

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE/UNICENTRO

**PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE PLANTIOS
DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE
SANTA CATARINA, BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RICARDO MURILO MALHEIROS DOS SANTOS

IRATI, PR

2015

RICARDO MURILO MALHEIROS DOS SANTOS

**PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE PLANTIOS
DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO OESTE DE SANTA CATARINA,
BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, área de atuação em Manejo Florestal, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Orientador

Prof^a Dr^a. Andrea Nogueira Dias

Coorientadora

Prof. Dr. Edison Rogério Perrando

Coorientador

IRATI – PR

2015

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

S237p	<p>SANTOS, Ricardo Murilo Malheiros dos. Planejamento e otimização de plantios de <i>Pinus taeda</i> L. na região oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil / Ricardo Murilo Malheiros dos Santos. – Irati, PR : [s.n], 2015. 96f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce Coorientadora: Prof^a Dr^a. Andrea Nogueira Dias Coorientador: Prof. Dr. Edison Perrando Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Área de atuação em Manejo Florestal. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná.</p> <p>1. Dissertação – Engenharia Florestal. 2. ADAMI S.A. 3. Funções de afiletamento. 4. Índices de sítio. I. Arce, Julio Eduardo. II. Dias, Andrea Nogueira. III. Perrando, Edison. IV. UNICENTRO. V. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 20 ed. 585.2</p>
-------	--

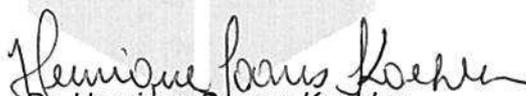
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

Defesa Nº 83

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir o mestrando **Ricardo Murilo Malheiros dos Santos** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL**", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 26 de agosto de 2015.



Dr. Henrique Soares Koehler
Universidade Federal do Paraná
Primeiro Examinador



Dr^a. Fabiane Aparecida Rejslaiff Guimarães
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Segunda Examinadora



Dr. Julio Eduardo Arce
Universidade Federal do Paraná
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Aos meus pais e aos meus professores,

dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo entusiasmo de viver e a força espiritual que me ajudou para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha família, em nome dos meus pais, Arno e Vera Lúcia, meu irmão Pedro Malheiros, meus avós maternos, Ricardo Severo Malheiros e Diva Nelly e avós paternos, vô Sebastião (*in memoriam*) e vó Alaides, pela força financeira e principalmente o amor que me transmitem e que não tem preço.

Meu pai, Arno Malheiros, que com seu vasto intelecto revisou e deu dicas valiosas para confecção desse trabalho.

Agradeço a minha namorada Ana Laura Carneiro, do fundo do meu coração, pelo companheirismo, amor e apoio em todos os momentos durante o período do mestrado. Agradeço também a minha sogra, Silvia Carneiro, pelos conselhos e por suprir a falta que fiz devido a distância em que me encontrava junto a Ana.

Aos meus amigos, velhos e novos, que foram fundamentais neste período, com histórias que ficam para o resto da vida e que espero ajuda-los tanto quanto me foi ajudado. Diego Oro, Marcelo Roveda, Mário Rodolfo Boff Burgin e sua noiva Cíntia Costa, João Paulo de Lara e os amigos que agregamos na república do IAP, Marcos Leandro Garcia, Marçal Akira, Silvio Carolo, Cristian Reinnelli e todos os demais colegas do meu ano de Mestrado, aos amigos Saulo, Lygia que são meus “veteranos” que graças a eles tornaram rápida a adaptação em Irati.

Agradeço aos amigos Edson Luis Serpe e Tiago Digner, pelo apoio e a amizade construída neste período que perdurará por muitos anos.

Aos professores, Dr. Afonso Figueiredo-Filho, Dr^a. Andrea Nogueira Dias, Dr. Julio Eduardo Arce e Dr. Edison Perrando, que me orientaram neste trabalho, meu profundo agradecimento. Além dos demais professores e funcionários do programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da UNICENTRO.

Agradeço à OpTimber Otimização e Informática Ltda , em nome do Prof. Julio Eduardo Arce e Edgar, desenvolvedores do software OpTimber-LP, que conta interface acessível e que permite que, mesmo com conhecimento incipiente de programação linear, é possível manusear e gerar cenários de planejamento florestal, uma vez que os comandos contam com uma linguagem voltada aos profissionais da área florestal, em especial ao planejamento.

Ao Prof. Edison Rogério Perrando, que além de me apresentar à empresa ADAMI, sempre foi um verdadeiro amigo, com conselhos valiosos e fundamentais para chegar até aqui. Agradeço também o Sr. Sérgio, Vlademir Marttarello e Bruno Conte, engenheiros florestais da empresa ADAMI S/A, que me concederam os dados e confiaram na minha pessoa para realizar esta pesquisa.

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudos e todos aqueles que de certa forma foram presentes neste período de Mestrado e fazem parte deste trabalho.

Sumário

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivos específicos	4
3. REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1 <i>Pinus taeda</i> L.	5
3.1.1 <i>Pinus taeda</i> no Estado de Santa Catarina, Brasil	6
3.2 Manejo florestal	7
3.2.1 Regimes de manejo	8
3.2.2 Modelos de crescimento e produção	10
3.2.3 Simuladores florestais	12
3.3 Pesquisa operacional	12
3.3.1 Programação linear	12
4. ÁREA DE ESTUDO	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO I	23
CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS PARA FLORESTAS DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL	23
1. INTRODUÇÃO	24
2. MATERIAL E MÉTODOS	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.1 Ajuste dos modelos de curvas de índice de sítio	30
3.2 Testes de identidade	34
3.2.1. Teste de Regazzi (2003)	34
3.2.2 Teste T_n	35
3.3 Construção das curvas de índice de sítio	37
3.4 Teste de anamorfismo das curvas	40
3.5 Aplicabilidade da classificação de sítio	41
4. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CAPÍTULO II	45
MODELOS DE VOLUME E AFILAMENTO PARA FLORESTAS DE	45
<i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL	45
1. INTRODUÇÃO	46

