste ponto em diante a curva se iguala à curva das árvores janeladas. As curvas de produção em área transversal para árvores janeladas e não danificadas estão sobrepostas até aproximadamente 14 anos, após esta idade até os 18 anos, o crescimento das árvores janeladas se torna superior ao crescimento acumulado das árvores não danificadas.

As curvas de incremento em área transversal para as árvores aneladas e não danificadas cruzaram-se após os dezessete anos. Para as árvores janeladas as curvas ainda não se cruzaram, ou seja, não atingiram o máximo incremento médio (IMAg), indicando que a área transversal ainda está aumentando para essas situações (Figura 31).

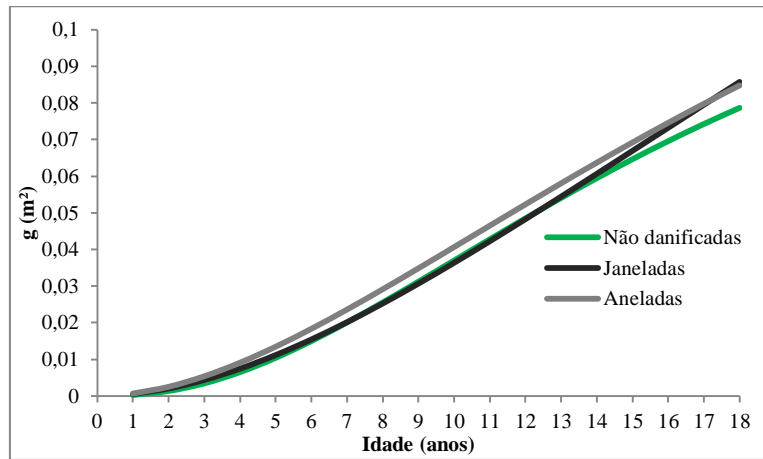


Figura 30. Curvas de produção em área transversal (g) para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e árvores não danificadas por macacos-prego.

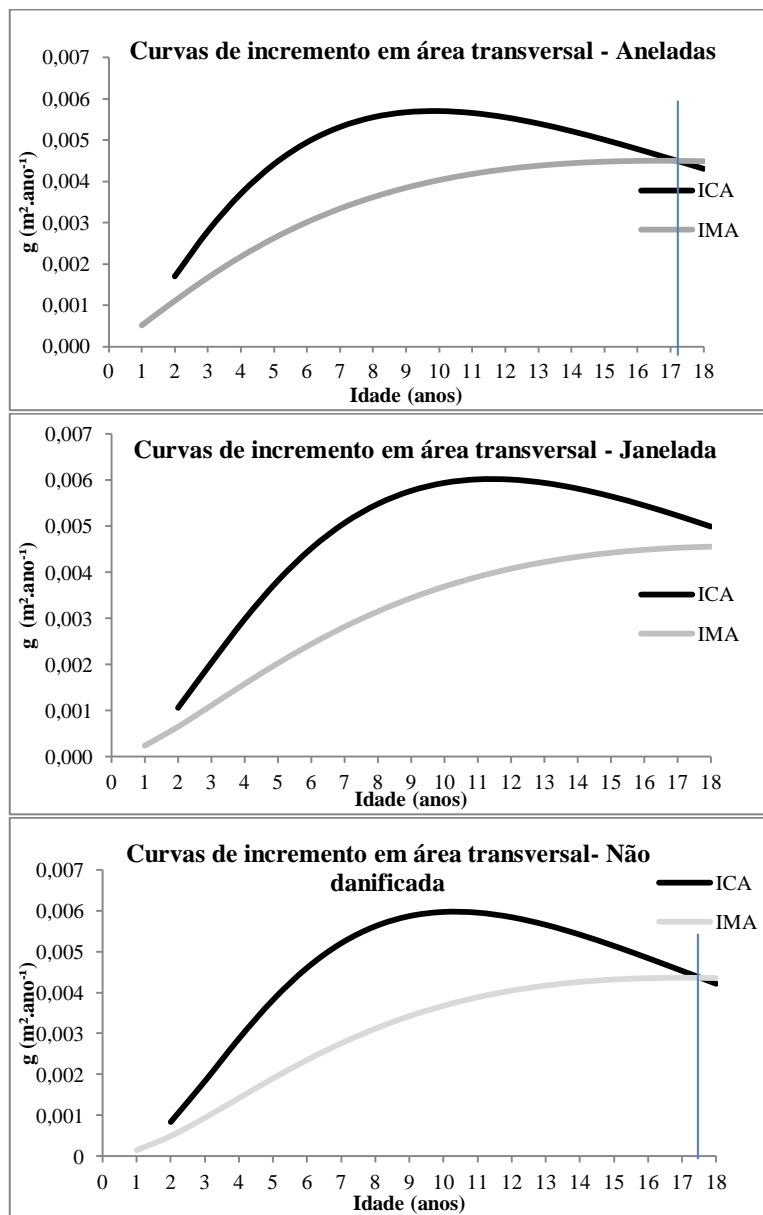


Figura 31. Curvas de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para área transversal (g).

5.4.4 Volume

Na Figura 32 pode-se observar como os danos dos macacos-prego afetou a produção em volume total com casca ao longo dos anos. Nota-se que até os dez anos a produção em volume das árvores aneladas era superior ao das árvores janeladas e não danificadas. A partir dessa idade a produção em volume das árvores janeladas e não danificadas é superior, aumentando essa diferença com o avanço da idade. Aos 18 anos, há uma produção maior de volume nas árvores janeladas ($0,92697 \text{ m}^3$), seguido das não danificadas ($0,88944 \text{ m}^3$) e aneladas ($0,76170 \text{ m}^3$).

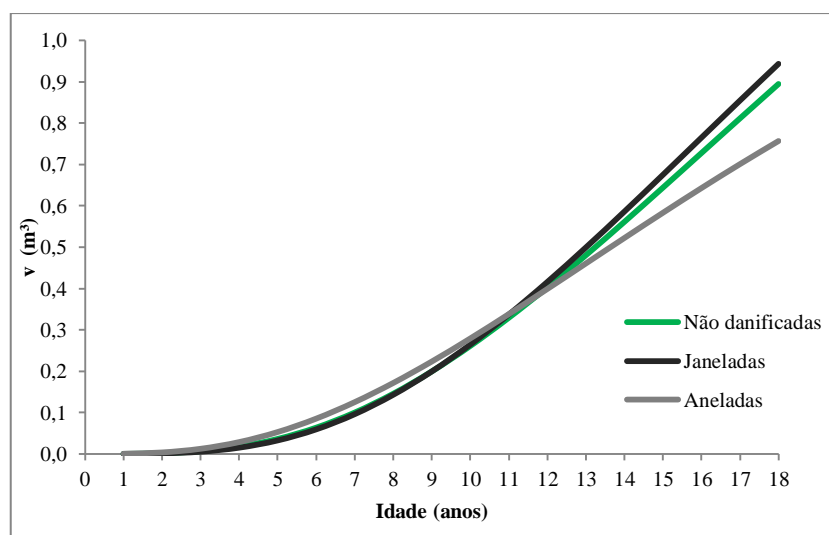


Figura 32. Curvas de produção em volume para árvores danificadas (aneladas e janeladas) e árvores não danificadas por macacos-prego.

O volume superior das árvores que sofreram danos do tipo janelamento em relação às árvores sem danos pode ser reflexo do processo de cicatrização que acontece nas árvores após a abertura de fissuras, como é o caso das janelas realizadas pelos macacos-prego. As árvores possuem mecanismos de defesa e segundo Ferreira e Milani (2002), uma planta lenhosa afetada, superficialmente, por uma injúria (biótica ou abiótica) ou por uma lesão causada por um patógeno na casca, sem atingir o câmbio, é capaz de iniciar um processo de defesa ou barreira fisiológica e morfológica impermeabilizante na casca.

Assim, quando uma árvore é ferida, como no caso da abertura de fissuras pelos macacos-prego, doenças e fungos apodrecedores podem infectar o local e causar danos, para se proteger contra a expansão, sendo capazes de selar ou compartimentalizar a área ferida. Dessa forma, as árvores não conseguem substituir os tecidos lesionados, mas sim, os

compartimentalizam “gerando” um novo tecido que exerce a função do tecido danificado. Essa forma de defesa em nível de casca é facilmente perceptível, sendo tecnicamente denominado mecanismo de defesa de compartimentalização do lenho (SHIGO, 1972 apud FERREIRA e MILANI, 2002) e pela formação de periderme necrofilática (MULLICK, 1977 apud FERREIRA e MILANI, 2002). Desta forma, essa compartimentalização ocorre devido a ação conjunta de várias barreiras, que têm a função de atrasar o ritmo de inativação e apodrecimento do lenho anterior (LA), para dar tempo do novo xilema (Lenho posterior - LP) ser produzido (FERREIRA e MILANI, 2002).

A primeira barreira (B1) a ser formada pode ser encontrada no xilema com a formação de obstrução nos vasos (tiloses) acima e abaixo do local da agressão para restringir a invasão microbiana no sentido vertical. A segunda barreira (B2) é visualizada no xilema mais fino e resistente, constituída pelo lenho outonal (Figura 33). A terceira barreira é constituída pela compartimentalização causada pelas células do raio (B3). Quando o lenho é submetido a uma agressão (biótica ou abiótica), o câmbio justaposto à área afetada, produz uma nova porção de xilema anatômica e quimicamente distinta do xilema anterior, constituindo a barreira 4 (B4), que é a mais resistente à colonização microbiana (FERREIRA e MILANI, 2002).

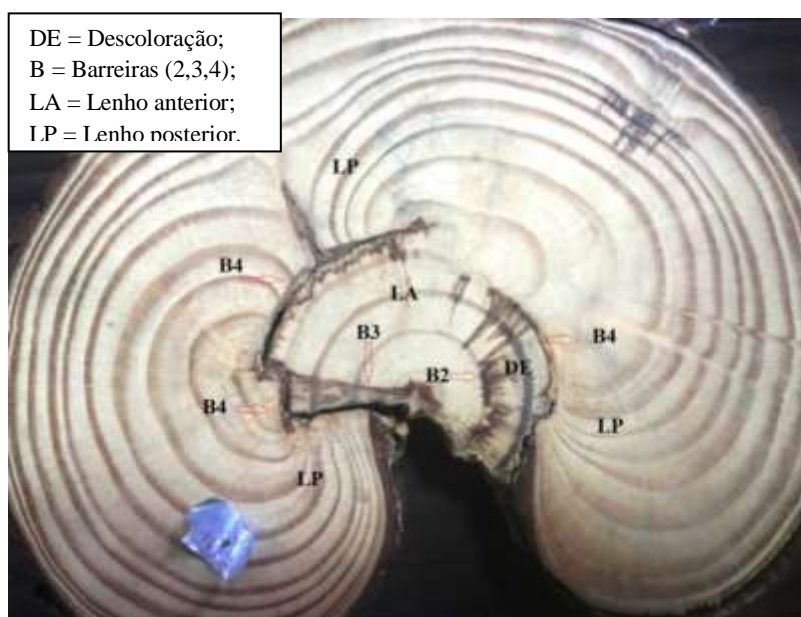


Figura 33. Sistema de compartimentalização do lenho em árvores após danos de macacos-prego em *Pinus taeda*. Fonte: RETSLAFF (2018).

Esse processo de compartimentalização e formação de um novo lenho fez com que as árvores, na área lesionada, tenham um aumento em seu diâmetro. Considerando o fato de que, em uma única árvore foi possível encontrar mais de uma janela (até 5 janelas), com

comprimento médio de 2,4 m, os mecanismos de defesa das árvores alteraram os diâmetros ao longo do fuste e, por consequência, alteram o volume dessas árvores danificadas, porém não se trata de um volume inteiramente útil.

Esse aumento de diâmetro também pode ser observado nos gráficos de perfil do fuste ao longo dos anos para as árvores que foram janeladas conforme Figura 34. Nesta figura são apresentados três perfis, sendo os dois primeiros referentes às árvores com danos do tipo janelamento, e o terceiro trata-se do perfil de uma árvore normal sem danos, para critério de comparação.

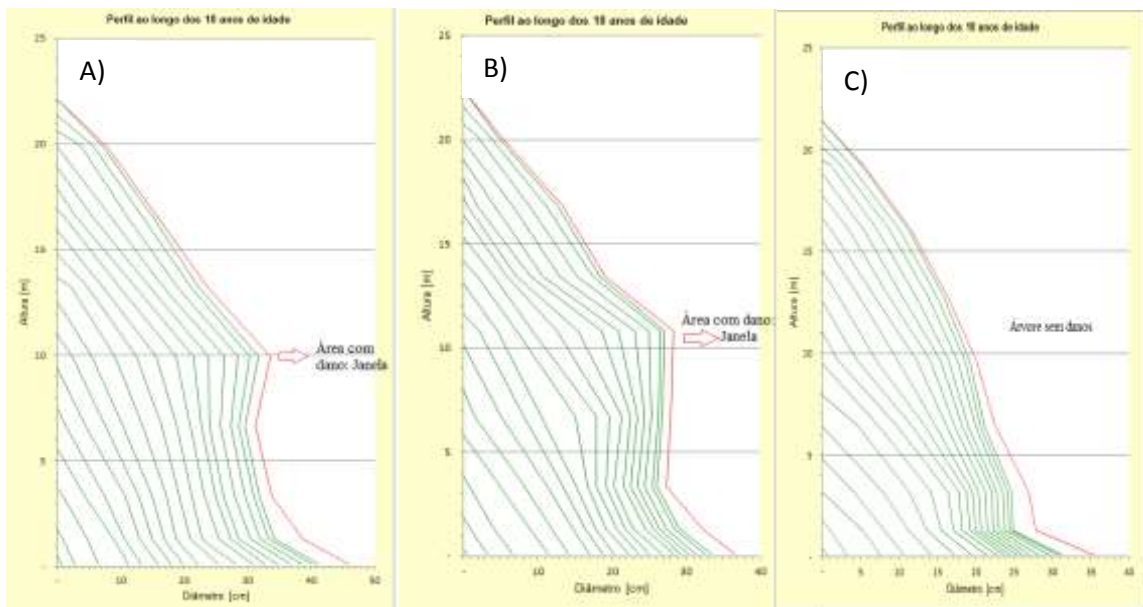


Figura 34. Perfil de árvores que sofreram danos do tipo janelamento (A e B) comparado ao perfil de uma árvore sem danos (C).

Também se deve levar em consideração que com os ataques as seções danificadas se tornam mais irregulares e excêntricas (não se assemelhando a nenhuma figura geométrica conhecida). Assim, quanto mais a área transversal da seção danificada se afastar da forma do círculo, maiores serão os erros na obtenção dessa área transversal, acarretando em uma superestimativa do volume.

Para algumas árvores a seção danificada não cicatrizou completamente levando a seção do dano à formação de um espaço vazio em parte da seção (Figura 33). No entanto, a área transversal da seção é calculada inserindo esse espaço vazio, calculando um volume sólido maior que o real, variando em função da extensão do dano.

As curvas de incremento para volume para os três grupos estudados (aneladas, janeladas e não danificadas) não atingiram o ponto máximo ou o ponto de culminação das curvas de ICA e IMA (Figura 35).

O incremento médio anual (IMA) estimado em volume para as árvores que sofreram danos do tipo janelamento foi de $0,051 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, $0,041 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ para árvores aneladas e $0,049 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ para árvores não danificadas, aos 18 anos. Para os três grupos de árvores estudados as curvas ainda não se cruzaram, ou seja, não atingiram o máximo incremento médio anual, indicando que o volume ainda está aumentando (Figura 35).

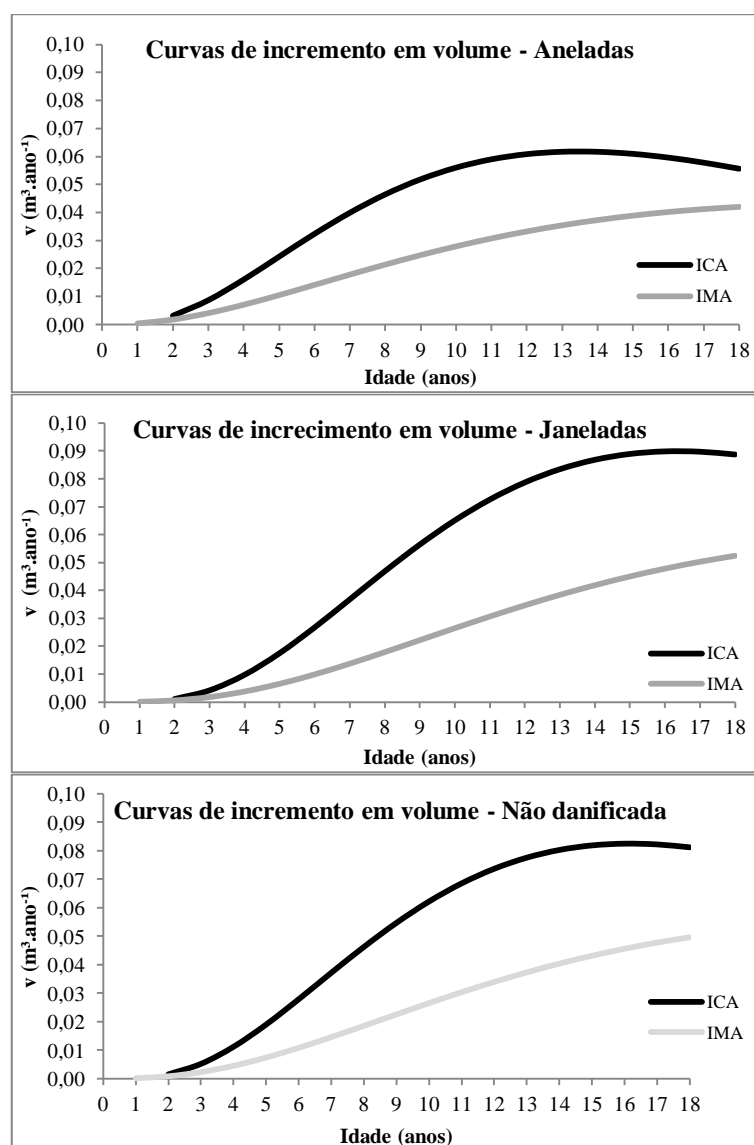


Figura 35. Curvas de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para volume (v).