2. MATERIALE MÉTODOS	48
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.1 Ajuste dos modelos considerando o conjunto total de dados	51
3.2 Ajuste dos modelos considerando a estratificação em Blocos	54
3.3 Ajuste dos modelos em classes de idade para o Bloco A	56
3.4 Ajuste dos modelos em classes de idade para o Bloco B	60
3.5 Comparação dos ajustes	63
4. CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
CAPÍTULO III	67
PLANEJAMENTO E REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE PLANTIOS DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL	67
1. INTRODUÇÃO	68
2. MATERIAL E MÉTODOS	70
2.1 Localização e características dos plantios	70
2.2 Software OpTimber-LP	71
2.2.1. Banco de dados.....	74
2.3. Regimes de Manejo	77
2.4. Otimização	78
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
3.1 Produção	79
3.2 Manejo	81
3.3 Tarefa	83
3.5 Análise econômica	86
4. CONCLUSÃO	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
5. CONCLUSÃO GERAL	89
APÊNDICE A	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Regimes de manejo florestal adotados por empresas de Santa Catarina e Paraná.	9
Tabela 2. Cidades de abrangência de plantios florestais da ADAMI S/A Madeiras.....	16
Tabela 3. Modelos testados para a construção das curvas de índice de sítio ajustados para plantios de <i>Pinus taeda</i> da região Oeste de Santa Catarina.....	27
Tabela 4. Estimativas dos coeficientes dos modelos testados para índices de sítio para <i>Pinus taeda</i> na região Oeste de Santa Catarina, Brasil.....	30
Tabela 5. Resultados do teste de identidade proposto por Regazzi (2003) para o ajuste do modelo de Prodan para florestas de <i>Pinus taeda</i> da região Oeste de Santa Catarina.	35
Tabela 6 . Resultado do teste estatístico de Dette e Neumeier (2001) (TN) e respectivos <i>p-valores</i> nas diferentes situações.	36
Tabela 7. Limites de classes de sítio para o Bloco A e Bloco B.	39
Tabela 8. Modelos de volume.	50
Tabela 9. Função de afilamento.	50
Tabela 10. Coeficientes e estatísticas para os modelos de volume considerando todo o conjunto de dados para plantios de <i>Pinus taeda</i> no Oeste de Santa Catarina.	51
Tabela 11. Coeficientes e estatísticas para a função de afilamento considerando todo o conjunto de dados para plantios de <i>Pinus taeda</i> no Oeste de Santa Catarina.....	51
Tabela 12. Coeficientes e estatísticas considerando duas regiões, Bloco A e Bloco B, para florestas de <i>Pinus taeda</i> da região do Oeste de Santa Catarina.....	55
Tabela 13. Coeficientes e estatísticas por classe de idade para o Bloco A de florestas de <i>Pinus taeda</i> da região do Oeste de Santa Catarina.....	58
Tabela 14. Coeficientes e estatísticas por classe de idade para o Bloco B de florestas de <i>Pinus taeda</i> da região do Oeste de Santa Catarina.....	61
Tabela 15. Médias dos erros de estimativa em porcentagem para os modelos de volume e afilamento.	63
Tabela 16. Tabela de <i>input</i> para o programa OpTimber-LP, com as variáveis necessárias ao planejamento.	74
Tabela 17. Sortimento e preços praticados para florestas de <i>Pinus taeda</i> na região Oeste de Santa Catarina, Brasil.....	75
Tabela 18. Custos da produção de <i>Pinus taeda</i> na região Oeste de Santa Catarina, Brasil.	76
Tabela 19. Regimes de manejo aplicados às situações dos plantios.	77
Tabela 20. Aspectos econômicos dos resultados do planejamento.	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Polos produtores de madeira do Estado de Santa Catarina, Brasil.	7
Figura 2. Localização das Fazendas da empresa ADAMI S/A e respectivos municípios de abrangência na região do Oeste de Santa Catarina.	15
Figura 3. Tipos de solo na abrangência das florestas de <i>Pinus taeda</i> da região Oeste de Santa Catarina.	17
Figura 4. Distribuição de áreas em função da idade de plantio dos povoamento na empresa.	19
Figura 5. Localização espacial dos plantios florestais de <i>Pinus taeda</i>	26
Figura 6. Dispersão de resíduos para os modelos de curvas de sítio ajustados para o conjunto total de dados.	32
Figura 7. Dispersão dos resíduos para o Bloco A (esquerda) e Bloco B (direita).	33
Figura 8. Densidade probabilística do teste T_n aplicado a situações de estratificação dos dados.	36
Figura 9. Curvas ajustadas pelo modelo de Prodan para os Blocos A e B de florestas de <i>Pinus taeda</i> na região Oeste de Santa Catarina.	38
Figura 10. Teste de anamorfismo do modelo de Prodan em quatro idades para o Bloco A.	40
Figura 11. Teste de anamorfismo do modelo de Prodan em quatro idades para o Bloco B.	41
Figura 12. Distribuição de áreas dos projetos do cadastro florestal classificados conforme as tabelas de limites de índices de sítio.	42
Figura 13. Área total para classificação de sítio por Bloco considerando áreas próprias e arrendadas.	42
Figura 14 - Localização dos maciços florestais estudados de <i>Pinus taeda</i> . À esquerda o Bloco Chapecozinho (A) e à direita o Bloco Cachoeira (B).	48
Figura 15. Organograma da estratificação dos dados de cubagem para a modelagem de volume e afilamento para <i>Pinus taeda</i> na região Oeste de Santa Catarina.	49
Figura 16. Distribuição de resíduos dos modelos de volume de Schumacher-Hall e Spurr, para plantios de <i>Pinus taeda</i> na região Oeste de Santa Catarina.	53
Figura 17. Distribuição de resíduos da função de afilamento do polinômio de quinto grau para plantios de <i>Pinus taeda</i> na região Oeste de Santa Catarina.	53
Figura 18. Dispersão dos resíduos por Bloco para os modelos de volume de Schumacher-Hall e Spurr e função de Afilamento do polinômio de quinto grau para florestas de <i>Pinus taeda</i> da região do Oeste de Santa Catarina.	56
Figura 19. Dispersão dos resíduos para o Bloco Chapecozinho (A) para o modelo volumétrico de Shumacher-Hall e função de afilamento do Polinômio do Quinto Grau por classe de idade para florestas de <i>Pinus taeda</i> da região Oeste de Santa Catarina.	59

Figura 20. Dispersão dos resíduos para o Bloco Cachoeira (B) para o modelo volumétrico de Shumacher-Hall e função de afilamento do Polinômio do Quinto Grau por classe de idade para florestas de <i>Pinus taeda</i> da região Oeste de Santa Catarina.....	62
Figura 21. Mapa de localização dos plantios de <i>Pinus taeda</i>	70
Figura 22. Número de desbastes realizados até o ano de 2015.....	71
Figura 23. Tela do módulo trabalho do programa OpTimber.....	72
Figura 24. Tela do módulo Importação do programa OpTimber.....	72
Figura 25. Tela do módulo Tabela do programa OpTimber.....	73
Figura 26. Ambiente do programa OpTimber para seleção dos custos por tarefa.....	76
Figura 27. Ambiente do programa OpTimber para seleção de regimes de manejo.....	78
Figura 28. Produção para o horizonte de planejamento de vinte anos.....	79
Figura 29. Sortimento e porcentagem de sortimento por ano do horizonte de planejamento.....	80
Figura 30. Manejo praticado ao longo do horizonte de planejamento.....	81
Figura 31. Manejo aplicado para o Sítio I (S = 25, idade índice 15 anos).....	82
Figura 32. Manejo aplicado para o Sítio II (S = 21, idade índice 15 anos).....	82
Figura 33. Manejo aplicado para o Sítio III (S = 17, idade índice 15 anos).....	82
Figura 34. Tarefas por área no decorrer do horizonte de planejamento.....	83
Figura 35. Tarefa de plantio para cada ano do horizonte de planejamento.....	84
Figura 36. Tarefas de desbastes e cortes rasos em relação a área e produção por sortimento.....	85

RESUMO

Ricardo Murilo Malheiros dos Santos. Planejamento e otimização de plantios de *Pinus taeda* L. na região Oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil.

Este trabalho teve como objetivo realizar planejamento a longo prazo em áreas de plantios de *Pinus taeda*, com diferentes idades, na região Oeste do Estado de Santa Catarina, e, desta forma, regular a produção, atendendo demandas de consumo de madeira. Os dados provêm de plantios de *Pinus taeda* da empresa ADAMI S/A com sede na cidade de Caçador – SC. O trabalho foi dividido em três capítulos, sendo que no capítulo I foram elaboradas curvas de sítios para a classificação produtiva. Cinco modelos de sítios foram ajustados e modelo de Prodan foi selecionado. Além disso, testes de identidade demonstraram que curvas de sítios diferem para duas regiões estudadas, denominadas de Bloco Chapecozinho (A) e Bloco Cachoeria (B). Desta maneira, foram feitas duas tabelas de limites de classes de sítios, e assim classificaram-se os projetos pertencentes ao cadastro florestal da empresa quanto ao índice de sítio. No capítulo II foram avaliados modelos de afilamento e volume, os modelos foram ajustados das seguintes maneiras: (1) para o conjunto de dados de árvores cubadas, (2) estratificando os dados pelos Blocos Chapecozinho (A) e Cachoeria (B), e (3) dentro de cada Bloco os dados foram estratificados por classes de idade. Pela dispersão dos resíduos e análise do erro padrão de estimativa em porcentagem, a estratificação dos dados em classes de idade demonstrou-se melhor. No capítulo III foi realizado o planejamento em um horizonte de vinte anos para florestas de *Pinus taeda*, utilizando-se das variáveis avaliados nos capítulos anteriores e otimizando o VPL atendendo à restrição de produção mínima de 400.000 m³. O VPL total médio foi de 10.508,69 reais, sempre atendendo a restrição de produção mínima, porém com produção considerada elevada nos primeiros anos do horizonte de planejamento, de maneira que se pôde verificar a oferta de diferentes sortimentos por ano de planejamento, destacando-se os sortimentos das maiores classes de diâmetro de toras nos primeiros anos, e ao longo do horizonte do planejamento, na medida em que a floresta se regula, observou-se que os sortimentos SIII (16 – 23 cm) e SIV (8 – 16 cm) predominaram.

Palavras-chave: Planejamento, funções de afilamento, índices de sítio, *Pinus taeda*.

ABSTRACT

Ricardo Murilo Malheiros dos Santos. Planning and optimization of *Pinus taeda* L. plantations in the western region of the State of Santa Catarina, Brazil.

This study aimed to carry out long-term planning in areas of *Pinus taeda* plantations, with different ages, in the western region of the State of Santa Catarina, and in this way regulate the production, serving wood consumption demands. The data comes from *Pinus taeda* plantations of the company ADAMI S/A with headquarters in Caçador - SC. The work was divided into three chapters, in Chapter I sites curves were prepared for productive classification. Five models of sites were adjusted and Prodan model was selected. In addition, identity tests demonstrated that sites curves differ for the two regions studied, called Chapecozinho Block (A), and Cachoeira Block (B). Thus, two tables of limits of sites classes were made, and so the projects belonging to the forest register of the company regarding the site index were classified. In Chapter II models taper and volume were evaluated, the models were adjusted in the following ways: (1) to the data set of cubed trees, (2) stratifying the data by Chapecozinho Block (A) and Cachoeira Block (B), and (3) within each block the data were stratified by age classes. For the dispersion of waste and analyses of standard error of the estimate in percentage, the data stratification in age classes has demonstrated better itself. In Chapter III was carried out the planning in a horizon of twenty years for *Pinus taeda* forests, using the variables evaluated in the previous chapters and optimizing the NPV considering the minimum production restriction of 400,000 m³. The total average NPV was R\$ 10,508.69, always meeting the minimum production constraint, but with production considered high in the early years of the horizon of planning, so that it could verify the offer of different assortments by year of planning, highlighting the assortments of larger log diameter classes in the first year, and over the horizon of planning, in that the forest is regulated, it was observed that the assortments SIII (16-23 cm) and SIV (8 - 16 cm) predominated.