5.4.5 Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos

O teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-lineares proposto por Regazzi (2003) foi aplicado para testar a influência dos danos de macacos-prego na produção das variáveis estudadas para *Pinus taeda*, testando as seguintes hipóteses:

(a) H_{01} , H_{02} e H_{03} : um determinado coeficiente é igual para os três grupos de dados (árvores não danificadas, janeladas e aneladas); H_1 : um determinado coeficiente é diferente para os três conjuntos de dados e;

(b) H_{04} : as funções de crescimento são idênticas para árvores aneladas, janeladas e não danificadas, isto é, uma função comum pode ser usada como estimativa para os três conjuntos de dados (nesta hipótese testa-se se os coeficientes das três equações de crescimento são iguais para os três grupos – aneladas, janeladas e não danificadas); H_1 : pelo menos uma igualdade é uma desigualdade, ou seja, pelo menos um coeficiente é diferente.

Os coeficientes do modelo de Chapman-Richards foram testados separadamente para o ajuste de cada variável (DAP, g, h e v), porém, apenas para a variável altura (h) os coeficientes “A”, “b” e “c”, foram diferenciados pelo teste de igualdade de parâmetros (Tabelas 18 a 21).

O teste identificou que para as variáveis DAP, h e v, as funções de crescimento devem ser ajustadas separadamente, rejeitando-se a hipótese H_{04} , concluindo-se que as curvas de produção para essas variáveis não são iguais e que os danos dos macacos-prego influenciam no crescimento das árvores de *Pinus taeda* (Tabelas 18 a 21).

Tabela 18. Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear proposto por Regazzi (2003), aplicado para o modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro com casca (DAP).

	Diâmetro (DAP)				
	HI	H_{01} A	H_{02} b	H_{03} c	H_{04} A,b,c
A1	35,247	36,297	36,226	36,735	36,317
A2	40,060	36,297	36,706	37,413	0,1392
A3	36,015	36,297	36,074	34,950	1,7661
b1	0,1514	0,140	0,1398	0,1334	36,317
b2	0,1107	0,142	0,1398	0,1339	0,1392
b3	0,1406	0,137	0,1398	0,1559	1,7661
c1	1,9858	1,864	1,8553	1,7738	36,317
c2	1,5390	1,817	1,8172	1,7738	0,1392
c3	1,6174	1,591	1,6108	1,7738	1,7661
SQ res	20239,4	20270,1	20265,1	20277,4	20691,0
N	1251	1251	1251	1251	1251
χ^2_{cal}		2,214^{ns}	1,921^{ns}	2,269^{ns}	27,606*
GI	9	7	7	7	3
χ^2_{tab}		5,991	5,991	5,991	12,591

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; *significativo ao nível de 5% de probabilidade; SQ res: soma de quadrados de resíduos; n: número de observações; χ^2 calc: Qui-quadrado calculado; GL: graus de liberdade; χ^2 tab: Qui-quadrado tabelado. OBS: células marcadas são referentes aos coeficientes que foram estimados como sendo iguais para os três grupos de dados.

Tabela 19. Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear proposto por Regazzi (2003), aplicado para o modelo de Chapman-Richards ajustado para a área transversal com casca (g).

	Área transversal (g)				
	HI	H ₀₁ A	H ₀₂ b	H ₀₃ c	H ₀₄ A,b,c
A1	0,1206	0,1289	0,1298	0,1333	0,1297
A2	0,1502	0,1289	0,1359	0,1451	0,0984
A3	0,1302	0,1289	0,1209	0,1125	2,6474
b1	0,1115	0,1013	0,1000	0,0958	0,1297
b2	0,0872	0,107	0,1000	0,0915	0,0984
b3	0,0893	0,0906	0,1000	0,1134	2,6474
c1	2,9887	2,7945	2,7618	2,6709	0,1297
c2	2,5900	2,9519	2,9274	2,6709	0,0984
c3	2,2633	2,2817	2,4253	2,6709	2,6474
SQ res	0,3195	0,3197	0,31965	0,3197	0,3213
N	1229	1229	1229	1229	1229
χ^2cal		0,5421^{ns}	0,7958^{ns}	0,3537^{ns}	6,7732^{ns}
GL	9	7	7	7	3
χ^2tab		5,991	5,991	5,991	12,591

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; *significativo ao nível de 5% de probabilidade; SQ res: soma de quadrados de resíduos; n: número de observações; χ^2 calc: Qui-quadrado calculado; GL: graus de liberdade; χ^2 tab: Qui-quadrado tabelado. OBS: células marcadas são referentes aos coeficientes que foram estimados como sendo iguais para os três grupos de dados.

Tabela 20. Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear proposto por Regazzi (2003), aplicado para o modelo de Chapman-Richards ajustado para a altura total (h).

	Altura (h)				
	HI	H ₀₁ A	H ₀₂ b	H ₀₃ c	H ₀₄ A,b,c
A1	32,6313	15,0994	28,9059	30,6795	23,0297
A2	24,4269	15,0994	25,4747	24,4092	0,1284
A3	11,5308	15,0994	13,5256	11,8912	1,6703
b1	0,0970	0,4787	0,1260	0,1110	23,0297
b2	0,1413	0,4732	0,1260	0,1416	0,1284
b3	0,4833	4,1735E+13	0,1260	0,3063	1,6703
c1	1,7383	9,0233	2,0743	1,9035	23,0297
c2	1,8999	7,7981	1,7365	1,9035	0,1284
c3	4,6020	6,99E+09	0,7910	1,9035	1,6703
SQ res	3554,213	27362,7	3852,8	3623,77	13043,78
N	1255	1255	1255	1255	1255
χ^2cal		2561,514*	101,236*	24,323*	1631,723*
GL	9	7	7	7	3
χ^2tab		5,991	5,991	5,991	12,591

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; *significativo ao nível de 5% de probabilidade; SQ res: soma de quadrados de resíduos; n: número de observações; χ^2 calc: Qui-quadrado calculado; GL: graus de liberdade; χ^2 tab: Qui-quadrado tabelado. OBS: células marcadas são referentes aos coeficientes que foram estimados como sendo iguais para os três grupos de dados.

Tabela 21. Teste de igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear proposto por Regazzi (2003), aplicado para o modelo de Chapman-Richards ajustado para a o volume total com casca (v).

	Volume (m ³)				
	H1	H ₀₁ A	H ₀₂ b	H ₀₃ c	H ₀₄ A,b,c
A1	2,2184	1,9450	2,0313	2,1799	1,9616
A2	1,7959	1,9450	2,1379	2,3178	0,092
A3	1,4903	1,9450	1,493	1,2905	3,9041
b1	0,0880	0,0998	0,0959	0,0895	1,9616
b2	0,1148	0,1058	0,0959	0,088	0,092
b3	0,0961	0,0725	0,0959	0,1149	3,9041
c1	3,9667	4,3371	4,2156	4,0149	1,9616
c2	4,9958	4,6532	4,2942	4,0149	0,092
c3	3,4729	2,9425	3,4679	4,0149	3,9041
SQ res	34,091	34,116	34,098	34,107	34,990
N	1249	1249	1249	1249	1249
χ²cal		0,9155^{ns}	0,260^{ns}	0,597^{ns}	32,516*
GL	9	7	7	7	3
χ²tab		5,991	5,991	5,991	12,591

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; *significativo ao nível de 5% de probabilidade; SQ res: soma de quadrados de resíduos; n: número de observações; χ² calc: Qui-quadrado calculado; GL: graus de liberdade; χ² tab: Qui-quadrado tabelado. OBS: células marcadas são referentes aos coeficientes que foram estimados como sendo iguais para os três grupos de dados.

5.5 Avaliação da idade de ocorrência dos danos

O povoamento estudado sofreu danos ao longo de sua vida, porém, como descrito por Liebsch *et al.* (2015), quanto mais jovem for o povoamento no momento da ocorrência do danos, maior serão os prejuízos econômicos, pois acabam danificando as árvores entre cinco e sete metros de altura, atingindo partes mais nobres do fuste que possuem alto valor comercial. Nesse contexto, buscou-se identificar a idade em que ocorreram os primeiros danos.

Para isto, foi utilizado os dados da análise de tronco. Durante a avaliação dos anéis, no momento da marcação destes nos discos, foi elaborado, para cada árvore, um relatório indicando em qual anel e a que altura se encontrava o dano. Os gráficos de perfil do fuste gerados e a idade das brotações também auxiliaram a identificação dessas idades. Nas brotações, a idade foi verificada, retirando-se um disco da base da maior ramificação presente em cada árvore.

Constatou-se que os danos às árvores do talhão tiveram início quando o povoamento tinha entre cinco e seis anos de idade (Figura 36 A), comprovado por meio das idades das brotações, as quais tinham entre 12 e 13 anos (Figura 36 B).

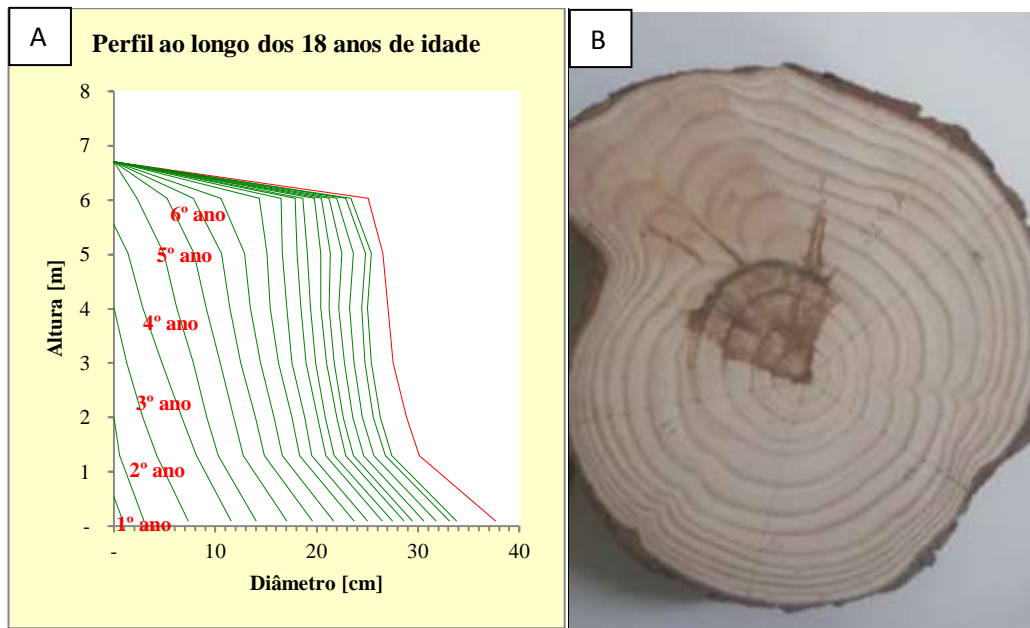


Figura 36. Perfil do tronco (A) indicando a ocorrência do primeiro dano do macaco-prego (5-6 anos) e disco da base da brotação apontando para 12-13 anos (B).

Porém, 52% das árvores amostradas (aneladas e janeladas) apresentaram seus primeiros danos entre sete e oito anos (Figura 37).

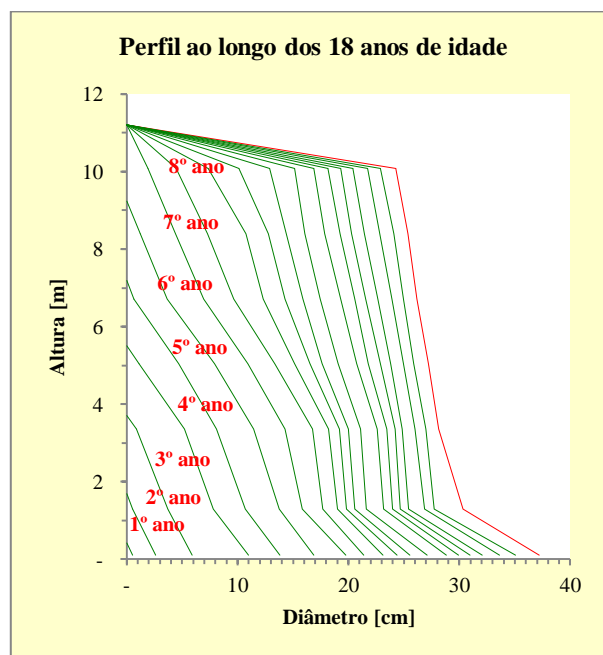


Figura 37. Perfil do tronco, com anelamento entre 7 e 8 anos de idade.

5.6 Evolução do sortimento

5.6.1 Percentuais de volume danificado por classes de sortimento

O sortimento do volume danificado foi determinado utilizando-se o *Software Excel* para as 40 árvores danificadas, nas idades de 8 a 18 anos. Esse procedimento foi necessário para verificar o percentual de volume danificado em cada classe de sortimento.

Cabe ressaltar que os percentuais foram gerados, verificando-se os dados obtidos em campo referentes às medições da extensão dos danos externo e interno na madeira, e conciliando com os dados da análise de tronco completa (ANATRO). No momento da marcação dos anéis nos discos, foi realizado para cada árvore, um relatório indicando em qual anel e a que altura se encontrava o dano, o que permitiu, identificar as idades em que ocorreram os danos, e ainda, com auxílio do gráfico de perfil do fuste de cada árvore, obteve-se para cada árvore, os volumes sem danos e danificados, por classe de uso (sortimentos) nas idades de 8 até 18 anos como descrito na metodologia.

Por meio da integração da função de afilamento, estimou-se os volumes para cada classe de uso. Estão descritos nas Tabelas 22 a 27, os percentuais médios de volume danificado pelos macacos ao longo dos anos para as diferentes classes de sortimento. Os percentuais estão descritos a partir da classe de sortimento de 8 a 18 cm, pois abaixo de 8 cm foi considerado resíduo.

Avaliando-se os percentuais de volume danificado pelos macacos-prego para as árvores do grupo aneladas (que além do anelamento possuíam janelas) e do grupo janeladas (apenas janelas), entre as idades de 8 a 11 anos, constata-se que os maiores danos ocorreram para a classe de sortimento de 8 a 18 cm, que é destinada para celulose. Aos 11 anos para as árvores aneladas e janeladas, respectivamente, 66% e 61% do volume produzido na classe de sortimento destinada à celulose, encontram-se danificado (Tabelas 22 e 23). Também ocorreram algumas perdas na classe de 18 a 25 cm (Serraria 2).

Tabela 22. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 8 a 11 anos para **árvores aneladas** de *Pinus taeda*.

Classes de sortimento (cm)	Idade (anos)	Volume médio comercial (m ³)	Volume médio comercial sem danos (m ³)	Volume médio comercial danificado (m ³)	Percentual médio danificado (%)	Percentual médio sem danos (%)
8,00– 17,99	8	0,12936	0,08339	0,04597	35,54	64,46
8,00– 17,99	9	0,11277	0,05686	0,05591	49,58	50,42
8,00– 17,99	10	0,11109	0,04365	0,06745	60,71	39,29
8,00– 17,99	11	0,10798	0,03646	0,07153	66,24	33,76
18,00 – 24,99	8	0,07214	0,07214	0,00000	0,00	100,00
18,00 – 24,99	9	0,13702	0,12722	0,00981	7,16	92,84
18,00 – 24,99	10	0,14664	0,12924	0,01740	11,87	88,13
18,00 – 24,99	11	0,15163	0,12465	0,02698	17,79	82,21
25,00 – 34,99	8	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00
25,00 – 34,99	9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00
25,00 – 34,99	10	0,02693	0,02693	0,00000	0,00	100,00
25,00 – 34,99	11	0,06175	0,06175	0,00000	0,00	100,00
≥ 35,00	8	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00
≥ 35,00	9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00
≥ 35,00	10	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00
≥ 35,00	11	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00

Tabela 23. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 8 a 11 anos para **árvores janeladas** de *Pinus taeda*.

Classes de sortimento (cm)	Idade (anos)	Volume médio comercial (m ³)	Volume médio comercial sem danos (m ³)	Volume médio comercial danificado (m ³)	Percentual médio danificado (%)	Percentual médio sem danos (%)
8,00– 17,99	8	0,1136	0,0907	0,0228	20,10	79,90
8,00– 17,99	9	0,1228	0,0777	0,0451	36,75	63,25
8,00– 17,99	10	0,1185	0,0548	0,0637	53,72	46,28
8,00– 17,99	11	0,1373	0,0533	0,0840	61,20	38,80
18,00 – 24,99	8	0,0203	0,0203	0,0000	0,00	100,00
18,00 – 24,99	9	0,0611	0,0611	0,0000	0,00	100,00
18,00 – 24,99	10	0,1209	0,1066	0,0143	11,85	88,15
18,00 – 24,99	11	0,1461	0,1238	0,0223	15,24	84,76
25,00 – 34,99	8	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
25,00 – 34,99	9	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
25,00 – 34,99	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
25,00 – 34,99	11	0,0110	0,0110	0,0000	0,00	100,00
≥ 35,00	8	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
≥ 35,00	9	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
≥ 35,00	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
≥ 35,00	11	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00

Nas idades 12 a 15 anos, para as árvores aneladas (Tabela 24), houve uma redução do percentual danificado na primeira classe de sortimento, devido à evolução do sortimento abaixo do ponto do anelamento. Essa evolução do sortimento causou aumento de perdas nas classes de sortimentos superiores, chegando aos 15 anos com 52% do volume total obtido na classe de sortimento de 18 a 25 cm (serraria 2) danificado.