Keywords: Planning, taper functions, site index, *Pinus taeda*.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Embora haja consenso sobre o desenvolvimento do mercado florestal no Brasil, informações relevantes de interesse do setor ainda estão a merecer melhor estudo, sobretudo em condições de influenciar e potencializar este desenvolvimento.

O Jornal Gazeta do Povo (2015), em reportagem sobre o setor florestal, explana muito bem sobre a atual situação do mercado, e menciona o seguinte: “no momento em que a balança comercial do agronegócio acumula retração em seus principais produtos, carne e grãos, o setor florestal sustenta linha de crescimento. Diante da desvalorização do real perante o dólar, o segmento amplia a participação nas exportações e tenta recompensar a retração no mercado interno. O quadro dá margem para novos investimentos das indústrias mesmo diante de entraves como a alta dos custos de produção e a queda nos preços médios de venda”.

A matéria citada anteriormente, ainda traz o depoimento de um diretor florestal que relata que “diferentemente da agricultura, na silvicultura pode-se enxugar a oferta, reduzir custos, e a floresta continua crescendo. Assim é possível otimizar a operação quando o mercado está desfavorável”.

Com efeito, as estatísticas apontam crescimento e *superavit* econômico dos produtos florestais comercializados, porém a forma como se produz madeira para seus diversos fins sugere mais atenção, notadamente no que diz respeito ao planejamento estratégico, tributos, preços praticados e comércio.

O setor, assim como em qualquer outro segmento de negócio, reclama aportes financeiros importantes, com investimentos que podem ultrapassar a cifra de bilhões de reais, com a finalidade inequívoca, logicamente, de retorno financeiro. Logo, cuidados com planejamento, estratégia e, especialmente, domínio sobre todos os fatores que possam influenciar no negócio, incluindo o manejo florestal, devem pautar as tomadas de decisões.

É assim que as atividades desenvolvidas por uma empresa florestal precisam estar adequadamente organizadas, com ferramentas que auxiliem esse planejamento e garantam o controle de todas as ações que refletem no manejo dos plantios florestais, que além de amparar essas decisões, asseguram o suprimento de suas demandas.

É neste cenário, que estudos relacionados com o mercado florestal, com a influência do setor no Produto Interno Bruto (o chamado PIB Verde), com a legislação tributária a incidir sobre as atividades do Setor Florestal, assim como acerca do posicionamento do Setor Florestal Brasileiro no contexto do comércio internacional, a situação atual das florestas

plantadas brasileiras e as tendências a médio e longo prazo desta atividade, emergem indispensáveis ao empreendedor ou interessado neste segmento de negócio.

O manejo florestal e ordenamento da produção buscam o arranjo físico e controle dos processos para que a produção atenda as demandas do mercado e ainda garanta o sucesso do negócio, fundamentando-se, para tal, com ferramentas que permitam diagnósticos e prognose da produção.

Muitos trabalhos têm sido feitos em relação ao crescimento e produção de povoamentos florestais. São trabalhos importantes, que caracterizam determinada área e sua potencialidade para a espécie em questão, mas também explanam sobre a condição de manejo aplicado, contribuindo, desta forma, para a elaboração dos diversos cenários em face dos quais se orientará o empreendimento.

Indispensável ressaltar que o ordenamento florestal, em detrimento do manejo, não se sustenta. É preciso que o manejador tenha em mãos ferramentas que o ajudem a identificar, no espaço, como proceder com a distribuição da produção. Ferramentas de SIG (Sistemas de Informações Geodésicas) já são utilizadas com sucesso, o que comprova que a espacialização da produção é possível.

O longo horizonte de planejamento dos projetos florestais traz situações de riscos de mercado e pode não conter projeções futuras de demanda. Portanto, a tomada de decisão sobre aquele que é o melhor regime de manejo ainda depende de uma segura observação sobre preços, mercado internacional, demandas futuras, e taxa de desconto, fatores estes que podem variar ao longo dos anos.

Desta maneira, a atratividade do negócio pode mudar, positivamente ou negativamente, e, portanto, os cenários hoje projetados precisam atender e entender as possíveis oscilações mercadológicas.

Hoje, com a utilização de programas otimizadores, é possível gerar diversos cenários de regimes de manejo em detrimento de um único manejo em maciço florestal. Isto garante melhor aproveitamento da produção e possibilita um planejamento adequado para diferentes sítios, condições de mercado e atenda as demandas do negócio, garantindo, desta forma, a lucratividade dos projetos.

Neste cenário, o presente trabalho compreende três capítulos, sendo o primeiro capítulo constituído pelo estudo de classificação de sítio e o segundo capítulo pela modelagem de funções de volume e afilamento. Estes primeiros capítulos são ferramentas importantes, além de serem *input* para a análise do planejamento e regulação florestal otimizada, alvo do

terceiro capítulo, feito por meio de um cadastro florestal de plantios de *Pinus taeda* no Oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar o planejamento, em longo prazo, em áreas de plantios de *Pinus taeda* na região Oeste de Santa Catarina com diferentes idades, e, desta forma, regular a produção que será direcionada ao atendimento de demandas de consumo de madeira.

2.1 Objetivos específicos

Capítulo I:

- Construir curvas de índices de sítio e tabela de limites para altura dominante para os Blocos Chapecozinho (A) e Cachoeira (B);
- Comparar as curvas médias de sítio dos Blocos para verificar a necessidade de estratificação por região em detrimento da utilização de um índice de sítio e Tabela de alturas dominantes para o conjunto total de dados.

Capítulo II:

- Ajustar modelos de volume e afilamento com o conjunto total de dados de árvores cubadas;
- Ajustar modelos de volume e afilamento com os dados de árvores cubadas separadamente para os Blocos Chapecozinho (A) e Cachoeira (B);
- Modelar por classe de idade para os Blocos Chapecozinho (A) e Cachoeira (B), a fim de verificar melhores estimativas pela estratificação dos dados;

Capítulo III:

- Regular a floresta por meio da programação linear, visando à otimização do Valor Presente Líquido (VPL) no planejamento em longo prazo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *Pinus taeda* L.

Pinus taeda L. é originário do Sul e Sudeste dos Estados Unidos, no Brasil foi introduzido na década de 30 (SHIMIZU, 2008).

Nos períodos de 1955 a 1964, estabeleceram-se grandes programas de reflorestamento, baseados quase que exclusivamente em *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, sendo que o Serviço Florestal do Estado de São Paulo fomentou o plantio em grandes áreas neste Estado (FUNDAJ, 2013).

Já na segunda metade da década de sessenta, período marcado economicamente por incentivos fiscais, o reflorestamento com espécies do gênero *Pinus* foram intensificados, ocorrendo também nos Estados do Sul do Brasil, muito em função da adaptabilidade das espécies introduzidas, que lograram sucesso e encontram-se hoje aplicadas em larga escala comercial (EMBRAPA-CNPF, 1988).

Shimizu (2008) cita algumas características que enaltecem o plantio de *Pinus taeda*, dentre elas a cor clara da madeira (variando de branca a amarelada), sendo a madeira de fibra longa, apropriada para fabricação de papel de alta resistência para embalagens, papel de imprensa e outros tipos de papéis. Além disso, apresenta rusticidade e tolerância, possibilitando o plantio em solos marginais para a agricultura, valorizando assim a terra imprópria para a agricultura convencional. Este autor ainda enfatizou o bom desenvolvimento em ambientes degradados e a contribuição da espécie para a redução por absorção dos índices de carbono da atmosfera.

Pinus taeda é considerado de baixa exigência nutricional, sendo que na região Sul do Brasil, apresenta crescimento rápido e alta produtividade, mesmo sem o uso de insumos (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000).

As condições de adaptação do *Pinus* aos solos ligeiramente ácidos, que constituem a grande maioria dos solos do país, permitiram a implantação de extensas áreas que, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, tornam as espécies do gênero importantes fontes de matéria-prima, proveniente de florestas estabelecidas dentro de padrões de sustentabilidade (KRONKA et al., 2005).

Scolforo et al. (2001) revelam que no Sul Brasil, a exemplo da tendência mundial da época, instalaram-se indústrias objetivando a produção de madeira serrada de *Pinus* livre de

nós. Scolforo e Maestri (1997), ainda enfatizam que com a tecnologia desenvolvida para serrarias, há um aproveitamento de toras não podadas, dada a escassez de madeira desramada no mercado, e no seu processo industrial produzem painéis colados, “*clear blocks*”, “*finger joint*”, retirando-se os nós na sua manufatura e conseguindo, com isso, alto valor para tais produtos.

3.1.1 *Pinus taeda* no Estado de Santa Catarina, Brasil

Conforme FIESC (2013) o PIB do Estado de Santa Catarina é o sétimo brasileiro, registrando em 2010, R\$152,5 bilhões. O setor florestal é destaque no Estado, dentre eles o madeireiro, mobiliário e de celulose e papel.

De acordo com IBÁ (2015), o Estado de Santa Catarina apresenta 541.162 ha de florestas de *Pinus* spp., o que corresponde a 34,1% dos plantios deste gênero no Brasil.

Segundo a ACR - Associação Catarinense de Empresas Florestais (2014), que conta com 26 empresas associadas, a produção florestal do Estado conta com diversos tipos de produtos madeireiros ofertados.

Para se ter uma ideia da diversidade da produção e receita com madeira do gênero *Pinus*, a empresa alvo do estudo, em 2012 obteve um faturamento de R\$ 416,7 milhões, com uma produção de 219 milhões de m² de embalagens, 110.000 toneladas de papel, 30.000 m³ de molduras, 105 mil kits portas prontas, 68 mil portas avulsas e 236 mil toneladas de madeiras em bruto (FIESC, 2013).

Destacam-se as regiões Serrana, Norte Catarinense e Oeste Catarinense como os maiores polos produtores, conforme pode ser observado na Figura 1.

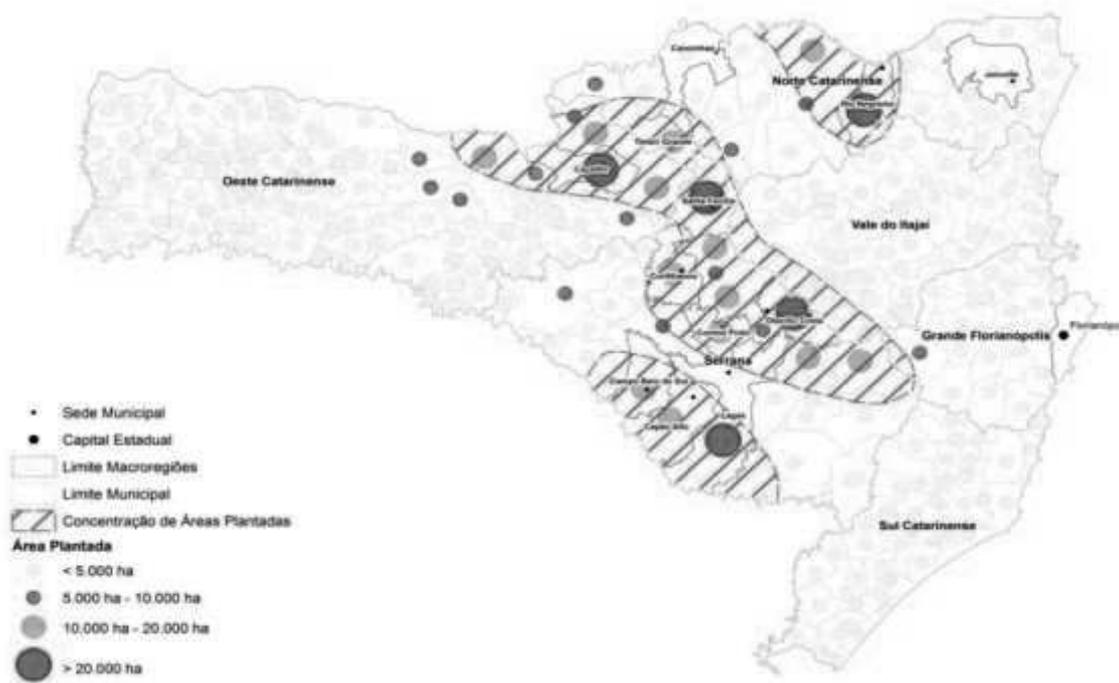


Figura 1. Polos produtores de madeira do Estado de Santa Catarina, Brasil.

Fonte: ACR, 2014 – elaborado por STCP

3.2 Manejo florestal

Na literatura diversos conceitos de manejo florestal podem ser encontrados. Richter (1963) apud Schneider (2002) descreve o termo como a organização ótima de uma propriedade florestal, pelo de planejamento e controle dos efeitos, a serem feitos periodicamente, com a intenção da preservação ou aumento duradouro da produção florestal.

Arce (2000) acede que o manejo florestal baseia-se em critérios inerentes a floresta, como densidade, incremento corrente e médio, valor econômico, etc., de modo que esta consideração é correta se o objetivo do manejo florestal for maximizar a produção ou valor econômico da floresta em pé. O autor enfatiza que de nada serve uma floresta produtiva bem manejada se a mesma estiver longe dos centros consumidores ou com dificuldades de acesso. Portanto, o manejo florestal deste tipo de florestas produtivas não pode nem deve desconsiderar o ciclo completo que a matéria-prima florestal percorre: plantio, crescimento, podas e/ou desbastes, corte final, transporte e industrialização.

3.2.1 Regimes de manejo

Uma vez que exista a intenção de se estabelecer um povoamento florestal, com uma determinada espécie, existirá a necessidade de se conceber (e praticar) um regime silvicultural apropriado (SMITH, 1986; EVANS, 1984 apud AHRENS, 1992).

O regime silvicultural, também denominado regime de manejo, deverá incluir pelo menos os seguintes componentes (CLUTTER, 1983; DAVIS e JOHNSON, 1987; BUONGIORNO e GILLESS, 1987 apud AHRENS, 1992):

- Espaçamento inicial (ou, de forma análoga, o número de mudas a plantar por unidade de área);
- Regime de desbaste;
- Regime de poda (necessário se houver interesse na produção de madeira livre de nós); e,
- Idade para rotação.

As empresas produtoras de madeira do gênero *Pinus* produzem, portanto, toras para laminação, serraria, celulose e energia e praticam diferentes regimes que atendem à demanda de mercado de acordo com suas estratégias e deste modo regimes *clear*, *utility* e *pulpwood* podem ser adotados.

Stall (2012) descreve cada regime acima citado (*clear*, *utility* e *pulpwood*) e verifica na literatura os procedimentos adotados para cada manejo, como a densidade, desbaste, podas e as épocas de intervenção silvicultura que diferem para cada propósito.

Para Socolforo (1997), a prioridade do regime *pulpwood* é a madeira de menor dimensão para uso em indústrias de papel e celulose e de painéis reconstituídos, de forma que este tipo de manejo não considera a adoção de desbastes. O autor descreve o regime *utility* como aquele que possibilita a obtenção de toras nas mais variadas bitolas, o que permite o atendimento de mercados variados. Este regime é o mais comum nas empresas florestais brasileiras, caracterizando-se pela realização de dois a três desbastes periódicos.

Conforme Maestri (1994) no regime de manejo *clearwood*, cujo objetivo é a produção de madeira de maiores dimensões e livres de nós, as técnicas mais adequadas envolvem a adoção de espaçamentos mais amplos e a realização de desbastes pré-comerciais. Esse sortimento de madeira, que possui maior valor agregado, é utilizado principalmente pela indústria de laminados e compensados.

Sanquetta et al. (2003) aludem que para uma mesma espécie e um mesmo sítio, a escolha do espaçamento inicial de plantio influenciará no número de tratos silviculturais a serem efetuados, na taxa de crescimento, no volume de madeira produzido, no sortimento, na taxa de mortalidade e dominância, no manejo e na colheita, nos custos de produção, dentre outros.

Scolforo e Machado (1996) citam que para o gênero *Pinus*, os desbastes têm sido uma das mais importantes alternativas silviculturais, influenciando no crescimento e produção das árvores, nas suas dimensões, vigor e qualidade e na regulação da densidade do povoamento. Segundo Gomes (1999), o manejo adequado da floresta para produção de madeira para diferentes usos torna-se, dentro desse contexto, fundamental para aumentar rentabilidade e reduzir riscos de projetos florestais.

Empresas de grande porte do ramo florestal, certificadas, costumam informar em Resumo Público a apresentação e localização da empresa além, das atividades sociais e econômicas em que atuam. Desta forma é relevante apresentar alguns resumos do manejo adotado por algumas empresas. A Tabela a seguir descreve os manejos realizados pelas empresas FRM (Florestal Rio Marombas), Florestal Gateados Ltda., ADAMI S/A e Remasa Reflorestadora S.A.

Tabela 1. Regimes de manejo florestal adotados por empresas de Santa Catarina e Paraná.

Empresa	Localização	Espaçamento	Desbastes		Podas	
			Idade (anos)	Remanescente (árv./ha)	Idade (anos)	Altura (m)
ADAMI	Caçador – SC	2,5 x 2,0 m (2000 árv./ha)	9	1000		
			12	500	2	1,5
			14	250	4	3,5
			18	0		
FRM	Ponte Alta do Norte – SC	2,5 x 2,5 m (1600 árv./ha)	8	930	1	
			11	533	2	n.i.*
			15	320	3	
			21	0		
Gateados	Campo Belo do Sul – SC	2,5 x 2,5 m (1600 árv./ha)	7		3	1,5
			11		4	2,8
			14	n.i.*	5	3,8
			19		6	4,8
			21		7	5,8
REMASA	Bituruna - PR	3 x 2 m (1667 árv./ha)	10	800	3,5	1,5
			15	400	4,5	2,5
			20	0	5,5	3,5

*n.i. – não informado no resumo público

Inúmeros estudos cujo objetivo é simular e avaliar economicamente regimes de manejo podem ser encontrados na literatura. Dentre estes, Scolforo et al. (2001), estudando *Pinus taeda* no município de Jaguariaíva- PR para obtenção de madeira livre de nós e multiprodutos, encontraram os seguintes resultados:

- Para as classes de sítio I e II e para os custos de produção e preços estipulados, recomenda-se plantio de 833 árvores/ha e com corte final aos 21 anos, após a realização de três desbastes: sendo o primeiro um pré-comercial seguido de desrama aos 4 anos, mantendo 500 árvores/ha, o segundo um comercial aos 12 anos, mantendo 400 árvores/ha e o terceiro um comercial aos 14 anos mantendo 100 árvores/ha.