Tabela 24. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 12 a 15 anos para **árvores aneladas** de *Pinus taeda*.

Classes de sortimento (cm)	Idade (anos)	Volume médio comercial (m ³)	Volume médio comercial sem danos (m ³)	Volume médio comercial danificado (m ³)	Percentual médio danificado (%)	Percentual médio sem danos (%)
8,00– 17,99	12	0,0832	0,0278	0,0554	66,55	33,45
8,00– 17,99	13	0,0705	0,0258	0,0447	63,35	36,65
8,00– 17,99	14	0,0660	0,0269	0,0391	59,23	40,77
8,00– 17,99	15	0,0579	0,0244	0,0335	57,90	42,10
18,00 – 24,99	12	0,2198	0,1428	0,0770	35,02	64,98
18,00 – 24,99	13	0,2082	0,1204	0,0878	42,16	57,84
18,00 – 24,99	14	0,1980	0,1016	0,0964	48,69	51,31
18,00 – 24,99	15	0,1867	0,0889	0,0978	52,39	47,61
25,00 – 34,99	12	0,0961	0,0961	0,0000	0,00	100,00
25,00 – 34,99	13	0,1576	0,1447	0,0130	8,24	91,76
25,00 – 34,99	14	0,2040	0,1897	0,0143	7,02	92,98
25,00 – 34,99	15	0,2434	0,2080	0,0354	14,56	85,44
≥ 35,00	12	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,000
≥ 35,00	13	0,0132	0,0132	0,0000	0,00	100,00
≥ 35,00	14	0,0151	0,0151	0,0000	0,00	100,00
≥ 35,00	15	0,0740	0,0740	0,0000	0,00	100,00

Para as árvores janeladas pode-se observar um aumento no percentual de volume danificado nas classes de 8 a 18 cm, apresentando também percentuais de perdas bastante expressivos nas classes 18 a 25 cm, resultando aos 15 anos, 47% do volume total produzido nessa classe de sortimento danificado. Observou-se também, perdas nas classes de 25 a 35 cm (serraria 1) em que cerca de 30% do volume produzido para essa classe de sortimento, aos 15 anos, encontra-se danificado (Tabela 25).

Tabela 25. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 12 a 15 anos para **árvores janeladas** de *Pinus taeda*.

Classes de sortimento (cm)	Idade (anos)	Volume médio comercial (m ³)	Volume médio comercial sem danos (m ³)	Volume médio comercial danificado (m ³)	Percentual médio danificado (%)	Percentual médio sem danos (%)
8,00 – 17,99	12	0,1190	0,0400	0,0790	66,39	33,61
8,00 – 17,99	13	0,1074	0,0224	0,0850	79,15	20,85
8,00 – 17,99	14	0,0849	0,0041	0,0808	95,16	4,84
8,00 – 17,99	15	0,1087	0,0042	0,1044	96,12	3,88
18,00 – 24,99	12	0,2279	0,1655	0,0624	27,38	72,62
18,00 – 24,99	13	0,2541	0,1750	0,0791	31,13	68,87
18,00 – 24,99	14	0,2668	0,1616	0,1051	39,41	60,59
18,00 – 24,99	15	0,2573	0,1372	0,1201	46,68	53,32
25,00 – 34,99	12	0,0458	0,0360	0,0098	21,35	78,65
25,00 – 34,99	13	0,1139	0,0848	0,0291	25,54	74,46
25,00 – 34,99	14	0,1804	0,1257	0,0547	30,33	69,67
25,00 – 34,99	15	0,2308	0,1611	0,0697	30,18	69,82
≥ 35,00	12	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
≥ 35,00	13	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
≥ 35,00	14	0,0207	0,0207	0,0000	0,00	100,00
≥ 35,00	15	0,0411	0,0411	0,0000	0,00	0,00

Pode-se observar na Tabela 26 que a partir dos 17 anos é possível identificar danos na classe de sortimento maior que 35 cm. Devido à evolução do sortimento, as árvores aneladas chegaram aos 18 anos com uma redução nas perdas na primeira classe de sortimento (8-18 cm), concentrando-se as perdas nas classes de 18 a 25 cm, destinada a serraria 2, apresentando aos 18 anos 63% do volume gerado para esse sortimento danificado (Tabela 26).

Tabela 26. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 16 a 18 anos para **árvores aneladas** de *Pinus taeda*.

Classes de sortimento (cm)	Idade (anos)	Volume médio comercial (m ³)	Volume médio comercial sem danos (m ³)	Volume médio comercial danificado (m ³)	Percentual médio danificado (%)	Percentual médio sem danos (%)
8,00 - 17,99	16	0,0197	0,0138	0,0059	30,16	69,84
8,00 - 17,99	17	0,0060	0,0029	0,0030	50,83	49,17
8,00 - 17,99	18	0,0067	0,0033	0,0034	50,57	49,43
18,00 - 24,99	16	0,1991	0,0987	0,1004	50,44	49,56
18,00 - 24,99	17	0,1788	0,0722	0,1066	59,62	40,38
18,00 - 24,99	18	0,1559	0,0569	0,0990	63,48	36,52
25,00 - 34,99	16	0,3102	0,1926	0,1176	37,91	62,09
25,00 - 34,99	17	0,3496	0,2264	0,1232	35,23	64,77
25,00 - 34,99	18	0,3957	0,2560	0,1397	35,31	64,69
≥ 35,00	16	0,0619	0,0619	0,0000	0,00	100,00
≥ 35,00	17	0,1227	0,0975	0,0252	20,58	79,42
≥ 35,00	18	0,1548	0,1263	0,0285	18,39	81,61

Para as árvores janeladas, a classe de 8 a 18 cm (celulose) continua a ser a mais afetada pelos danos dos macacos-prego, com 98% do volume para celulose danificado, seguida da classe de 18 a 25 cm (serraria 2), com 75% do volume total produzido aos 18 anos danificado (Tabela 27).

Com a evolução dos diâmetros e, conseqüente, evolução dos sortimentos, os danos às classes de sortimentos mais nobres aumentaram. Aos 18 anos, nas árvores aneladas, 18% do volume total produzido para a classe de sortimento maior ou igual a 35 cm (laminação), encontram-se danificado. Já para as árvores janeladas o percentual de volume danificado para essa mesma classe de sortimento chegou a 31% (Tabelas 26 e 27).

Tabela 27. Percentuais de volume comercial médio individual por classe de sortimento para as idades de 16 a 18 anos para **árvores janeladas** de *Pinus taeda*.

Classes de sortimento (cm)	Idade (anos)	Volume médio comercial (m ³)	Volume médio comercial sem danos (m ³)	Volume médio comercial danificado (m ³)	Percentual médio danificado (%)	Percentual médio sem danos (%)
8,00 - 17,99	16	0,0895	0,0046	0,0849	94,87	5,13
8,00 - 17,99	17	0,0919	0,0047	0,0872	94,90	5,10
8,00 - 17,99	18	0,1013	0,0016	0,0997	98,37	1,63
18,00 - 24,99	16	0,2526	0,0999	0,1527	60,45	39,55
18,00 - 24,99	17	0,2464	0,0814	0,1650	66,95	33,05
18,00 - 24,99	18	0,2070	0,0505	0,1564	75,58	24,42
25,00 - 34,99	16	0,3972	0,2449	0,1523	38,35	61,65
25,00 - 34,99	17	0,3951	0,2311	0,1639	41,49	58,51
25,00 - 34,99	18	0,5246	0,3090	0,2155	41,09	58,91
≥ 35,00	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
≥ 35,00	17	0,1088	0,0699	0,0389	35,75	64,25
≥ 35,00	18	0,1456	0,1006	0,0450	30,92	69,08

Os percentuais médios gerados de volumes danificados por classe de sortimento foram utilizados para quantificar as perdas de produção média, por classes de idade, e também para avaliar as perdas de produção por unidade de área (ha), apresentados no item 5.6.5.

5.6.2 Sortimento das brotações

O sortimento das brotações foi estimado por uma função de afilamento de 5º grau ajustada, tendo como referência o diâmetro da base de cada ramificação mensurada em campo. A equação foi desenvolvida apenas como uma ferramenta auxiliar para essa pesquisa. As estatísticas de ajuste e precisão para o modelo de afilamento para brotações foram respectivamente, $R^2= 0,8939$ e $S_{yx\%}= 19,7\%$.

$$d_i = d_B \cdot \left(1,02701 - 0,9022 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right) - 1,1345 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right)^2 + 4,815573 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right)^3 - 6,3173 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right)^4 + 2,6699 \cdot \left(\frac{c_i}{c_b} \right)^5 \right)$$

Em que: d_i = diâmetro com casca (cm) no comprimento h_i (m); d_B : Diâmetro da base da ramificação com casca (cm); c_b = comprimento da brotação (m), c_i = comprimento da seção (m).

O sortimento das brotações foi obtido com o uso da equação de afilamento utilizando o *Software Excel*, analisando a extensão dos danos, quando presentes, e obtendo os percentuais de volume danificado por classes de uso. Essa avaliação só foi possível para a idade final, aos 18 anos, considerando que não foi possível avaliar o crescimento ano a ano dessas brotações. A maior porcentagem do volume de madeira produzida por essas brotações foi classificada como madeira destinada às classes inferiores de sortimento. Ainda, grande parte das brotações apresentaram danos do tipo janelamento (Tabela 28).

Tabela 28. Percentuais médios de volume comercial por classe de sortimento para brotações das árvores aneladas aos 18 anos.

Classe de sortimento (cm)	Volume comercial Médio (m³)	Volume comercial Médio Danificado (m³)	Volume comercial Médio sem Danos (m³)	Percentual Médio Danificado (%)	Percentual Médio sem Danos (%)
≤ 7,99	0,025	0,004	0,022	14,96	85,04
8,00 - 17,99	0,074	0,063	0,011	84,74	15,26
18,00 - 24,99	0,045	0,041	0,004	90,94	9,06
25,00 - 34,99	0,008	0,008	0,000	100,00	0,00
≥ 35,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00

Pode-se observar na Figura 38 que 49% do volume produzido para as brotações, concentraram-se na classe de sortimento de 8 a 18 cm, destinada à celulose, porém 85% do volume total destinado a essa classe de sortimento encontra-se danificado.

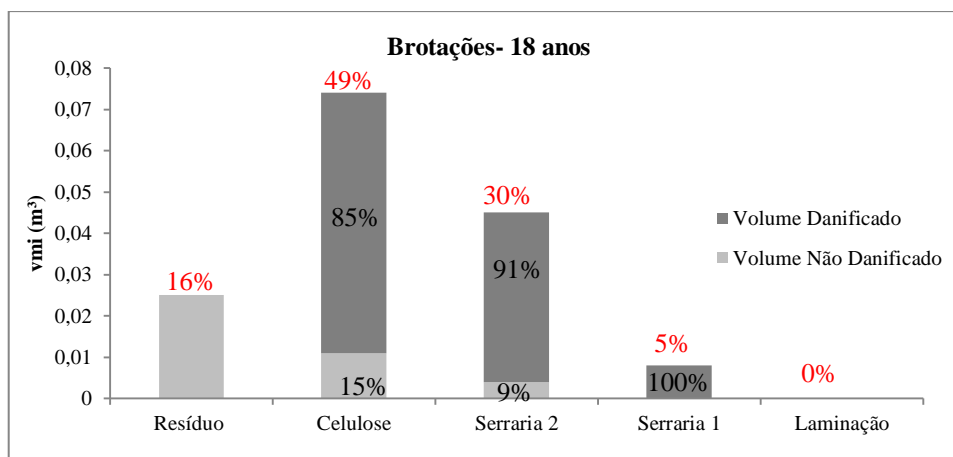


Figura 38. Percentuais do sortimento do volume médio individual para as brotações (percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial da brotação).

Liebsch *et al.* (2018) avaliaram a produção de brotações de árvores aneladas de *Pinus taeda* (média por árvore avaliada) aos 19 anos de idade e computaram os sortimentos das brotações em três classes de sortimento de 8 a 18 cm, 18 a 25 cm e 25 a 38 cm. Nas classes de 8 a 18 cm, que no presente trabalho seria destinada à celulose, esses autores encontraram uma média $0,0834 \text{ m}^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$, próximo do valor obtido na presente pesquisa que foi de $0,074 \text{ m}^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$. Para a classe de sortimento de 18 a 25 cm Liebsch *et al.* (2018) encontraram volume de $0,0263 \text{ m}^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$, enquanto que para a presente pesquisa, esse volume foi 71% superior ($0,045 \text{ m}^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$). Para a última classe avaliada pelos autores, de 25 a 38 cm, obteve-se $0,0109 \text{ m}^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$. Para a presente pesquisa as brotações foram avaliadas nas classes de sortimento de 25-35 cm, obtendo $0,0082 \text{ m}^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$.

5.6.3 Evolução do sortimento médio individual

Nas Tabelas 29-31 estão os valores relativos e absolutos, de quanto do volume total de uma árvore (volume médio individual - vmi) é destinado para cada classe de sortimento, nas idades de 8 a 18 anos para árvores aneladas, janeladas e não danificadas. Vale ressaltar que, essas classes de idade foram escolhidas de acordo com as idades em que, em média, são

realizados o primeiro e segundo desbastes e o corte final, como foi mencionado na metodologia.

Nas idades entre 8 a 11 anos, a maior parte do volume da árvore é destinada à celulose e serraria 2, para os três grupos de árvores. Para as árvores aneladas o volume para celulose aos 8 anos correspondeu a 61% do volume produzido pela árvore, mas a partir dos 9 aos 12 anos, o maior percentual de volume foi destinado à serraria 2, variando de 52 a 45% do volume total produzido pela árvore nessas idades (Tabelas 29 e 30).

Para as árvores janeladas e não danificadas o principal produto entre 8 e 9 anos foi a celulose, sendo os percentuais semelhantes para os dois grupos, aproximadamente 76% aos 8 anos e 62% aos 9 anos. Entre 10 e 11 anos, o principal produto para as árvores janeladas e não danificadas foi a serraria 2, representando cerca de 47% do volume total para as árvores janeladas e 47% e 50% para árvores não danificadas, respectivamente (Tabela 29).

A partir dos 13 anos começaram a ser produzidos, os primeiros sortimentos destinados à laminação para árvores aneladas, porém pouco expressivo, em torno de 3% do volume total. Até os 15 anos os principais produtos foram serraria 1 e 2. Nas idades entre 16 a 18 anos, ocorreu um grande aumento no volume para laminação, atingindo, aos 18 anos, 20% do volume total da árvore, porém ainda apresentando o sortimento para serraria 1 como o principal produto nessa idade, com 52% do volume médio individual para árvores aneladas (fuste principal) (Tabela 31).

Para as árvores que sofreram danos do tipo janelamento, os primeiros sortimentos destinados à laminação são produzidos aos 14 anos, com 4% do volume total, concentrando seu maior volume de madeira na classe de sortimento serraria 2 até os 15 anos (40%), e serraria 1 (35%) (Tabela 30). Porém, aos 18 anos, 53% do volume produzido se destinava a serraria 1 e 15% do volume das árvores janeladas à laminação (Tabela 31).

O povoamento não danificado aos 13 anos já apresentava toras com diâmetros acima de 35 cm na ponta fina destinada à laminação (Tabela 30), porém com pouca representatividade em termos de volume total (2%), predominando até os 16 anos os sortimentos para serraria 2 (18 - 25 cm), com 39% do volume total nessa idade. O povoamento não danificado apresentava, aos 18 anos, 10% do volume total da árvore destinado à laminação, e como principal produto, os sortimentos destinados à serraria 1 (25 - 35 cm), gerando 48% do volume total produzido pela árvore (Tabela 31).

Tabela 29. Evolução do sortimento (8 a 11 anos) para árvores aneladas, janeladas e não danificadas de *Pinus taeda*.