- Para a classe de sítio III, a melhor opção foi a adoção de regimes de manejo com plantio de 1.111 árvores/ha e corte final aos 20 anos, após a realização de um desbaste pré-comercial seguido de desrama aos 4 anos, mantendo 500 árvores/ha e de um desbaste comercial aos 12 anos, mantendo 200 árvores/ha. A segunda desrama, para as três classes de sítio, foi realizada entre 7 e 8 anos de idade.

Arcebi Jr. et al. (2002) recomendam regimes de manejo com a realização de um desbaste pré-comercial aos 4 anos, seguido de dois desbastes comerciais aos 12 e 14 anos e corte final aos 20 ou 21 anos, com regime de desrama. Os autores ainda enfatizam o arrendamento de terras para plantar *Pinus taeda*, sugerindo uma opção lucrativa, contudo, para o estudo em questão, o plantio de *Pinus taeda* em terras próprias é mais lucrativo que o plantio em terras arrendadas. A densidade inicial de plantio ideal é de 833 árvores/ha, podendo-se também adotar 1.111 árvores/ha como alternativa.

3.2.2 Modelos de crescimento e produção

Clutter et al. (1983) classificaram os modelos de prognose da produção florestal em três tipos:

- (1) Sistema de produção explícita, em que, as soluções das equações (ou equação) fornecem estimativas do volume por unidade de área;

- (2) Sistemas de produção implícita, ou modelos de distribuição diamétrica, que fornecem informações mais detalhadas do povoamento;

- (3) Modelos de árvores individuais.

(1) Burkhart et al. (1981) descrevem os modelos em nível de povoamento como aqueles que estimam um valor agregado de volume do talhão por meio de variáveis em níveis de povoamento (idade, índice de sítio, área basal ou número de árvores), mas nenhuma informação de volume em classes de tamanho é fornecida.

O modelo de Clutter é um exemplo de modelo de povoamento total, tratando-se de um modelo linear que estima o volume a partir do inventário anterior, ou seja, é um modelo de projeção (MARTINS et al., 2009).

(2) Os modelos de distribuição de classe de diâmetro são modelos implícitos e estimam o número de árvores por hectare por classe de diâmetro nas idades presentes e futura. O emprego, a partir daí, de equação de volume, de afilamento (*taper*) ou de razão volumétrica, permite estimar a produção por classe volumétrica, sendo significativos para situações em que há interesse em multiprodutos da madeira (CAMPOS e LEITE, 2013).

Estes modelos utilizam funções de densidade de probabilidade (fdp), que permitem prever a ocorrência do número de árvores por classes de diâmetro e descrever a estrutura do povoamento (BURKHART et al., 1981), como as funções de Weibull, Sb Johnson, Gama e Beta.

Neste trabalho, o programa otimizador, utilizado no terceiro capítulo, utiliza o programa Sispinus, que por sua vez utiliza um modelo de distribuição diamétrica para a prognose da produção.

(3) Modelos de árvores individuais são sistemas de equações e procedimentos utilizados para estimar crescimento e produção de povoamentos, utilizando as árvores como unidades de modelagem (CAMPOS e LEITE, 2013).

Os modelos para árvores individuais podem ser classificados em independentes da distância e dependentes da distância (SCOLFORO, 1998). Modelos independentes da distância utilizam somente índices de competição não espaciais, baseados em funções de crescimento em diâmetro, altura e mortalidade, sem levar em conta a distância e o tamanho das vizinhas. Modelos dependentes da distância incluem índices de competição espaciais que incorporam o tamanho e a distribuição espacial dos competidores (WIMBERLY e BARE, 1996).

3.2.3 Simuladores florestais

Um simulador de crescimento e produção é um programa de computador, que por meio de um do modelo, vai prognosticar o desenvolvimento de um povoamento florestal, segundo um manejo realizado ou simulado (CAMPOS e LEITE, 2013).

Oliveira (1995) como título de sua tese de doutorado: “Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de *Pinus taeda* L., com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo” estabelece e avalia um simulador de produção e crescimento de *Pinus taeda*. Trata-se do SISPINUS, de forma que este simulador utiliza um modelo de distribuição por classe de diâmetro denominado modelo S_B e S_{BB} de Johnson.

3.3 Pesquisa operacional

Pesquisa operacional (P.O.) envolve o desenvolvimento de métodos científicos para analisar sistemas complexos e tomar decisões. O termo pesquisa operacional é uma tradução (brasileira) direta do termo em inglês *operational research*. Em Portugal foi traduzido para *investigação operacional* (ARENALES et al., 2007).

De acordo com estes autores o termo está atrelado ao surgimento do radar em 1934, e a segunda guerra mundial, onde técnicas de como poderia ser utilizado o radar para interceptar aviões inimigos, evoluindo para problemas como de manutenção e inspeção de aviões, escolha do tipo de avião para uma determinada missão e melhoria na probabilidade de destruição de submarinos, são algumas das utilizações da pesquisa operacional na época.

Segundo TAHA (1994), a P. O. aspira determinar o melhor curso de ação (ótimo) de um problema de decisão com restrição de recursos limitados. O termo Pesquisa Operacional está associado em geral, e quase exclusivamente, com a aplicação de técnicas matemáticas a problemas de decisão, representados e analisados por meio de modelos.

3.3.1 Programação linear

Schneider (2002) enfatiza que o planejamento, na prática, é definido como o processo de trabalho para alcançar um ou vários objetivos. Contendo o controle dos processos silviculturais aliados a preços e custos num horizonte de planejamento.

No gerenciamento florestal, a programação linear (P. L.) é principalmente útil na definição de quando, quanto e onde cortar; onde, quando e quanto reformar e que regime de manejo adotar em cada talhão, respeitando restrições operacionais e de recursos da empresa e, ao mesmo tempo, maximizando os retornos sobre os investimentos realizados (RODRIGUEZ e MOREIRA, 1989).

Com emprego de métodos de programação matemática tem-se tornado possível a avaliação de diversas variáveis de decisão ao mesmo tempo. Para isto, na formulação usual do modelo de programação linear, no modelo de otimização da produção de madeira, uma variável de entrada ou saída, tem sido tomada com valor da função objetivo e outra variável relevante tem sido empregadas como restrições (KILKKI, 1986).

Kirby (1978) cita que a aplicação de programação matemática em problemas de grande escala na área florestal apresenta cinco passos a serem seguidos quando da aplicação da programação linear: a) determinar se o problema pode ou não ser resolvido; b) se tiver solução, dar uma solução ótima; c) deduzir restrições de rendimento monetário, mão-de-obra disponível, tipos de atividades; d) maximizar um rendimento para uma dada receita ou prever um nível de produção especificado para um custo mínimo; e) prever uma receita, a qual inclua todos os custos dos vários projetos.

Arce (2012) menciona cinco pontos para abordagem sistêmica para análise de problemas: (1) enunciado, (2) formulação, (3) resolução, (4) interpretação e (5) relatórios. Estes elementos organizam o raciocínio, seguindo uma sequência de etapas que proporcionam, além da resolução do problema, a sua interpretação, já que a resolução é puramente matemática, finalizando com relatórios, onde o crivo técnico do profissional florestal é considerado.

Na solução de problemas utilizando os modelos de programação linear (P. L.) e programação inteira (P. I.) são usadas, basicamente, duas abordagens para a geração das alternativas de manejo, batizadas por Johnson e Scheurman (1977) como modelo I e modelo II. No modelo I, para cada unidade de manejo é gerado um conjunto de alternativas de manejo, e, uma vez dada a alternativa de manejo que tenha sido escolhida para dada unidade, esta permanecerá sobre tal intervenção durante o horizonte de planejamento considerado, o que permite maior identidade da unidade de manejo. Ao contrário, no modelo II regras de alocação (agrupamento e partição) de unidades de manejo quase sempre resultam na geração de menor número de alternativas de manejo para o mesmo problema, resultando, todavia, em perdas de identidades das unidades de manejo, em função das regras de alocação.

O Modelo I identifica áreas dentro de cada classe de idade que devem ser separadas em unidades de manejo, sendo estas preservadas durante de todo o horizonte de planejamento, independente de quando ocorrerá o corte de cada área. Por outro lado, o Modelo II, incorpora (une) unidades de corte uma vez que elas são cortadas no mesmo período. O Modelo II, também, em geral, requer mais restrições, bem como variáveis explícitas no final do horizonte de planejamento. O Modelo I usualmente requer mais variáveis de decisão que o Modelo II (SCHNEIDER, 2002).

A questão é identificar qual dos modelos faz mais sentido aplicar nas diferentes situações. A superioridade de qualquer um dos modelos irá depender da maneira como as florestas são administradas. E, o modelo escolhido deve refletir claramente esta estratégia organizacional dos cortes (SCHNEIDER, 2002).

Neste trabalho, no capítulo III que trata da otimização e regulação de plantios de *Pinus taeda*, a programação linear utilizada tem como base o modelo tipo I.

4. ÁREA DE ESTUDO

Os dados foram obtidos em povoamentos de *Pinus taeda* estabelecidos em áreas pertencentes à empresa ADAMI S/A Madeiras, localizada no município de Caçador, região Oeste do Estado de Santa Catarina, e fabricante de embalagens de papelão ondulado, portas e kits de porta pronta, molduras e painéis de madeiras, e venda de madeira sólida (FIESC, 2013), a empresa emprega cerca de 1.800 funcionários em suas unidades de produção.

Na Figura 2 observa-se a distribuição espacial dos plantios florestais de *Pinus taeda* em áreas da ADAMI S/A Madeiras.

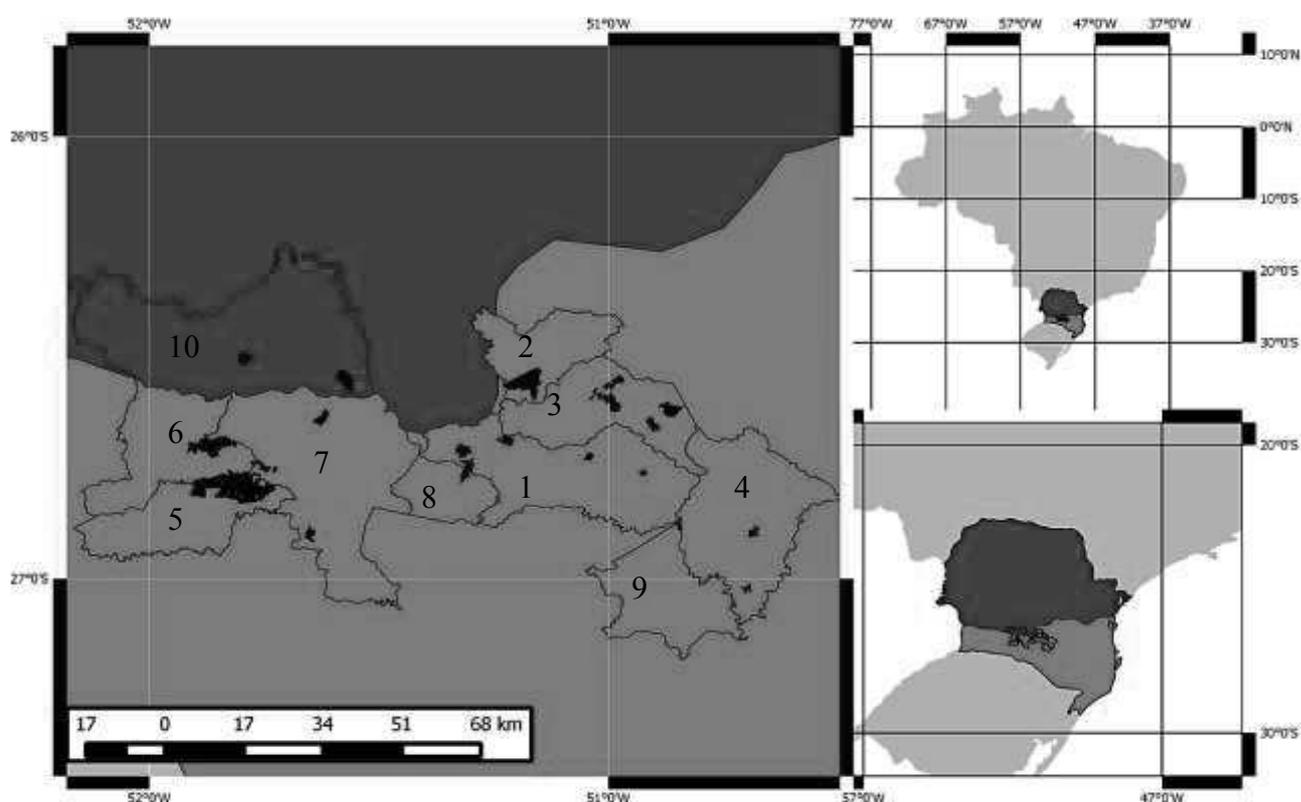


Figura 2. Localização das Fazendas da empresa ADAMI S/A e respectivos municípios de abrangência na região do Oeste de Santa Catarina.

As unidades florestais estão inseridas em diversos municípios vizinhos a Caçador-SC, inclusive no Estado do Paraná. As cidades de abrangência com relação aos plantios florestais da ADAMI S/A Madeiras, bem como as características climáticas e de altitude, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Cidades de abrangência de plantios florestais da ADAMI S/A Madeiras

Cidade	Altitude (m)	Precipitação anual (mm)	Temperatura média mínima (C°)	Temperatura média máxima (C°)
1. Caçador – SC	960	1.716	7,2	24
2. Matos Costa – SC	1.200	1.450	8,5	22
3. Calmon – SC	1.200	1.500	10	23
4. Lebon Régis – SC	1.220	1.600	10	24
5. Ponte Serrada – SC	1.100	1.930	9,0	23
6. Passos Maia – SC	800	1.800	10	24
7. Água Doce – SC	969	1.500	10	22
8. Macieira – SC	880	1.600	10	23
9. Fraiburgo – SC	1.109	1.600	11	24
10. Palmas – PR	1.100	1.900	7	26

A região onde as florestas da ADAMI se encontram ainda apresenta ocorrência de geadas. O tipo de solo da abrangência das florestas de *Pinus taeda* está classificado como Nitossolo, Cambissolo e Neossolo, todos com associação a outros tipos de solo (Figura 3).

Conforme o Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (2012) os municípios citados na Tabela 2 estão inseridos na região fisiográfica de Floresta Ombrófila Mista, e na cidade Água Doce-SC e Palmas-PR é observado regiões de Campos.

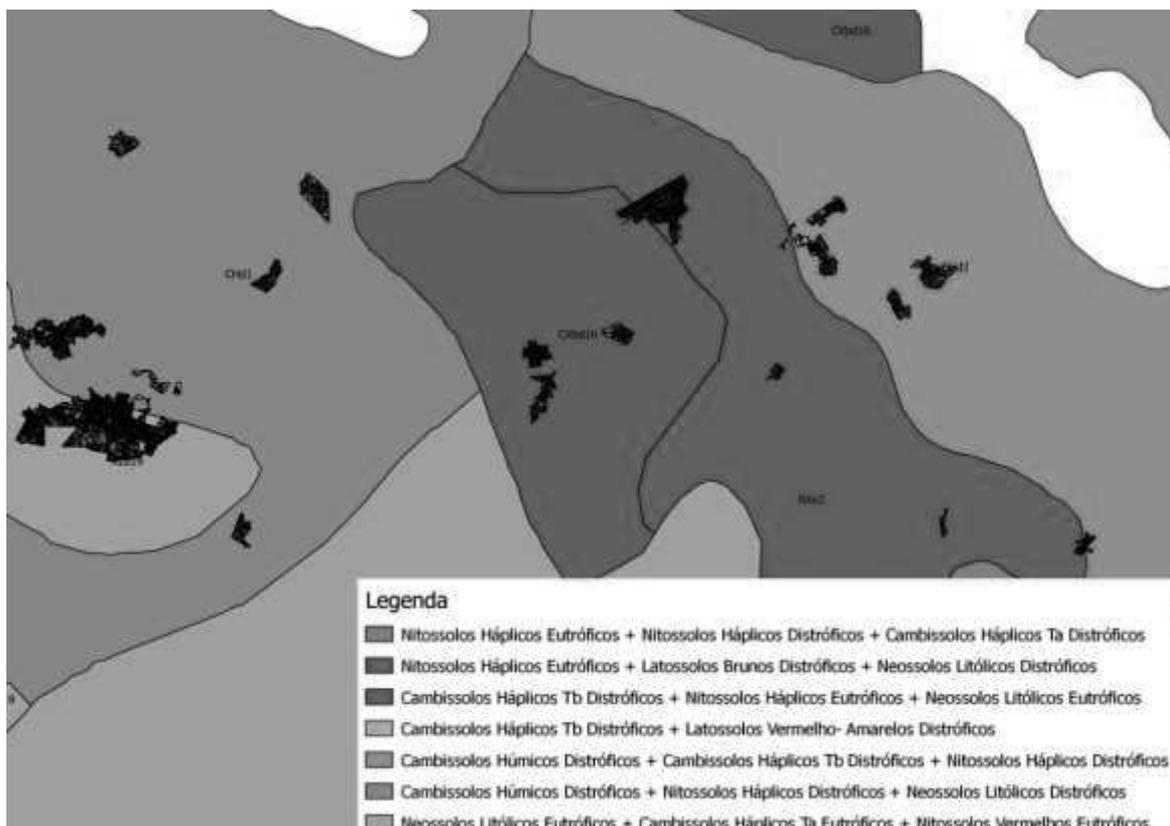


Figura 3. Tipos de solo na abrangência das florestas de *Pinus taeda* da região Oeste de Santa Catarina.