Classe de sortimento (cm)	Idade (anos)	Anelada		Janelada		Não danificada	
		Volume Médio Individual (m ³)	Percentual médio de volume (%)	Volume Médio Individual (m ³)	Percentual médio de volume (%)	Volume Médio Individual (m ³)	Percentual médio de volume (%)
≤ 7,99	8	0,0108	5,09	0,0155	10,39	0,0080	6,27
8,00 - 17,99	8	0,1294	60,93	0,1136	76,04	0,0972	76,51
18,00 - 24,99	8	0,0721	33,98	0,0203	13,56	0,0219	17,23
25,00 - 34,99	8	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00
≥ 35,00	8	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00
Total - 8 anos		0,2123	100,00	0,1493	100,00	0,1270	100,00
≤ 7,99	9	0,02262	8,30	0,0147	7,41	0,0084	4,70
8,00 - 17,99	9	0,11277	41,40	0,1228	61,84	0,1120	62,66
18,00 - 24,99	9	0,13702	50,30	0,0611	30,75	0,0546	30,53
25,00 - 34,99	9	0,00000	0,00	0,0000	0,00	0,0038	2,10
≥ 35,00	9	0,00000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00
Total - 9 anos		0,2724	100,00	0,1985	100,00	0,1788	100,00
≤ 7,99	10	0,0125	4,19	0,0165	6,45	0,0099	4,09
8,00 - 17,99	10	0,1111	37,39	0,1185	46,31	0,1088	45,18
18,00 - 24,99	10	0,1466	49,36	0,1209	47,24	0,1139	47,30
25,00 - 34,99	10	0,0269	9,06	0,0000	0,00	0,0083	3,43
≥ 35,00	10	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00
Total - 10 anos		0,2971	100,00	0,2559	100,00	0,2408	100,00
≤ 7,99	11	0,0139	4,15	0,0167	5,36	0,0063	2,02
8,00 - 17,99	11	0,1080	32,20	0,1373	44,15	0,1153	37,09
18,00 - 24,99	11	0,1516	45,22	0,1461	46,97	0,1553	49,98
25,00 - 34,99	11	0,0618	18,42	0,0110	3,52	0,0339	10,91
≥ 35,00	11	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00
Total - 11 anos		0,3353	100,00	0,3111	100,00	0,3108	100,00

Tabela 30. Evolução do sortimento (12 a 15 anos) para árvores aneladas, janeladas e não danificadas de *Pinus taeda*.

		Anelada (Fuste Principal)		Janelada		Não danificada	
Classe de sortimento (cm)	Idade (anos)	Volume Médio Individual (m³)	Percentual médio de volume (%)	Volume Médio Individual (m³)	Percentual médio de volume (%)	Volume Médio Individual (m³)	Percentual médio de volume (%)
≤ 7,99	12	0,0192	4,60	0,0156	3,83	0,0166	4,15
8,00 - 17,99	12	0,0832	19,89	0,1190	29,15	0,1216	30,35
18,00 - 24,99	12	0,2198	52,54	0,2279	55,81	0,1944	48,52
25,00 - 34,99	12	0,0961	22,97	0,0458	11,21	0,0680	16,97
≥ 35,00	12	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00
Total - 12 anos		0,4185	100,00	0,4083	100,00	0,4006	100,00
≤ 7,99	13	0,0390	7,99	0,0180	3,66	0,0170	3,59
8,0 - 17,99	13	0,0705	14,43	0,1074	21,77	0,1098	23,11
18,00 - 24,99	13	0,2082	42,62	0,2541	51,49	0,2283	48,05
25,00 - 34,99	13	0,1576	32,27	0,1139	23,09	0,1115	23,46
≥ 35,00	13	0,0132	2,70	0,0000	0,00	0,0085	1,80
Total - 13 anos		0,4885	100,00	0,4934	100,00	0,4752	100,00
≤ 7,99	14	0,0235	4,64	0,0174	3,05	0,0161	2,93
8,00 - 17,99	14	0,0660	13,03	0,0849	14,89	0,1086	19,75
18,00 - 24,99	14	0,1980	39,09	0,2668	46,79	0,2470	44,92
25,00 - 34,99	14	0,2040	40,27	0,1804	31,64	0,1612	29,33
≥ 35,00	14	0,0151	2,97	0,0207	3,63	0,0169	3,07
Total - 14 anos		0,5065	100,00	0,5702	100,00	0,5498	100,00
≤ 7,99	15	0,0251	4,28	0,0146	2,24	0,0183	2,94
8,00 - 17,99	15	0,0579	9,86	0,1087	16,66	0,1212	19,48
18,00 - 24,99	15	0,1867	31,80	0,2573	39,44	0,2430	39,05
25,00 - 34,99	15	0,2434	41,46	0,2308	35,37	0,2215	35,59
≥ 35,00	15	0,0740	12,60	0,0411	6,30	0,0183	2,94
Total - 15 anos	15	0,5872	100,00	0,6524	100,00	0,6223	100,00

Tabela 31. Evolução do sortimento (16 a 18 anos) para árvores aneladas, janeladas e não danificadas de *Pinus taeda*.

		Anelada (Fuste Principal)		Janelada		Não danificada	
Classe de sortimento (cm)	Idade (anos)	Volume Médio Individual (m ³)	Percentual médio de volume (%)	Volume Médio Individual (m ³)	Percentual médio de volume (%)	Volume Médio Individual (m ³)	Percentual médio de volume (%)
≤ 7,99	16	0,0376	5,99	0,0180	2,38	0,0154	2,19
8,00 - 17,99	16	0,0197	3,14	0,0895	11,82	0,1096	15,55
18,00 - 24,99	16	0,1991	31,68	0,2526	33,36	0,2760	39,15
25,00 - 34,99	16	0,3102	49,35	0,3972	52,45	0,2688	38,13
≥ 35,00	16	0,0619	9,85	0,0000	0,00	0,0351	4,98
Total - 16 anos		0,6286	100,00	0,7574	100,00	0,7049	100,00
≤ 7,99	17	0,04165	5,96	0,0123	1,44	0,0164	2,07
8,00 - 17,99	17	0,0060	0,85	0,0919	10,75	0,1128	14,30
18,00 - 24,99	17	0,1788	25,59	0,2464	28,84	0,2621	33,23
25,00 - 34,99	17	0,3496	50,04	0,3951	46,24	0,3598	45,61
≥ 35,00	17	0,1227	17,56	0,1088	12,73	0,0378	4,79
Total - 17 anos		0,6987	100,00	0,8545	100,00	0,7888	100,00
≤ 7,99	18	0,04467	5,90	0,0123	1,24	0,0180	2,01
8,00 - 17,99	18	0,0067	0,88	0,1013	10,23	0,1127	12,56
18,00 - 24,99	18	0,1559	20,58	0,2070	20,89	0,2473	27,56
25,00 - 34,99	18	0,3957	52,22	0,5246	52,94	0,4328	48,24
≥ 35,00	18	0,1548	20,42	0,1456	14,70	0,0864	9,63
Total – anos		0,7578	100,00	0,9908	100,00	0,8970	100,00

Por meio das estimativas do sortimento ao longo dos anos e dos percentuais de perdas gerados foi possível observar como se comporta a evolução do sortimento para um povoamento de pinus que sofreu danos por macacos-prego, ainda bastante jovem, e continuou a ser danificado até sua rotação final aos 18 anos de idade.

Na Figura 39, observa-se o sortimento médio para as classes de idade de 8 a 11 anos, 12 a 15 anos e 16 a 18 anos, para os grupos de árvores aneladas (fuste principal), janeladas e não danificadas. As equações de afilamento ajustadas para cada um dos grupos de árvores estudado foram aplicadas para estimar os sortimentos de cada grupo.

Avaliando-se os sortimentos por classes de idade e aplicando-se os percentuais médios de danos, verificou-se que os maiores danos à madeira ocorrem no primeiro desbaste (8 a 11 anos) no sortimento destinado à celulose (em termos relativos). Constatou-se que 48 e 44% do volume total gerado para celulose, respectivamente, pelas árvores aneladas e janeladas está danificado. Para essa classe de idade, os volumes para serraria 2 também são bastante expressivos, representando, 45 e 38% do volume total gerado para árvores aneladas e janeladas respectivamente, porém o percentual de volume danificado para esse sortimento é de 11%, para ambos os grupos (anelada e janelada). Para árvores não danificadas no primeiro desbaste, o principal produto obtido também foi a celulose (50%), seguido de serraria 2 com 39%.

Para o segundo desbaste, que engloba as idades de 12 a 15 anos, o principal sortimento gerado foi para serraria 2 para os três grupos, anelada, janelada e não danificada, representando, 42%, 48% e 44% do volume total gerado, respectivamente. As árvores aneladas e janeladas apresentaram, respectivamente, 44 e 36% do volume total destinado à serraria 2 danificado.

Para o corte final (16 a 18 anos), o principal produto obtido foi destinado à serraria 1, para os três grupos (anelada, janelada e não danificada), com 51, 49 e 44% do volume total produzido, respectivamente. Avaliando os danos físicos da madeira, 36% do volume destinado à serraria 1, para árvores aneladas, encontra-se comprometido e 41% do volume total que seria destinado à serraria 1, perdendo assim sua qualidade para esse fim.

Liebsch *et al.* (2018), em seu estudo sobre “Impacto do descascamento de árvores de *Pinus taeda* L. por macacos-prego na produção e receita em plantios com desbastes”, concluíram que, no primeiro desbaste, as maiores perdas de volume e qualidade de madeira foram no sortimento destinado à indústria de celulose, corroborando com os resultados da presente pesquisa. No caso do segundo desbaste, esses autores constataram que as perdas de

volume foram diluídas nos diferentes sortimentos (exceto 35 - 45 cm), enquanto que no corte final, as perdas de volume se deram principalmente nos sortimentos de 18 - 25 cm e 25 - 35 cm, resultados que também corroboram com os resultados desta pesquisa.

No estudo de Liebsch *et al.* (2018), não foi registrado perda de volume no sortimento de 35 - 45 cm (laminação). Contudo, na presente pesquisa foi constatado perdas nessa classe de sortimento, observando-se que no corte final, 16% do volume total do sortimento das árvores aneladas destinado à laminação apresentava-se danificado. Já para as árvores janeladas, 26% do volume destinado à laminação, encontrava-se danificado, desclassificando esse produto para seu uso e, por consequência, perdendo valor comercial.

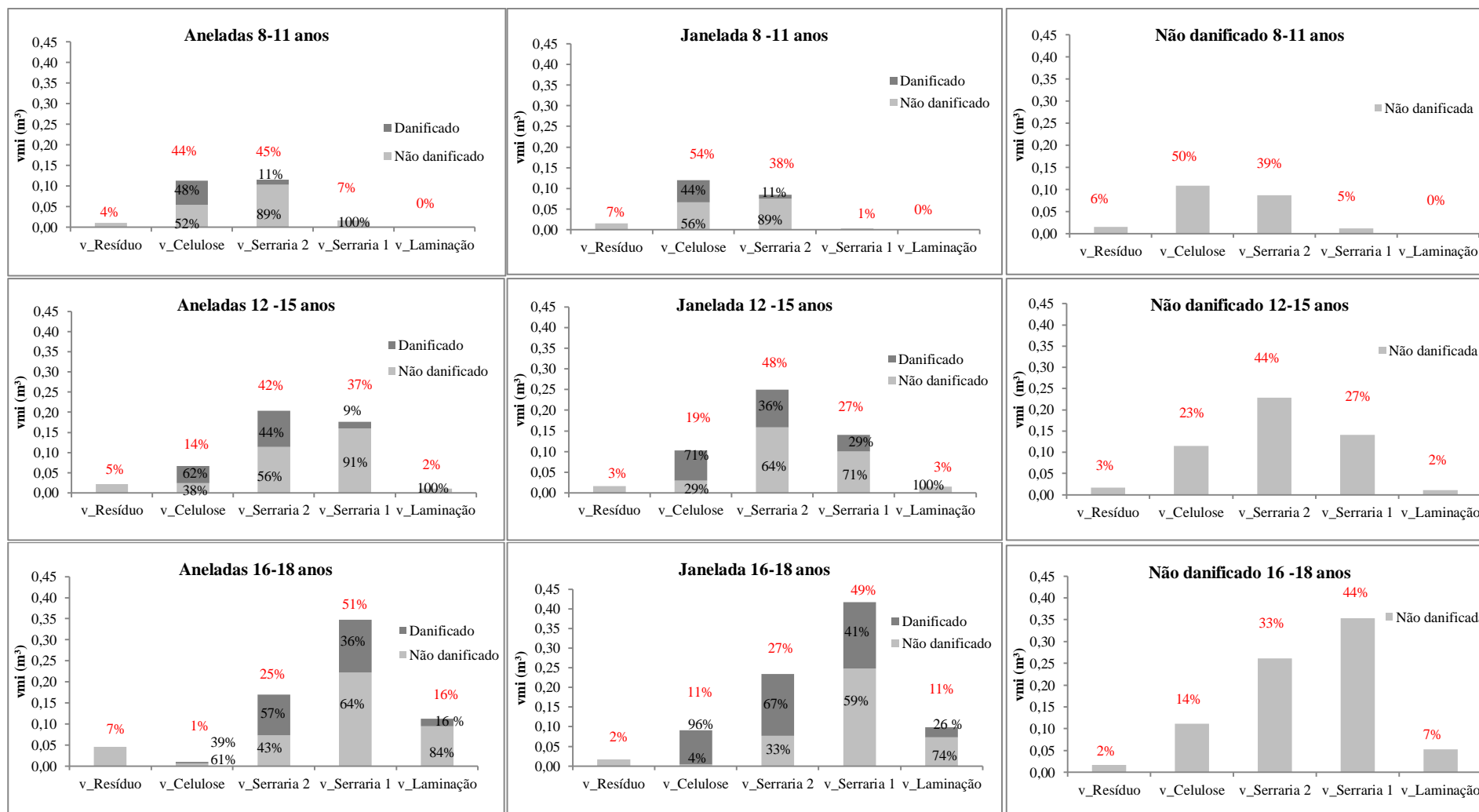


Figura 39. Evolução do sortimento médio individual por classes de idade para árvores de *Pinus taeda* (percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial).

5.6.4 Estimativa da produção média individual incluindo brotações

Para avaliar a produção comercial das árvores aneladas foi realizado o sortimento médio individual aos 18 anos, incluindo o volume de madeira produzido pelas brotações. Para critério de comparação foram desenvolvidos os gráficos de sortimento para os três grupos de árvores estudados aos 18 anos (Figura 40).

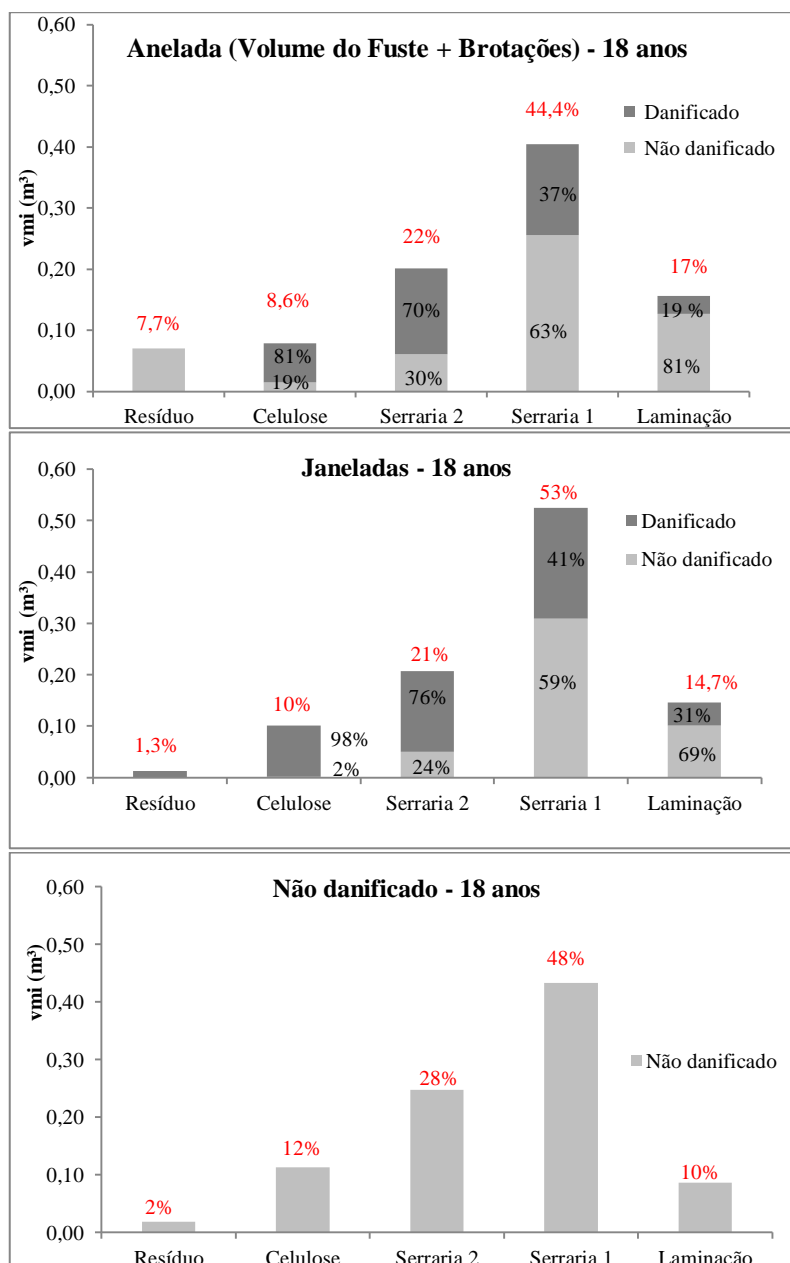


Figura 40. Sortimento médio individual aos 18 anos para os três grupos de árvores de *Pinus taeda* (percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial).

Pode-se observar que para as árvores aneladas existe um percentual alto de resíduo, de aproximadamente 8%, quando comparado ao resíduo das árvores janeladas (1,3%) e não danificadas (2%). Esse percentual elevado se deve principalmente às brotações, que apresentam, na grande maioria, diâmetros inferiores, resultando nesse percentual mais elevado para a classe de sortimento menor que 8 cm, considerado resíduo.

O sortimento mais danificado aos 18 anos foi o sortimento entre 8 e 18 cm, destinado a celulose, apresentando para esse volume, danos de 81 e 98%, respectivamente, para as árvores aneladas e janeladas. Outra classe de sortimento bastante afetada, aos 18 anos, foi o sortimento destinado à serraria 2, apresentando para árvores aneladas e janeladas, respectivamente, 70 e 76% do volume total gerado para essa classe de sortimento, danificado por macacos-prego.

Para os três grupos de árvores estudados, o maior volume se concentrou na classe de sortimento de 25 a 35 cm, destinado à serraria 1. As árvores aneladas e janeladas apresentaram 44,4 e 53%, respectivamente, de todo o volume produzido aos 18 anos destinado a essa classe de sortimento. Para as árvores não danificadas, 48% da produção foi destinada essa classe de sortimento.

As árvores aneladas foram as que apresentaram maior percentual de volume destinado à laminação, com 17% do volume total produzido aos 18 anos. No entanto, quase 20% desse volume estavam danificados (Figura 40). Para as árvores que sofreram danos do tipo janelamento, aproximadamente 15% do volume produzido foram destinados à laminação, enquanto que as árvores que não foram danificadas apresentaram o menor percentual de madeira destinado à laminação, com 10%, porém teve um percentual maior de volume para serraria 2 e para celulose, quando comparado às árvores danificadas.

5.6.5 Estimativas de sortimento por unidade de área (ha)

Para ter uma visão mais prática dos danos causados por macacos-prego ao povoamento, foram estimados os sortimentos por unidade de área (ha) aos 18 anos de idade. Para isto, foram utilizados o DAP e altura total das árvores medidas nas parcelas medidas nos dois talhões, aplicando-se as equações de afilamento ajustadas para cada grupo específico de árvores. Para realizar a quantificação dos danos das árvores danificadas, foram aplicados os percentuais médios de volume danificado para árvores aneladas e janeladas separadamente aos 18 anos para cada classe de sortimento.

Na Figura 41 estão descritos os sortimentos por hectare para árvores aneladas e janeladas. Tendo em vista que 63% das árvores do talhão danificado eram árvores aneladas, o maior volume concentra-se para esse grupo. As árvores aneladas apresentavam 50% do volume total produzido destinado à serraria 1 o que corresponde a cerca de 62 m³.ha⁻¹, indicando que 34% do volume produzido foi destinado para laminação (±40 m³.ha⁻¹). O volume estimado para celulose foi pequeno (0,30 m³.ha⁻¹) para as árvores aneladas (sem considerar as brotações). Para as árvores janeladas, que representaram 37% das árvores do talhão danificado, seu principal volume se concentrou para laminação 42% do volume produzido, que corresponde a 49 m³.ha⁻¹. Para este grupo de árvores o volume para celulose representou somente 5,5% da produção total.

As árvores aneladas aos 18 anos produziram 191 m³.ha⁻¹, porém, deve-se levar em consideração que, aproximadamente 70 m³.ha⁻¹ está danificado (36,6% do volume total). A produção das árvores janeladas chegou a 168 m³.ha⁻¹, dos quais, 72 m³.ha⁻¹ se encontram comprometidos pelos danos dos macacos-prego (42,86% do volume total). Os percentuais de danos em cada classe de uso da madeira estão descritos na Figura 41.

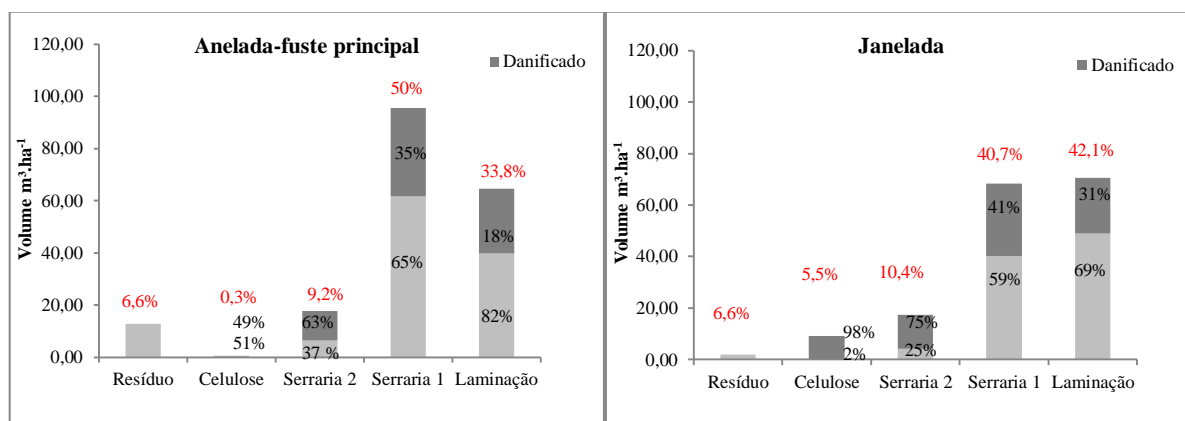


Figura 41. Sortimento (m³. ha⁻¹) para árvores danificadas aos 18 anos incluindo brotações (percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial).

Na Figura 42 estão descritos os totais de produção por classes de sortimento para o povoamento danificado (anelada + janeladas) sem considerar as brotações e para o povoamento não danificado. O volume total produzido aos 18 anos para o povoamento danificado foi de 358 m³.ha⁻¹ e o volume total produzido por árvores não danificadas foi de 366 m³.ha⁻¹.

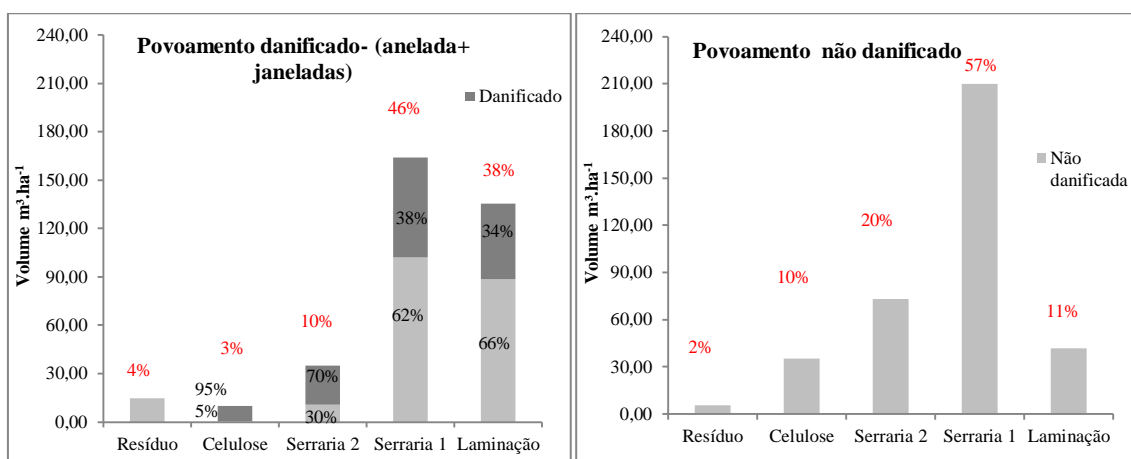


Figura 42. Sortimento ($m^3.ha^{-1}$) para povoamento danificado e para o povoamento não danificado aos 18 anos percentuais em vermelho correspondem à porcentagem de cada sortimento em relação ao volume comercial).

Observa-se que os dois povoamentos possuem maior concentração de volume no sortimento destinado à serraria 1 (25 - 35 cm), porém sendo mais expressivo em termos relativos para o povoamento não danificado, 57% do volume total produzido, enquanto que no povoamento danificado representa 46% do volume total produzido.

O povoamento danificado apresentou valores bastante relevantes de volume destinado à laminação (38%), porém 34% desse volume se encontra danificado. O povoamento não danificado apresentou menor produção em sortimento destinado à laminação (11% do volume total), produzindo maior volume para serraria 1 e celulose, quando comparados ao povoamento danificado por macacos-prego.

Conhecer como ocorre a evolução do sortimento e quais são os percentuais de perda de qualidade dos sortimentos produzidos em um povoamento florestal que sofreu danos por macacos-prego ao longo dos anos, é importante para subsidiar os produtores florestais no planejamento da produção, auxiliando o manejador florestal a tomar decisões mais seguras acerca de quando e como devem ser realizadas as intervenções na floresta, buscando minimizar os impactos na produção final.

5.7 Avaliação econômica e formação das receitas

Para Folmann *et al.* (2014) deve-se ter em mente que qualquer situação que, implique em acréscimo de custo ou redução de receitas, pode levar o projeto a uma situação de inviabilidade. Neste contexto, se torna de grande importância avaliar as possíveis perdas de receita ocasionadas pelos danos dos macacos-prego aos plantios florestais.

Essa etapa da análise tomou como base o volume de sortimento obtido por hectare para as áreas danificada e não danificada por macacos-prego, e o preço médio de cada sortimento, considerando a queda de preço que as árvores danificadas sofreram para cada classe de sortimento gerada.

Na Tabela 32 estão os volumes estimados por classe de sortimento, e suas respectivas receitas obtidas para o povoamento danificado e para o povoamento não danificado. Para este caso foi considerado o volume do fuste principal das árvores aneladas. Cabe ressaltar que no momento do inventário o talhão não danificado encontrava-se com dezenove anos completo e o talhão danificado possuía dezoito anos e meio.

Tabela 32. Volumes por classe de sortimento e suas respectivas receitas para o povoamento danificado e para o povoamento não danificado por macacos-prego.

Povoamento		R\$/m ³	Produto	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	Receita R\$.ha ⁻¹	Receita Total (R\$.ha ⁻¹)
Povoamento danificado	Não Danificado	42,50	Celulose	0,432	R\$ 18,35	R\$ 30.755,52
		92,50	Serraria 2	10,726	R\$ 992,18	
		135,00	Serraria 1	102,031	R\$ 13.774,20	
		180,00	Laminação	88,727	R\$ 15.970,79	
	Danificado	42,50	Celulose	9,413	R\$ 400,04	R\$ 7.914,76
		50,88	Serraria 2	24,442	R\$ 1.243,62	
		54,00	Serraria 1	61,794	R\$ 3.336,86	
		63,00	Laminação	46,575	R\$ 2.934,24	
	Não danificado/danificado	5,00	Resíduo	14,649	R\$ 73,24	R\$ 73,24
	Volume Total (m³.ha⁻¹)				358,789	Total R\$/ha
Povoamento não danificado	Sem danos	42,50	Celulose	35,445	R\$ 1.506,39	R\$ 44.170,00
		92,50	Serraria 2	73,198	R\$ 6.770,77	
		135,00	Serraria 1	209,905	R\$ 28.337,12	
		180,00	Laminação	41,818	R\$ 7.527,26	
		5,00	Resíduo	5,691	R\$ 28,45	
	Total m³.ha⁻¹				366,055	Total R\$.ha⁻¹

A madeira danificada, destinada para celulose, no talhão danificado, representa, aproximadamente, 96% do volume destinado para essa classe de sortimento. Porém para esse produto o valor de mercado da madeira danificada e não danificada não se diferencia, desta forma tanto os volumes danificados como o volume não danificado têm preço comum de R\$ 42,50 por metro cúbico, não causando impacto na receita.

Apesar do preço de mercado da madeira para celulose de árvores danificadas e não danificadas não diferirem, Ramos *et al.* (2014) em seu estudo sobre impacto na qualidade do papel produzido com madeira danificada por animais (macacos-prego), consideram que a qualidade das madeiras de pinus danificadas no decorrer de sua vida é inferior quando comparado com madeiras sadias de pinus, que não sofreram danos, diminuindo a qualidade do papel. Os autores descreveram que árvores danificadas, quando selecionadas para o processo,

são mais difíceis de refinar, causando perda de qualidade das fibras quando submetidas aos testes de tração e rasgo, além de consumir mais energia no processo. Após a refinação, gera uma polpa mais escura, com uma alvura mais baixa, sendo necessário aumentar a carga de químicos para efetuar o seu branqueamento, consumindo mais produtos e por consequência elevando os custos de fabricação.

O sortimento mais afetado pelos danos foi o destinado à serraria 2, com 70% do volume obtido danificado. Para esse produto a desvalorização do preço de venda é de aproximadamente 45%, enquanto que sortimentos mais nobres como serraria 1 e laminação desvalorizam, respectivamente, 60% e 65% o seu valor de venda.

Para o povoamento danificado os sortimentos com danos apresentaram uma receita de R\$ 7.915,00 por hectare, e os sortimentos não danificados geraram uma receita de R\$ 30.775,00 por hectare, no total, o povoamento que sofreu danos de macacos-prego gerou uma receita bruta de aproximadamente R\$ 38.743,00 por hectare, enquanto que o povoamento não danificado gerou uma receita de R\$ 44.170,00. A diferença entre as receitas obtidas para o povoamento danificado e para o povoamento não danificado é de R\$ 5.426,48 por hectare (12,28%). Deve-se mencionar ainda que, no corte final, há uma diferença no número de árvores por hectare dos dois povoamentos, com 311 arv.ha⁻¹ no povoamento danificado e 352 arv.ha⁻¹ para o povoamento não danificado por macacos-prego. Esse menor número de árvores por hectare pode ter como causa, a mortalidade de árvores do povoamento que sofreu danos que, apesar de não haver registros, é fato que muitas árvores que sofrem anelamentos, acabam secando e morrendo.

Pavelski (2015), para quantificar as perdas ocasionadas por macacos-prego em povoamentos de *P. taeda*, realizou simulações por meio do aplicativo “Macaco-prego Calc.” do *Software Sispinus* para estimar o crescimento dos talhões e o crescimento corrigido dos mesmos, assim como, para determinar perdas de volume e de receita. Na sua simulação Pavelski (2015) considerou informações obtidas em um inventário pré-corte, dois desbastes e colheita final aos 18 anos. Ao final de suas simulações o autor chegou a perdas de receita obtidas ao final da rotação dos talhões que variaram de R\$ 902,26 ha⁻¹ a R\$ 4.372,92 ha⁻¹.

Devido ao fato de que, a altura em que ocorrem os danos se concentram no terço superior das árvores, os sortimentos mais afetados são os de menor diâmetro, destinados a celulose e serraria 2. Assim, como a desvalorização é menor para esses produtos, a perda de receita bruta é menos impactante, levando em consideração que, em povoamentos mais

velhos, como é o caso do povoamento avaliado, o percentual de volume destinado para essas classes de sortimento tende a ser pequeno.

Para avaliar a receita do povoamento danificado considerando o volume das brotações das árvores aneladas, foi utilizado o volume médio individual das brotações aos 18 anos, sendo aplicado esse volume para 63% das árvores do povoamento danificado (63% das árvores são aneladas).

A diferença entre as receitas para o povoamento danificado e não danificado, considerando as brotações se torna menor, reduzindo para R\$ 4.224,11 por hectare (Tabela 33). Porém, deve-se levar em consideração que grande parte do volume das brotações encontra-se danificado, e a maioria nas classes inferiores de sortimento, principalmente destinados a celulose, e que também ocorre um aumento do volume de resíduo.

Assim, para utilizar o volume produzido pelas brotações é necessário que o produtor avalie os custos de colheita e processamento dessa madeira, para que seja possível verificar a viabilidade do uso do volume produzido por essas brotações.

Tabela 33. Volumes por classe de sortimento e suas respectivas receitas para o povoamento danificado (incluindo brotações) e para o povoamento não danificado por macacos-prego.

Povoamento		R\$/m ³	Produto	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	Receita R\$.ha ⁻¹	Receita Total (R\$.ha ⁻¹)	
Povoamento danificado	Não Danificado	42,5	Celulose	2,6418347	R\$ 112,28	R\$ 30.922,72	
		92,5	Serraria 2	11,518431	R\$ 1.065,45		
		135	Serraria 1	102,03115	R\$ 13.774,20		
		180	Laminação	88,72659	R\$ 15.970,79		
	Danificado	42,5	Celulose	21,241856	R\$ 902,78	R\$ 8.924,80	
		50,88	Serraria 2	32,395973	R\$ 1.648,31		
		54	Serraria 1	63,399178	R\$ 3.423,56		
		63	Laminação	46,827864	R\$ 2.950,16		
	Não danificado/danificado		5	Resíduo	19,673367	R\$ 98,37	R\$ 98,37
			Volume Total (m³.ha⁻¹)		388,45624	Total R\$/ha	R\$ 39.945,89
Povoamento não danificado	Sem danos	42,5	Celulose	35,445	R\$ 1.506,39	R\$ 44.170,00	
		92,5	Serraria 2	73,198	R\$ 6.770,77		
		135	Serraria 1	209,905	R\$ 28.337,12		
		180	Laminação	41,818	R\$ 7.527,26		
		5	Resíduo	5,691	R\$ 28,45		
			Total m³.ha⁻¹		366,055	Total R\$.ha⁻¹	R\$ 44.170,00

Os resultados da presente pesquisa indicam o quanto um povoamento severamente danificado pode gerar de receita se ele for mantido até sua rotação final. Resultados como estes podem servir de base para a tomada de decisão dos produtores florestais que podem avaliar seus povoamentos, seus custos e receitas e verificar se a rentabilidade do investimento se aproxima de valores considerados aceitáveis para manter um povoamento danificado até sua rotação final.