Fonte: IBGE (2014), elaborado pelo autor.

Os plantios atuais, e desde o ano de 2004, tem espaçamento de 2,5 m x 2,0 m, perfazendo 2.000 plantas por hectare. Nos plantios mais antigos o espaçamento era de 2,5 m x 2,5 m e, em algumas áreas, ainda existem árvores sob este regime silvicultural onde não houve corte raso.

Em áreas com espaçamento de 2,5 m x 2,0 m, o regime de manejo adotado pela empresa é de três desbastes e corte raso aos 18 anos, sendo:

- 1º desbaste: 50% - 1000 árvores remanescentes;
- 2º desbaste: 50% - 500 árvores remanescentes;
- 3º desbaste: 50% - 250 árvores remanescentes.
- Corte raso aos 18 anos.

Nos espaçamentos de 2,5 m x 2,5 m, que perfazem 1.600 árvores por hectare, a intensidade de desbaste é diferente:

- 1º desbaste: 50% - 800 árvores remanescentes;

- 2º desbaste: 40% - 480 árvores remanescentes;
- 3º desbaste: 40% - 288 árvores remanescentes;
- Corte raso aos 20 anos.

Os desbastes são planejados em função da área basal das árvores. Geralmente, quando a área basal atinge 45 m²/ha faz-se a primeira intervenção no povoamento.

O corte raso, além da idade, também leva em consideração o diâmetro médio das árvores remanescentes. Espera-se que o povoamento atinja um DAP médio individual de 40 cm para o corte raso.

Podas também são praticadas a fim de obterem-se produtos *clearwood*. A primeira poda é realizada em todas as árvores do povoamento, na idade de dois anos ou quando as plantas atingem entre 1,80 e 2,00 m de altura. Cortam-se os galhos de cada árvore até 50% de sua altura.

A segunda poda é realizada em todas as árvores, quando o povoamento atingir a idade de 3 a 4 anos. Cortam-se os galhos de cada árvore até 50%. Uma ou duas podas adicionais podem ser necessárias em certos povoamentos em decorrência do período do ano que foi realizada a primeira poda.

A altura final de poda, normalmente de 4,5 a 5 metros de altura no fuste, dará origem a duas toras de 2,40 m (conforme sortimentos da empresa) ou uma tora limpa e parte para ser transformada em *clear*.

A partir de 2013, passou-se a efetuar duas podas, sendo a primeira aos 3 anos, com objetivo de retirar aproximadamente 50% dos galhos, desde que atinja altura mínima de 1,3 m; e a segunda poda entre o quarto e quinto ano, da mesma forma, retirando 50 % dos galhos, objetivando uma altura mínima de 3m.

A área total plantada conta com 15.533,42 hectares. Destas, 4.367,2 hectares são de áreas arrendadas. Na Figura 4 observa-se a distribuição de áreas por idade dos povoamentos florestais considerando o ano de 2015.

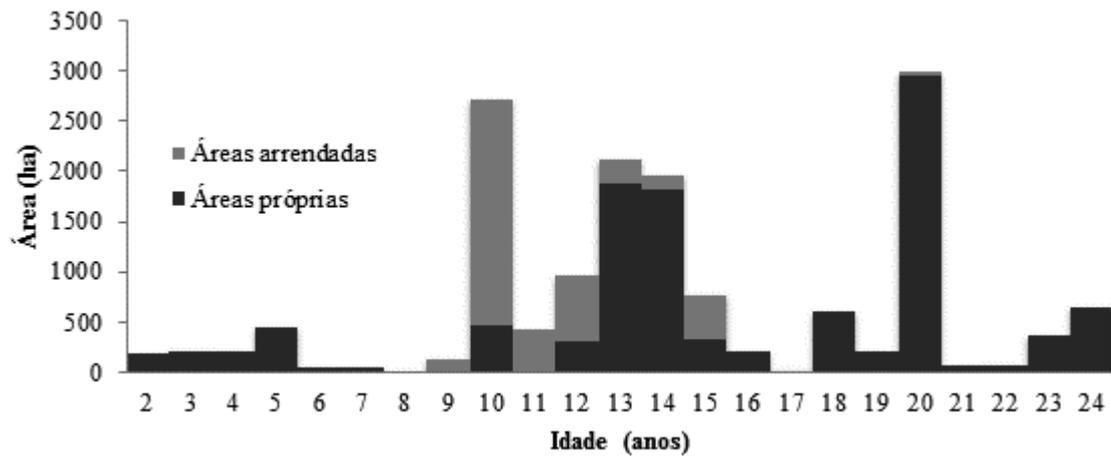


Figura 4. Distribuição de áreas em função da idade de plantio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACR. **Associação catarinense de empresas florestais**. Disponível em:<<http://www.acef.org.br/uploads/20140613104756.pdf>>. Acessado em 2014.

AHRENS, S. A. **Seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um modelo de programação dinâmica**. Tese de Doutorado. UFPR. Curitiba – PR, 1992.

ARCE, J. E. **Pesquisa operacional para fins florestais**. Apostila, disciplina de Pesquisa Operacional. UFPR, Curitiba - PR. 2012.

ARCE, J.E. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte**. Tese (doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias. UFPR – Curitiba, 2000.

ACERBI JR., F. W., SCOLFORO, J. R. S., OLIVEIRA, A. D., MAESTRI, R. Modelo para prognose do crescimento e da produção e análise econômica de regimes de manejo para *Pinus taeda* L. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.699-713, 2002

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional**. 4ª edição, coleção Campus-ABEPRO. Rio de Janeiro - RJ, Elsevier 2007.

BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for loblolly pine**. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1981. 59 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 4ª edição. Viçosa – MG. Ed UFV, 2013.

CLUTTER, J. C.; FORTSON, J. C.; PLENAAR, L. V.; BRISTER, G. H. e BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. 3. ed. New York: Jonh Willey, 333 p., 1983.

EMBRAPA-CNPQ. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Documentos, 21. Curitiba-PR.1988.

FIESC. **Santa Catarina em dados/Unidades de política econômica e industrial**. Florianópolis-SC. Publicação anual. 2013.

FUNDAJ. **A cultura do pinus: uma perspectiva e uma preocupação**. Disponível em:<<http://www.fundaj.gov.br>>. Acessado em Outubro de 2013.

GAZETA DO POVO. < <http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/agricultura/outras-culturas/setor-florestal-vira-o-jogo-com-reforco-na-producao-1abq7on4wom077x3p6pykww6r>> . Acessado em 25/08/2015.

GOMES, F.S; **A seleção de regimes de manejo mais rentáveis em *Pinus taeda* L., na produção de madeira para papel e celulose**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

IBÁ. **Indústria brasileira de árvores**. Elaboração do Relatório IBÁ 2015: Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios. São Paulo/SP. 2015.

JOHNSON, K. N., SCHEURMAN, H. L. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives - discussion and synthesis. **Forest Science**, v. 18, n. 1, p. 1-31, 1977.

IBGE. Instituto brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas**, temáticos, solos <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos.html>>. Acessado em 2014.

INVENTÁRIO FLORÍSTICO FLORESTAL DE SANTA CATARINA. **Diversidade e conservação dos remanescentes florestais**. Volume I. Blumenau/SC. 2012.

KILKKI, P. Long term timber production planning via utility maximisation. **Management Science**, v.21, p.285-295, 1986.

KIRBY, M. Large-scale budget application of mathematical programming in the forest Service. IN: **OPERATIONAL FOREST MANAGEMENT PLANNING METHODS**, Romênia, 18-24 junho. 1978. Anais...Berkeley, Pacific Southwest Range Exp. Stn. Forest Science, 1978. p.60-67.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R.H. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.

MAESTRI, R. **Manejo Florestal para obtenção de múltiplos produtos**. Trabalho apresentado na Semana do Meio Ambiente, 3: Produção e proteção – a busca do desenvolvimento sustentável, Lavras, 1994.

MARTINS, R.N.; OLIVEIRA, G. A. G. de; ARAÚJO, J. A. P. L. de; SIQUEIRA, J. TOMASELLI, I. DELESPINASSE, B.; RODRIGUES, R.; GORNISKI, D. **Plano de ação para o desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba**. Apostila do Curso Técnicas de Manejo Florestal: CODEVASF/STCP, 2009, 63 p.

OLIVEIRA, E. **Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de Pinus taeda L.com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. Tese de doutorado. UFPR, Curitiba – PR. 1995.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF. 2000.

RODRIGUEZ, L.C.E.; MOREIRA, R.M. Gerenciamento de florestas de eucalipto com modelos de programação linear. Série Técnica IPEF, v.6, n.19, p.1-15, 1989

SANQUETTA, C.R.; MORA, A.L.; BORSATO, R.; VIDAL, M.A.S.; PEIXOTO, A.M.; CHIARANDA, R. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos - II. *Pinus taeda* L. em Jaguariáiva – PR. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.1, p. 55-61, 2003.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal: Planejamento da produção florestal**. Santa Maria: UFMS, 2002.