6. CONCLUSÕES

- Os modelos testados para estimar o volume individual de árvores de *Pinus taeda* danificadas e não danificadas por macacos-prego mostraram-se adequados, com alguma vantagem para o modelo de Meyer.
- O teste de identidade indicou que é necessário realizar ajuste das equações de volume específicas para árvores danificadas e não danificadas. Apontou ainda que, para as árvores danificadas devem ser realizados ajustes, separadamente, para árvores aneladas e janeladas.
- O polinômio de 5º apresentou boas estatísticas de ajuste e precisão para as estimativas de diâmetro ao longo do fuste das árvores danificadas por macacos-prego, sendo viável identificar as mudanças na evolução dos perfis ao longo dos anos.
- Por meio da evolução dos fatores de forma artificiais foi possível verificar a mudança que ocorre na forma após as árvores sofrerem danos, e verificar que essas árvores danificadas ficam mais cilíndricas com o passar dos anos.
- A análise de tronco mostrou ser uma excelente técnica para identificar as idades de ocorrência dos danos pelos macacos-prego, bem como avaliar a extensão de seus danos.
- O crescimento em diâmetro foi afetado pelos danos dos macacos-prego, pois árvores dominantes e codominantes diminuíram seu ritmo de crescimento, reduzindo com isto, seu potencial para produzirem produtos de maior valor econômico.
- A altura foi a variável mais afetada com os danos de macacos-prego e reduziu em cerca de 50% seu potencial de crescimento para as árvores aneladas, e como consequência, afetou também a produção volumétrica.
- As árvores janeladas produziram mais volume que as árvores não danificadas e isto se deve ao processo de compartimentalização das fissuras abertas pelos macacos-prego e também pelo tamanho dessas fissuras, que fizeram com que os diâmetros ao longo do fuste aumentassem.
- O teste de Regazzi (2013) apontou diferença estatística entre as curvas de crescimento individuais, não sendo portanto, possível o uso da mesma equação para os três grupos de árvores estudados.
- Os primeiros danos ao povoamento de *Pinus taeda* estudado ocorreram entre cinco e seis anos, porém o maior percentual de danos se deu entre sete e oito anos.
- Os percentuais de perdas gerados ao longo dos anos podem ser aplicados para quantificar a produção sob influência de danos de macacos-prego em talhões de *Pinus taeda* com características semelhantes ao dessa pesquisa.

- Os maiores percentuais de danos à madeira concentram-se principalmente nos sortimentos destinados à celulose e serraria 2.
- No final da rotação aos 18 anos, o principal produto obtido para os três grupos de árvores (aneladas, janeladas e não danificadas) foi destinado à serraria 1.
- A diferença entre as receitas obtidas para o povoamento danificado e para o povoamento não danificado no corte final, foi de aproximadamente 12%.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFARO, J. W. L.; BOUBLI, J. P.; OLSON, E. L.; FIORE, A. Di.; WILSON, B.; GUTIERREZ-ESPELETA, G. A.; CHIOU, K. L.; SCHULTE, M.; NEITZEL, S.; ROSS, V.; SCHWOCHOW, D.; NGUYEN, M.T.T.; FARIAS, I.; CHARLES J. H.; ALFARO, M. E.. Explosive Pleistocene range expansion leads to widespread Amazonian sympatry between robust and gracile capuchin monkeys. **Journal of Biogeography**, v. 39, n. 2, p. 272-288, 2012.

ALMEIDA, A. **Influência da disponibilidade sazonal e da composição química de itens alimentares no consumo do macaco-prego**. 136 f. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em biologia animal)-Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto - SP, 2013.

ANDERSON, C.; GUSTAVO, J. **Macacos-prego (Sapajus nigritus)** – informações. Disponível em: <https://projeto fauna.wordpress.com/2014/02/06/macacos-prego-sapajus-nigritus-informacoes>. Acesso em: 06/04/2018.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2006: ano base 2005. Brasília, DF: ABRAF, 2006. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/anuario-ABRAF-2006.pdf>. Acesso em: 21 set. 2010.

ARCE, J. E. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte**. 129 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

CAMPOS, J. C. C. E TURNBULL, K. J. Um método para estimar índices de local utilizando a análise de tronco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 4, n.1 p. 47-61, 1980.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 470 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. atual. ampl. - Viçosa, MG: Editora UFV, 2009, 548 p.

CARVALHO, D. R. J. de. **Predação em *Pinus* spp. por *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) (Primates; Cebidae) na região nordeste do Paraná Brasil**. 64 f. Dissertação de Mestrado (Ecologia e Conservação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2007.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; HESS, A. F. Função de afilamento e sortimentos de madeira para *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 523-533, 2016.

DELLA FLORA, J. B.; DURLO, Miguel Antão; SPATHELF, P.. Modelo de incremento para árvores singulares - *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n.1, p. 165-177, 2004.

DIÉGUEZ-ARANDA, U.; BARRIO, M.; CASTEDO, F. R. A. D.; ÁLVAREZGONZALES, J. G.; ROJO, A. **Dendrometria**. Madrid: Mundi Prensa. p. 327, 2003.

DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P. R. ; FINGER, C. A. G. Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* para a região da Serra do Sudeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n.1, p. 123-143, 2001.

DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C.A.G. Sortimentos de *Pinus elliottii* Engelm para a região da Serra do Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n.2, p. 55-73, 1999.

ENCINAS, J.I.; SILVA, G.F.; PINTO, J.R.R. **Idade e Crescimento das Árvores**. Comunicações Técnicas Florestais, v.7. n.1. 2005.

FERRREIRA, R. A. **Análise genética e seleção em testes dialélicos de *Pinus taeda* L.** 2005. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2005.

FERREIRA, M. Z. **Estudo de funções de afilamento para representar o perfil e o volume do fuste de *Pinus taeda***. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2004.

FERREIRA, F.A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle das doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil**. – Mogi Guaçu, SP: International Paper, p. 98, 2002.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Influência da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* e sua avaliação econômica**. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 1991.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 83, n. 1, p. 39-46, 1996.

FIGUEIREDO FILHO, A.; KOHLER, S.V.; FELDE, J.L.; DIAS, A.N.. Dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *Araucaria angustifolia*. **CERNE** (UFLA), v. 20, p. 595-603, 2014.

FINEGAN, B. **Bases ecológicas para la silvicultura: Tema V: aspectos de la ecologia del crecimiento y rendimiento de los arboles**. Turrialba: CATIE, p.30, 1993.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEFFATEC, 2006.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R.; ACERBI JUNIOR, F. W.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.167-188, 2001.

FOLMANN, W. T.; MIRANDA, G. M.; DIAS, A. N.; MORO, F. C.; FERNANDEZ, M. L. Q. Viabilidade de projetos florestais em três regimes de manejo na mesorregião Centro-oriental do Paraná. **Floresta** (UFPR. Impresso), v. 44, p. 153-160, 2014.

GUIMARÃES, M. Ramificações ancestrais. **Pesquisa FAPESP**, v., p.20-23, 2012.

HUSCH, B.; MILLER, I.C.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 3. ed. New York: J. Wiley, 1982.

I.B.Á. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2016**. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em: 25/01/ 2018.

JORGE, L. A. C.; VARGAS, A. J. C.; Navarro, F. C. P.; ROSSOT, M. A.; RODA, V. O. **Análise ANATRO e Determinação de Volume a partir de Imagens de Anéis de Crescimento**. In: WVC 2008 - IV Workshop de visão computacional, Bauru. Anais do WVC 2008 - IV Workshop de visão computacional. São Carlos: Canal 6 Projetos Especiais, p.7, 2008.

CARVALHO, D.R.J.; VIDOLIN, G.P. **Delineamentos para o manejo do macaco-prego (*Cebus nigritus*) no Paraná**. Governo do Estado do Paraná/SEMA/IAP/ Projeto Paraná Biodiversidade. 32 p. 2009.

KOEHLER, A.; FIRKOWSKI, C. Descascamento de pinus por macaco-prego (*Cebus apella*). **Floresta**, v. 24, n. 1-2, p. 61-75, 1996.

KOHLER, S. V. **Evolução do Afilamento do Tronco e do Sortimento em Plantios de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2013.

KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelos de Afilamento para *Pinus taeda* por Classes de Idade. **FLORAM - Floresta e Ambiente**, p. 470-479, 2013.

KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FIGUEIREDO FILHO, AFONSO.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A. Evolution of tree stem taper in *Pinus taeda* stands. **Ciência Rural**, v. 46, p. 1185-1191, 2016.

KOZAK, A.; MUNRO D. D.; SMITH J. H G. Taper functions and their application in forest inventory. **Forestry Chronicle**, Ottawa, v.45, n.4, p. 278- 283, 1969.

LIEBSCH, D. ; MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B.; MIKICH, S. B. Impacto do descascamento de árvores de *Pinus taeda* L. por macacos-prego na produção e receita em plantios com desbastes. **Biofix Scientific Journal**, v. 3, p. 48-55, 2018.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S.B.; OLIVEIRA, E.B.; MOREIRA, J.M.M.A.P. Descascamento de *Pinus taeda* por macacos-prego (*Sapajus nigritus*): tipos e intensidades de danos e seus impactos sobre o crescimento das árvores. **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 43, p. 37-49, 2015.

MACHADO, S. A.; SILVA, L. C. R.; JASKIU, E.; CAVALHEIRO, R. Comparação entre análise de tronco digital e convencional em árvores de *Mimosa scabrella* bentham e *Pinus taeda* L.. Revista **Árvore** (Impresso), v. 37, p. 329-337, 2013.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativas de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbastes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.50, p. 81-98, 2005.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, D. J. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Schiede. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n 48, p.41-64, 2004.

MARTO, T.T.B. Indicações para escolha de espécies de Pinus. **Revista da Madeira-REMADE**, ed. N°99, 2009.

MATOS, J.L.M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *P. taeda***. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 1997.

MIKICH, S. B; LIEBSCH, D. **O Macaco-prego e os Plantios de *Pinus* spp.**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 234).

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D.; ALMEIDA, A. de; MIYAZAKI, R. D. O papel do macaco-prego, *Sapajus nigritus*, na dispersão de sementes e no controle potencial de insetos-praga em cultivos agrícolas e florestais. In: PARRON, L. M. *et al.* (Eds.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D.; ALMEIDA, A. de; OLIVEIRA, E.; MAURO, J. O programa macaco-prego da EMBRAPA florestas: avanços e perspectivas. In: 5º Congresso florestal paranaense. **Anais...**Curitiba, p. 1-17, 2015.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. Damage to forest plantations by tufted capuchins (*Sapajus nigritus*): too many monkeys or not enough fruits? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 314, p. 9–16, fev. 2014.

NUTTO, L.; CAVALHEIRO, R.; MACHADO, S. A.; SILVA, L. C. R. Comparação de Metodologias para a Medição de Anéis de Crescimento de *Mimosa scabrella* e *Pinus taeda*. IPEF. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Cessou em 1995. Cont. ISSN 1413-9324 **Scientia Forestalis**), v. 40, p. 135-144, 2012.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA J. N., GARCIA, J. N., FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, p. 59-70, 2006.

OLIVEIRA, E. B.; MOREIRA, J. M. A.; LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B. **Ferramenta computacional para estimar perdas na produção de madeira de *Pinus taeda* em plantações danificadas por macaco-prego (*Sapajus nigritus*)**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015.

OLIVEIRA, B. R. **Determinação do volume de cerne produzido em árvores de *Tectona grandis* L. f. em Mato Grosso**. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2014.

PACHECO, J. M. **Influência do espaçamento no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro-Sul do Paraná**. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro - Oeste, Irati-PR, 2013.

PAVELSKI, J. A. **Quantificação das perdas ocasionadas por ataque de macaco-prego em reflorestamentos de *Pinus taeda***. 28 f. Monografia – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2016.

PIRES NETO, P.A.F. Macaco-prego X Pinus. 2014. Disponível em: <https://biotabrasil.carbonmade.com/projects/5268707>. Acesso em: 10/10/2017.

PRANGE, W. P. **Baixo teor de resinas contribuiu para avanço do *Pinus taeda***. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Disponível em: http://www.sbs.org.br/memorias_baixoteor.htm. Acesso em: 10/10/ 2016.

RAMOS, W.; KOVALESKI, J. L.; GAIA S.; LUZ A. A. **O impacto da qualidade da madeira na fabricação de papel: um estudo em madeiras de pinus danificadas por animais**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais...Curitiba: ENEGEP, p. 1-10, 2014.

RECITECH AMBIENTAL. Relatório Ambiental Simplificado. p. 335, 2013. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/2013_RAS/CGH_Libera_Maria/2013_07_RAS_CGH_Libera_Maria_RECITECH.pdf. Acesso em: 11/04/2018.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear. *Ceres*, v.50, p.9-26, 2003.

RETSLAFF, F. A. S. **Simulador para prognose da produção de *Pinus taeda* com Diagrama de Manejo da Densidade associado à modelagem em classes de diâmetro**. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ROCHA, V. J. Macaco-prego, como controlar esta nova praga florestal? *Floresta*, Curitiba, v. 30, n. 1-2, p. 95-99, 2000.

ROSOT, M. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DISPERATI, A. A.; EMERENCIANO, D. B. Análise de tronco digital: uma nova metodologia para medição de anéis de crescimento. *Floresta*, Curitiba, v.33, n.2, p. 235-256, 2003.

SANTOS, C. W. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) o. ktze**. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, G.M. **Macaco-prego ataca florestas de Pinus**. Disponível em: <http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/agricultura/macaco-prego-atacaflorestas-de-pinus>. (2011). Acesso em: 25/01/2016.

SILVESTRE, R.; BONAZZA, M.; STANG, M.; LIMA, G.C.P.; KOEPEL, D.A.; MARCO, F.T.; CIARNOSCHI, L.D.; SCARIOT, R.; MORÊS, D.F. Equações Volumétricas em Povoamentos de *Pinus taeda* L. no Município de Lages-SC. *Nativa*, v. 2, p. 1-5, 2014.

- SCHNEIDER, P. R. Introdução ao manejo florestal. Santa Maria: UFSM, CEPEF, FATEC. 1993. 348 p.
- SCOLFORO, J. R. S., RIOS, M. S., OLIVEIRA, A. D., MAESTRI, R.. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil de *Pinus elliottii*. Revista **Cerne**, Lavras. v. 4, n.1, p. 100-122, 1998.
- SHIMIZU, J.Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.
- SHIMIZU, J.Y. Cultivo de Pinus: Espécies de pínus mais plantadas no Brasil. Embrapa Florestas, Sistemas de Produção, 5 - 2ª edição. ISSN 1678-8281 - Versão Eletrônica. Jun/2014. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 05/01/2016.
- SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 71 p. 2000.
- STEPKA, T. F.; ZENY JUNIOR, G. A.; LISBOA, G.S.; CERQUEIRA, C.L.; PESCK, V. A.; ROIK, M. Modelos volumétricos e funções de afilamento para *Pinus taeda* L. na região dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. **ESPACIOS** (CARACAS), v. 38, p. 26-26, 2017.
- SOUZA, C. A.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MENDONÇA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 387-399, 2008.
- TONINI, H. Estrutura e Produção de duas Populações nativas de Castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em Roraima. **Floresta (UFPR)**, v. 38, p. 445-457, 2008.
- THOMAS, C. ANDRADE, M. C.; SCHNEIDER R. P.; FINGER, G. A.C. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.
- VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: Applications to Mixed Tropical Forests**, CAB International, 1994, 312p.
- WOLFF II, I. N. **Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L.** 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati- PR, 2012.
- YOSHITANI JUNIOR, Mauro. **Avaliação biométrica e econômica de plantios de *Pinus taeda* em Santa Catarina.** 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- ZIMMERMANN, M; BROWN, C. L. **Trees structure and function**. New York: Spring Verlag, 1974. 336 p.

8. APÊNDICE

APÊNDICE 1. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume **com casca** para árvores de *Pinus taeda* não danificadas por macaco-prego.

Modelos	Coeficientes	R^2_{aj}	S_{yx} (m ³)	S_{yx} %
Meyer	$b_0 = -6,499611$	0,9407	0,0727	8,40
	$b_1 = 0,379792$			
	$b_2 = -0,005652$			
	$b_3 = -0,016214$			
	$b_4 = 0,0002715$			
	$b_5 = 0,2799441$			
Schumacher-Hall	$b_0 = -11,773009$	0,9406	0,0727	8,40
	$b_1 = 1,9468486$			
	$b_2 = 1,5121315$			
Spurr	$b_0 = 0,0264397$	0,9396	0,0734	8,48
	$b_1 = 0,0000311$			
Husch	$b_0 = -7,516677$	0,8701	0,1062	12,27
	$b_1 = 2,089534$			

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} % = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

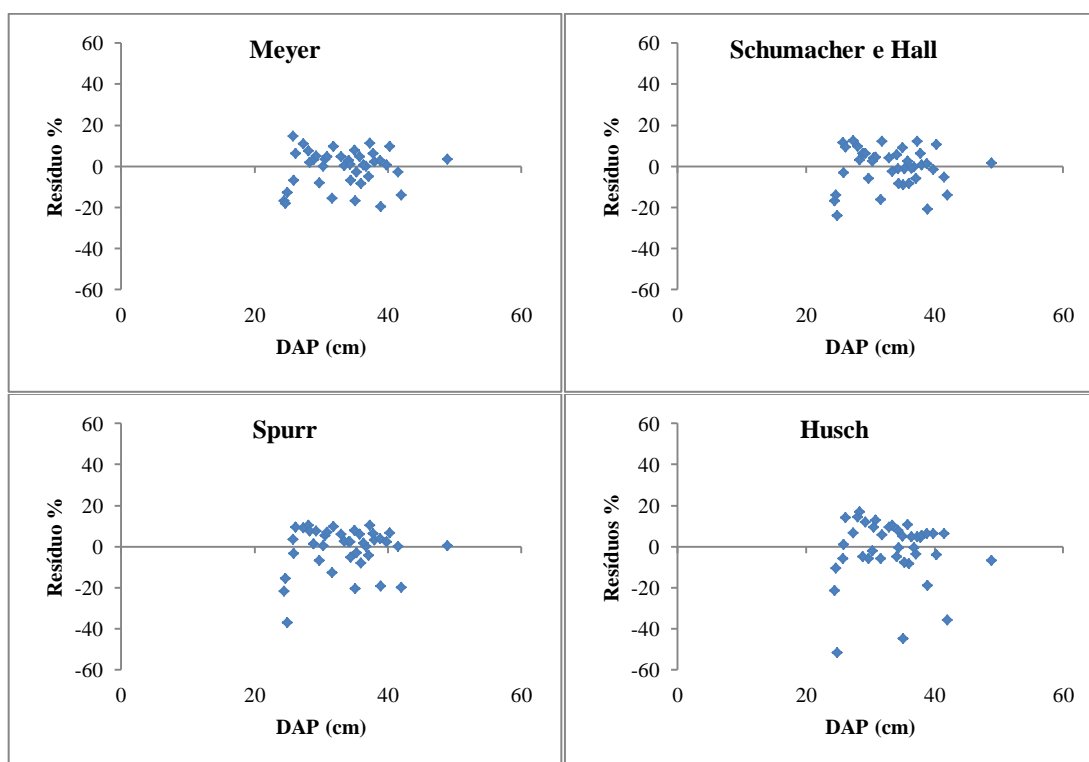


Figura 43. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total com casca para as árvores de *Pinus taeda* não danificadas por macacos-prego.

APÊNDICE 2. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume **sem casca** para árvores de *Pinus taeda* não danificadas por macaco-prego.

Modelos	Coeficientes	R ² _{aj}	S _{yx} (m ³)	S _{yx} %
Meyer	$b_0 = -6,499611$	0,9407	0,072	8,40
	$b_1 = 0,3797923$			
	$b_2 = -0,005652$			
	$b_3 = -0,016214$			
	$b_4 = 0,0002715$			
Schumacher-Hall	$b_0 = -11,807339$	0,93375	0,076	8,88
	$b_1 = 1,9503300$			
	$b_2 = 1,5204254$			
Spurr	$b_0 = 0,0264397$	0,9395	0,073	8,48
	$b_1 = 0,0000311$			
Husch	$b_0 = -7,137460$	0,8614	0,1096	12,67
	$b_1 = 1,986527$			

Em que: R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx}% = erro padrão de estimativa; b_i = coeficientes estimados.

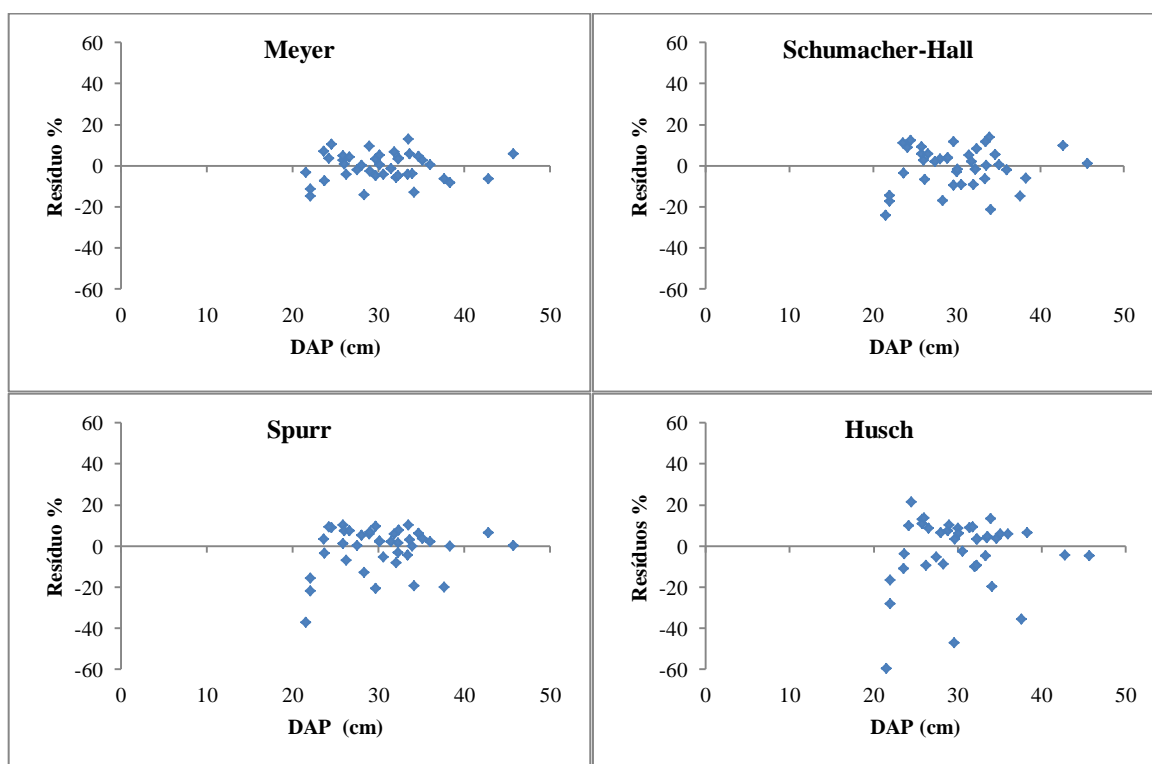


Figura 44. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (sem casca) para as árvores de *Pinus taeda* não danificadas por macacos-prego.

APÊNDICE 3. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar o volume total **com casca** para árvores de *Pinus taeda* que sofreram danos do tipo janelamento (grupo I).

Modelos	Coeficientes	R^2_{aj}	S_{yx} (m ³)	$S_{yx}\%$
Meyer	$b_0 = -0,412395$	0,9650	0,0814	7,93
	$b_1 = 0,096131$			
	$b_2 = -0,002554$			
	$b_3 = -0,001167$			
	$b_4 = 0,0001041$			
Schumacher-Hall	$b_0 = -8,513052$	0,9561	0,0912	8,88
	$b_1 = 1,667706$			
	$b_2 = 0,851074$			
Spurr	$b_0 = 0,170122$	0,9538	0,0936	9,12
	$b_1 = 3,208E-05$			
Husch	$b_0 = -7,548615$	0,8816	0,1497	14,58
	$b_1 = 2,123406$			

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx}\%$ = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

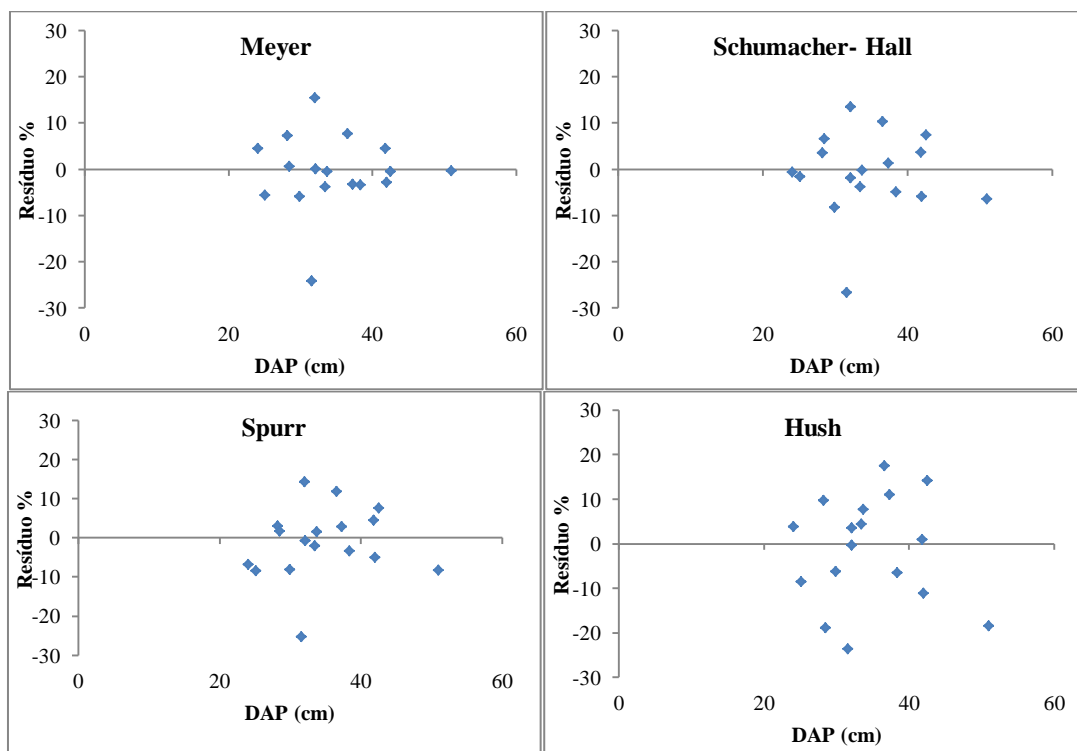


Figura 45. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total com casca para as árvores de *Pinus taeda* com danos do tipo janelamento (grupo I).

APÊNDICE 4. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar o volume total **sem casca** para árvores de *Pinus taeda* que sofreram danos do tipo janelamento (grupo D).

Modelos	Coefficientes	R ² _{aj}	S _{yx} (m ³)	S _{yx} %
Meyer	$b_0= 1,947898$	0,9732	0,0638	7,12
	$b_1= -0,061478$			
	$b_2= -0,000055$			
	$b_3= 0,004919$			
	$b_4= 2,271013E-06$			
Spurr	$b_0= 0,122746$	0,9657	0,0723	8,06
	$b_1= 0,000028$			
	$b_2= -8,759398$			
Schumacher-Hall	$b_0= -7,780698$	0,9656	0,0723	8,07
	$b_1= 1,687436$			
	$b_2= 0,863661$			
Husch	$b_0= -7,780698$	0,8927	0,1279	14,27
	$b_1= 2,149875$			

Em que: R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx}% = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

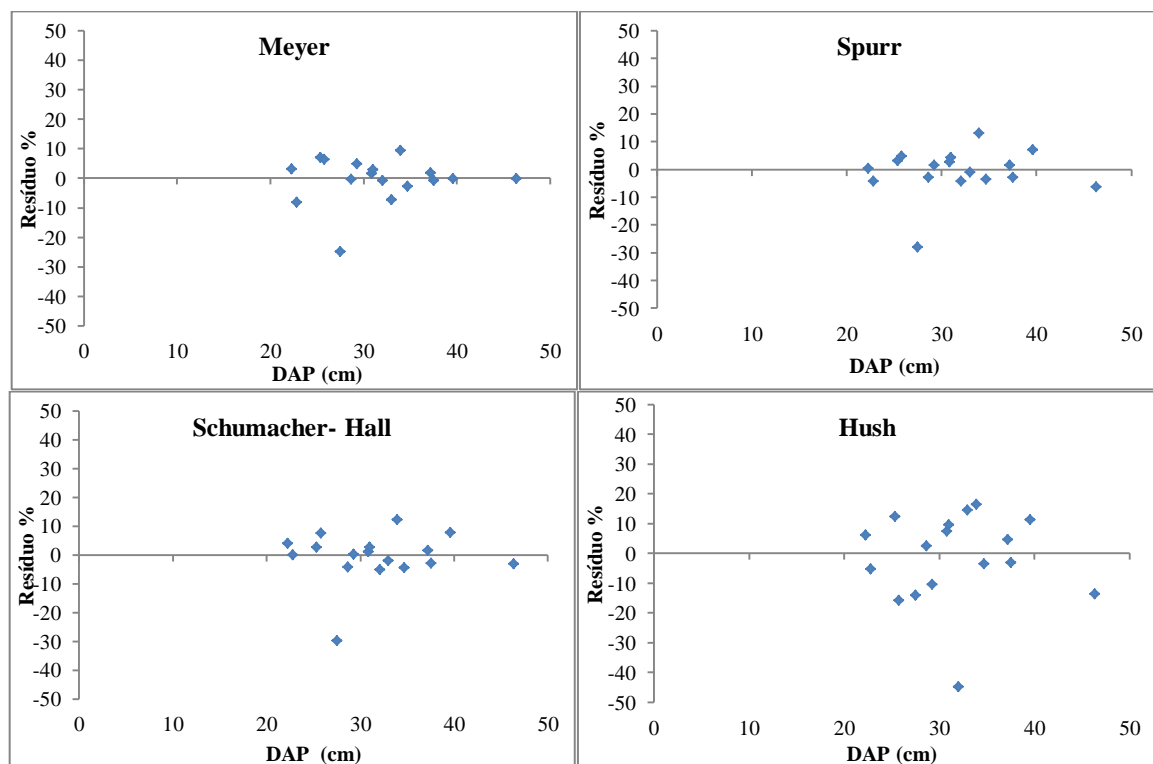


Figura 46. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (sem casca) para as árvores de *Pinus taeda* com danos do tipo janelamento.

APÊNDICE 5. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume do fuste principal **com casca** para as árvores de *Pinus taeda* que sofreram danos do tipo anelamento (grupo II).

Modelos	Coefficientes	R^2_{aj}	S_{yx} (m ³)	S_{yx} %
Meyer	$b_0=4,606298$	0,9373	0,0968	11,46
	$b_1=-0,238363$			
	$b_2=0,003108$			
	$b_3=0,024042$			
	$b_4=-0,000259$			
Spurr	$b_0=0,099777$	0,9238	0,1066	12,63
	$b_1=5,21255E-05$			
Schumacher-Hall	$b_0=-7,998633$	0,9137	0,1136	13,44
	$b_1=1,790260$			
	$b_2=0,5930844$			
Husch	$b_0=-6,901059$	0,7291	0,2011	23,81
	$b_1=1,884376$			

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} % = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

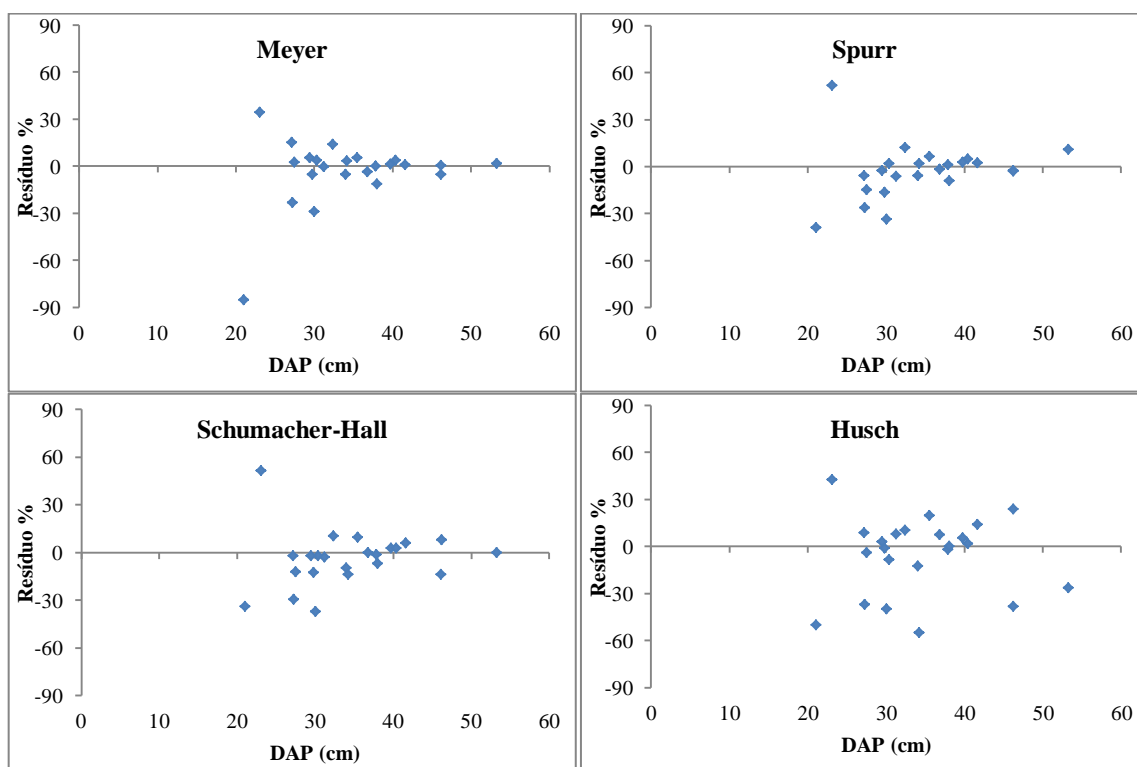


Figura 47. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (com casca) para as árvores de *Pinus taeda* com danos do tipo anelamento (grupo II).

APÊNDICE 6. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume do fuste principal **sem casca** para as árvores de *Pinus taeda* que sofreram danos do tipo anelamento (grupo II).

Modelos	Coeficientes	R^2_{aj}	S_{yx} (m ³)	$S_{yx}\%$
Meyer	$b_0=3,275584$ $b_1=-0,168462$ $b_2=0,002154$ $b_3=0,016591$ $b_4=-0,000162$ $b_5=-0,320726$	0,9508	0,0797	10,80
Spurr	$b_0=0,038055$ $b_1=0,000049$	0,9445	0,084	11,47
Schumacher-Hall	$b_0=-8,730683$ $b_1=1,890220$ $b_2=0,690610$	0,9327	0,0932	12,63
Husch	$b_0=-7,452625$ $b_1=1,999812$	0,7098	0,1936	26,23

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx}\%$ = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

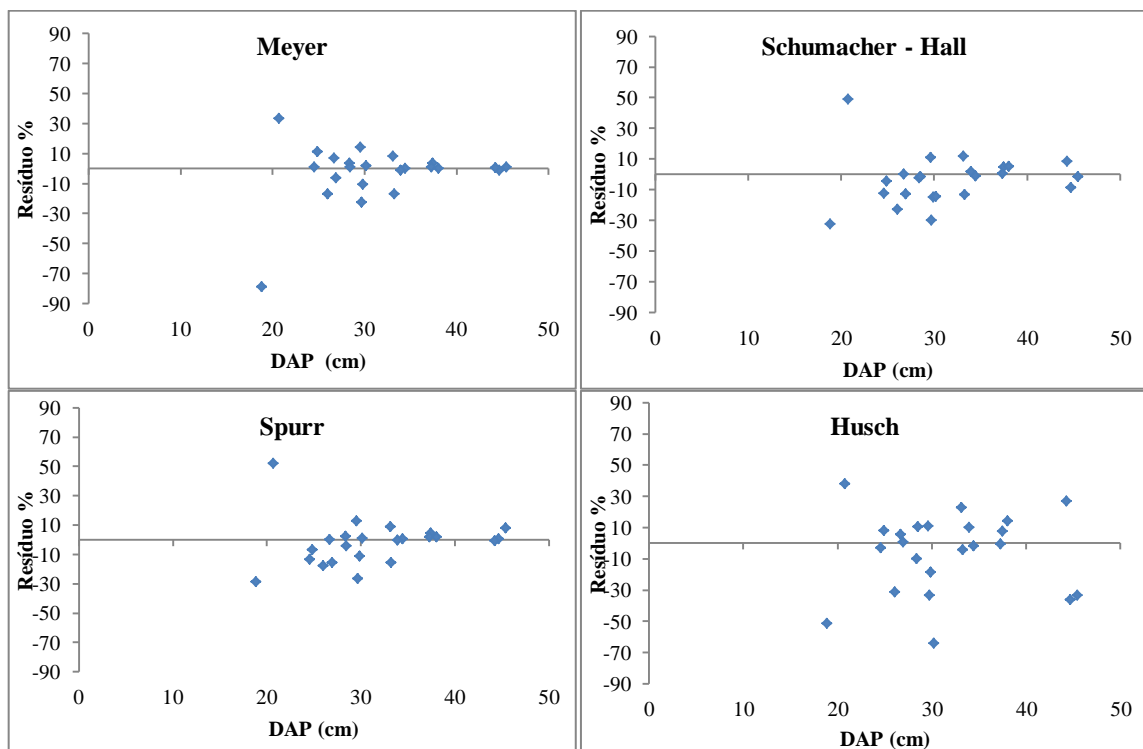


Figura 48. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume fuste principal (sem casca) para as árvores de *Pinus taeda* com danos do tipo anelamento (grupo II).

APÊNDICE 7. Coeficientes e estatísticas para os modelos testados para estimar volume total com casca para as árvores de *Pinus taeda* que sofreram danos do tipo janelamento e anelamento (grupo III).

Modelos	Coeficientes	R^2_{aj}	S_{yx} (m ³)	S_{yx} %
Schumacher –Hall	$b_0 = -7,762486$ $b_1 = 1,851339$ $b_2 = 0,397423$	0,9056	0,1268	13,74
Meyer	$b_0 = 1,112429$ $b_1 = -0,049863$ $b_2 = 0,000953$ $b_3 = 0,006671$ $b_4 = -6,51184E-05$ $b_5 = -0,128269$	0,9029	0,1286	13,94
Spurr	$b_0 = 0,307179$ $b_1 = 3,75247E-05$	0,7987	0,1851	20,07
Husch	$b_0 = -7,158120$ $b_1 = 1,980958$	0,7382	0,2111	22,89

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} % = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

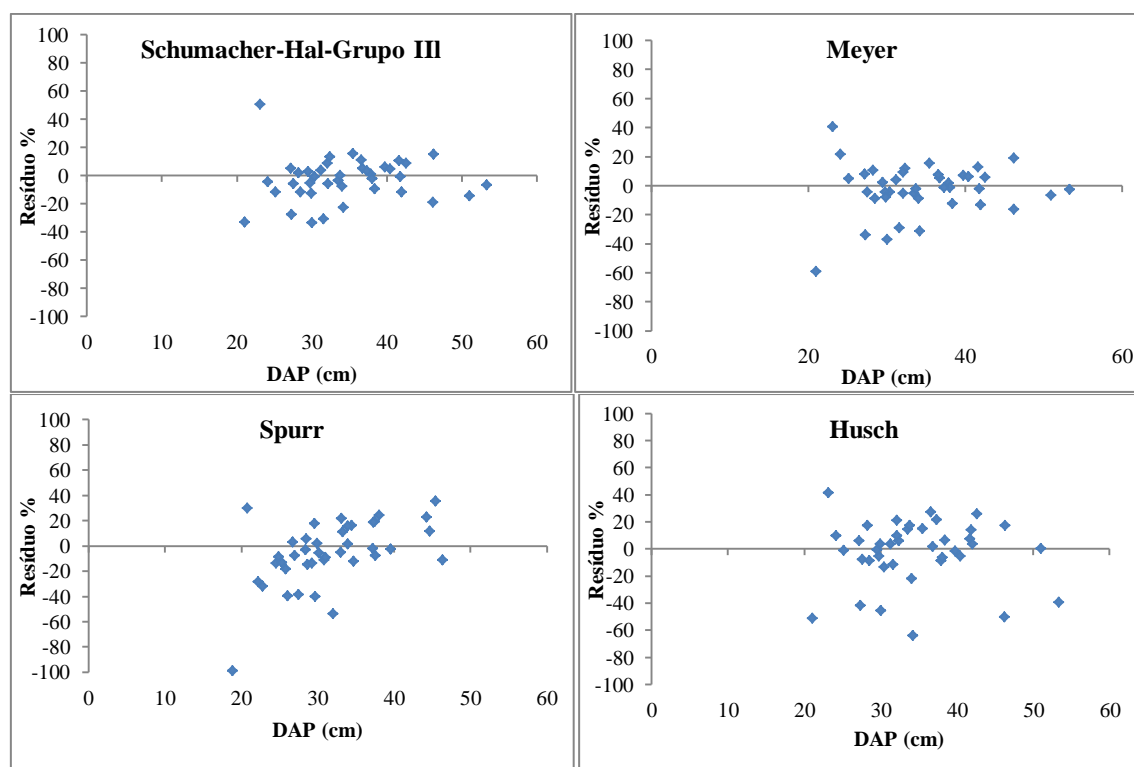


Figura 49. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (com casca) para as árvores de *Pinus taeda* com danos do tipo anelamento (volume do fuste) e janelamento juntos.

APÊNDICE 8. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para estimar volume **sem casca** para as árvores de *Pinus taeda* que sofreram danos do tipo janelamento e anelamento (volume do fuste principal) juntos (grupo III).

Modelos	Coeficientes	R^2_{aj}	S_{yx} (m ³)	S_{yx} %
Meyer	$b_0=0,520257$	0,8976	0,1204	14,95
	$b_1=-0,020260$			
	$b_2=0,000541$			
	$b_3=0,003899$			
	$b_4=-0,000030$			
Schumacher-Hall	$b_0=-8,143682$	0,8919	0,1237	15,36
	$b_1=1,917689$			
	$b_2=0,403900$			
Spurr	$b_0=0,246096$	0,8001	0,1683	20,89
	$b_1=0,000028$			
Husch	$b_0=-7,594535$	0,7356	0,1936	24,03
	$b_1=2,064387$			

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} % = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

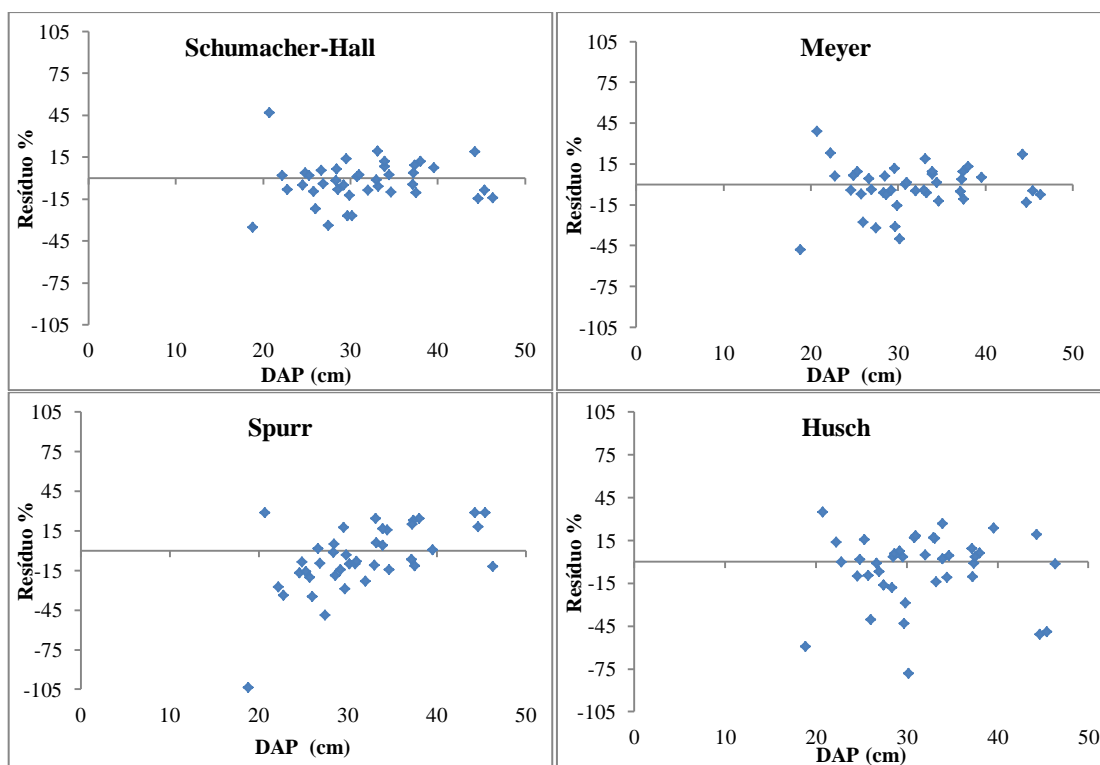


Figura 50. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (sem casca) para as árvores de *Pinus taeda* com danos do tipo anelamento (volume do fuste) e janelamento juntos (grupo III).

APÊNDICE 9. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para estimar volume **com casca** do fuste e brotações para as árvores de *Pinus taeda* que sofreram danos do tipo janelamento e anelamento (grupo IV).

Modelos	Coefficientes	R ² _{aj}	S _{yx} (m ³)	S _{yx} %
Meyer	$b_0=1,699694$ $b_1=-0,094707$ $b_2=0,002023$ $b_3=0,009314$ $b_4=-0,000120$ $b_5=-0,168080$	0,9132	0,1373	13,51
Schumacher-Hall	$b_0=-7,775400$ $b_1=2,128652$ $b_2=0,071357$	0,9002	0,1472	14,49
Husch	$b_0=-7,666885$ $b_1=2,151925$	0,89326	0,1523	14,98
Spurr	$b_0=0,442430$ $b_1=2,93222E-05$	0,5412	0,3157	31,06

Em que: R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão de estimativa; bis= coeficientes estimados.

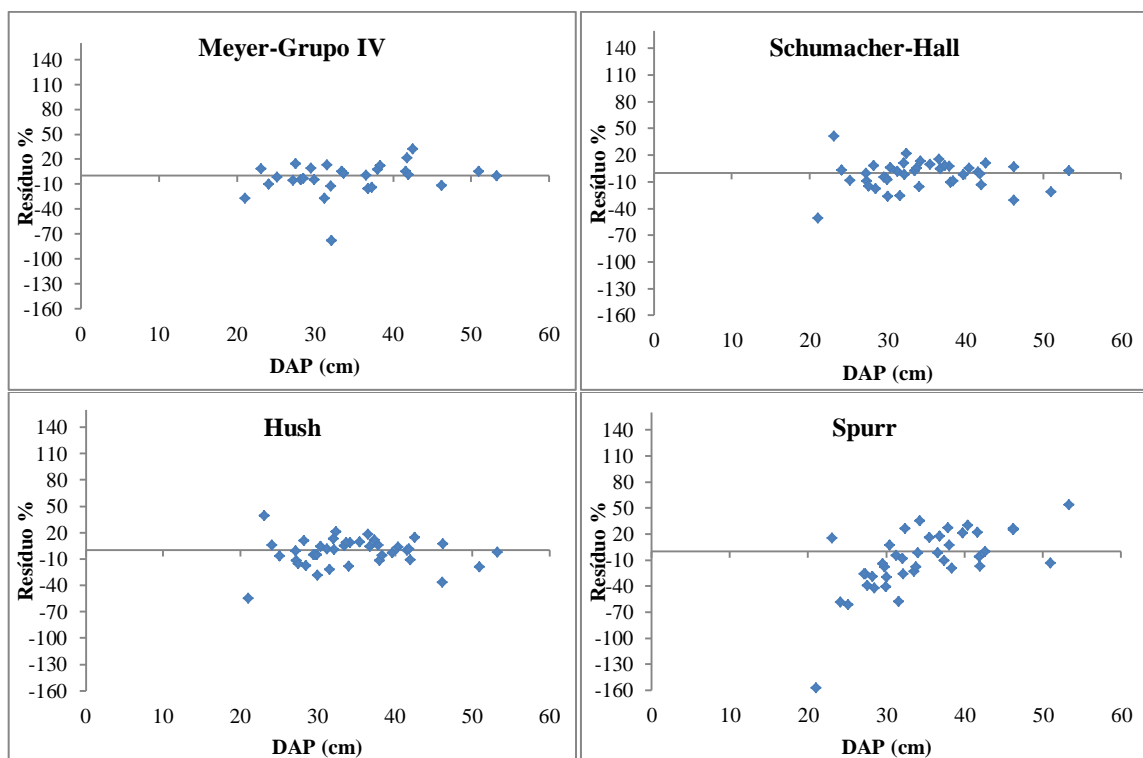


Figura 51. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total com casca para as árvores de *Pinus taeda* com danos do tipo janelamento (volume do fuste e brotações) e janelamento (grupo IV).

APÊNDICE 10. Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para estimar volume **sem casca** para as árvores de *P. taeda* que sofreram danos do tipo janelamento e anelamento (volume com brotações) juntos (grupo IV).

Modelos	Coeficientes	R^2_{aj}	S_{yx} (m ³)	S_{yx} %
Meyer	$b_0=1,219125$	0,9159	0,1222	13,80
	$b_1=-0,070820$			
	$b_2=0,001634$			
	$b_3=0,006633$			
	$b_4=-0,000085$			
Schumacher –Hall	$b_0=-8,21186$	0,9088	0,1272	14,37
	$b_1=2,195326$			
Husch	$b_2=0,093042$			
	$b_0=-8,070378$	0,8994	0,1336	15,09
Spurr	$b_1=2,225671$			
	$b_0=0,360590$	0,5549	0,2812	31,74
	$b_1=0,000026$			

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} % = erro padrão de estimativa; b_{is} = coeficientes estimados.

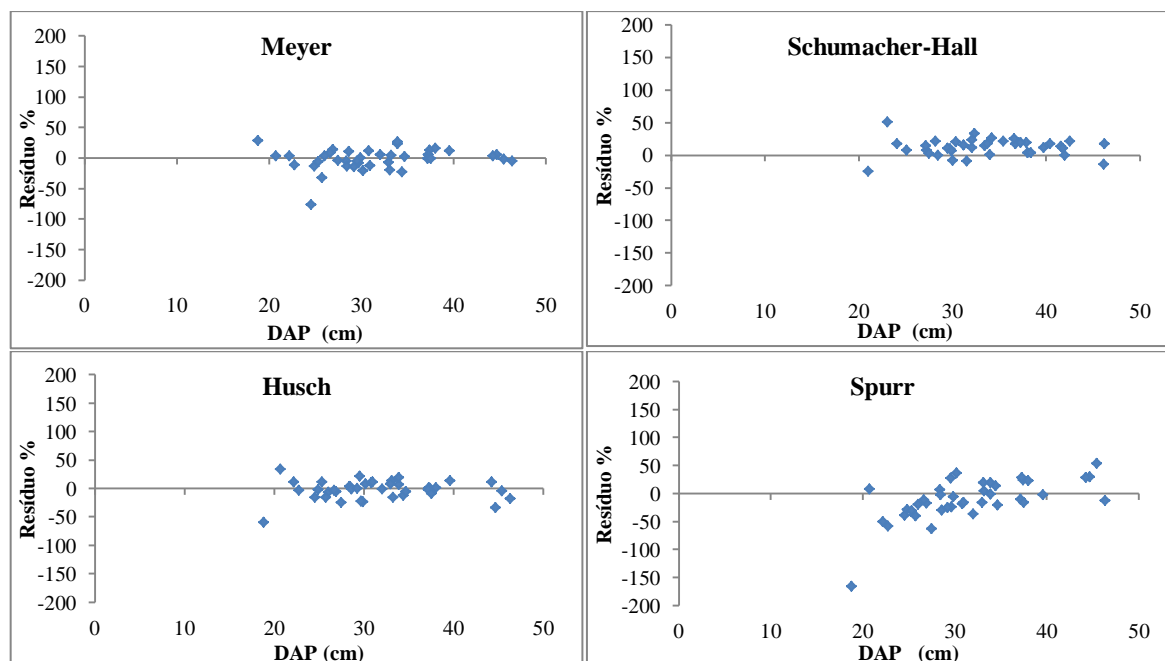


Figura 52. Distribuição gráfica de resíduos dos modelos ajustados para estimar o volume total (sem casca) para as árvores de *Pinus taeda* com danos do tipo anelamento (volume do fuste e brotações) e janelamento juntos.