SCOLFORO, J. R. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 463p.

SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO, S. A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Scientia Forestalis - IPEF**, Piracicaba, n.50, p. 51-64, 1996

SCOLFORO, J.R.S.; MAESTRI, R. O manejo de florestas plantadas. In: SCOLFORO, J.R.S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. Cap. 8. p. 313-379.

SCOLFORO, J. R. S.; JUNIOR, F. W. A.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R. Simulação e avaliação econômica de regimes de desbastes e desrama para obter madeira de *Pinus taeda* livre de nós. **Ciência Florestal**. Santa Maria - RS, v.11, n.1, p.121-139. 2001

SHIMIZU, J. Y. **Pínus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

STALL, D. **Avaliação econômica e análise de sensibilidade de regimes de manejo em florestas de *Pinus taeda* L. no Planalto Serrano de Santa Catarina**. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais). UFPR – Curitiba-PR, 2012.

TAHA, H. A., 1994. **Investigación de Operaciones**. 5a ed. Ed. Alfaomega, México. 960p.

WIMBERLY, M.C., BARE, B.B. Distance dependent and distance independent models of douglas-fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment. **Forest Ecology and Management**, v.89, p.1-11, 1996.

CAPÍTULO I

CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS PARA FLORESTAS DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL

1. INTRODUÇÃO

Entender tecnicamente o crescimento e a produção de uma floresta é fundamental ao profissional florestal. Contudo, os valores resultantes disso somente serão adequados quando atenderem premissas biológicas de crescimento e sejam estatisticamente confiáveis. Os resultados expressam estoque, tabelas de produção, sortimentos e, sobretudo, demonstram o desenvolvimento da floresta considerada.

Na tomada de decisão, o planejamento torna-se uma ferramenta importante. Além disso, pode-se então, comparar cenários, ou projetá-los em busca de soluções ótimas ao manejo florestal e rentabilidade do negócio.

Classificar os sítios de uma floresta plantada é importante do ponto de vista do mapeamento da capacidade produtiva. Schneider e Schneider (2008) revelam a possibilidade em gerir o povoamento florestal estratificando a floresta em unidades equiprodutivas, o que facilita a determinação de regimes de manejo de acordo com o potencial produtivo local.

Campos e Leite (2013) descrevem o crescimento e a produção de um povoamento florestal como dependentes da idade, da capacidade produtiva, do grau de utilização do potencial produtivo do lugar e de tratamentos silviculturais.

Scolforo (1997) descreve a qualidade do sítio florestal como a capacidade produtiva da terra ou propriedade florestal e são expressões integradas de todas as influências biológicas e ambientais no crescimento das árvores. O mesmo autor relata que de todos os procedimentos diretos de medir sítio, a altura em relação a idade tem sido o mais prático, eficiente e consistente indicador, evidenciando que a altura dominante está fortemente correlacionada com o crescimento potencial do volume.

Ainda, Campos e Leite (2013) revelam que a vantagem da variável altura dominante está em não ser afetada pelas intervenções na floresta, além de gerar uma expressão numérica e não uma descrição qualitativa.

No trabalho de Scolforo et al. (2001), estudando cenários de regimes de manejo florestal, os autores observaram que o sítio influencia nos retornos financeiros em virtude da diferença de produção. Desta forma os autores sugerem diferentes regimes de desbastes e podas para tais sítios.

Neste capítulo o objetivo é classificar sítios para plantios de *Pinus taeda*, da região Oeste do Estado de Santa Catarina, e, além disso, analisar, a partir de testes de identidade, a

necessidade de estratificar os dados de altura dominante e idade por região, a partir de então denominados Bloco Chapecozinho (A) e Bloco Cachoeira (B).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Dados

Os dados utilizados nesta pesquisa são provenientes de plantios de *Pinus taeda* inseridas na região Oeste do Estado de Santa Catarina, disponibilizados pela empresa ADAMI S/A, e contam com pares de dados de altura dominante e idade mensurados a partir de parcelas temporárias e permanentes de 600 m².

Neste estudo, o método de Assmann (1961) foi empregado para a determinação das árvores dominantes, no qual se utiliza a média das alturas totais das cem árvores com os maiores diâmetros a 1,30 m do solo (DAP) por hectare, livre de defeitos ou insanidades.

Os plantios florestais da empresa são subdivididos em duas áreas administrativamente denominados como Bloco Chapecozinho (A) e Bloco Cachoeira (B).

Tendo em vista a distância entre os plantios florestais (Figura 5), e frente ao fato da própria empresa considerá-los como Blocos diferenciados, optou-se por gerar os modelos para o conjunto total de dados e para os Blocos (A e B) separadamente.

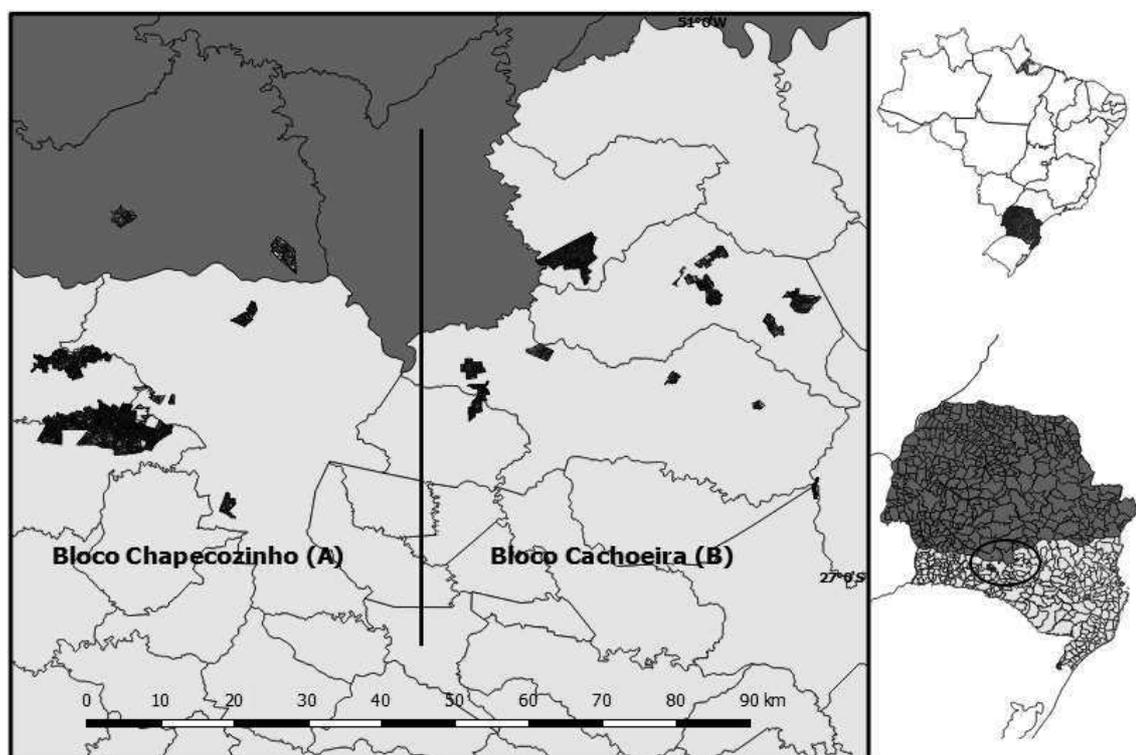


Figura 5. Localização espacial dos plantios florestais de *Pinus taeda*.

2.2. Construção das curvas de sítio

Foram testados cinco modelos de regressão não linear para a construção das curvas de índice de sítio (Tabela 3), empregando-se o método da Curva-Guia para construção de tais curvas.

Tabela 3. Modelos testados para a construção das curvas de índice de sítio ajustados para plantios de *Pinus taeda* da região Oeste de Santa Catarina.

Modelo	Modelo-guia	Autor
$h_{\text{dom}} = \frac{I^2}{(\beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot I^2)} + \varepsilon$	$h_{\text{dom}} = \frac{I^2}{\frac{I_i^2}{S} + \beta_1 \cdot (I - I_i) + \beta_2 \cdot (I^2 - I_i^2)} + \varepsilon$	Prodan
$\ln(h_{\text{dom}}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot I^{-1} + \varepsilon$	$\ln(h_{\text{dom}}) = \ln(S) + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{I} - \frac{1}{I_i} \right) + \varepsilon$	Schumacher (linearizado)
$h_{\text{dom}} = \beta_0 \cdot e^{\left(\frac{\beta_1}{I}\right)^{\beta_2}} + \varepsilon$	$h_{\text{dom}} = S \cdot e^{\beta_1 \left[\left(\frac{1}{I}\right)^{\beta_2} - \left(\frac{1}{I_i}\right)^{\beta_2} \right]} + \varepsilon$	Schumacher (modificado)
$h_{\text{dom}} = \beta_1 \cdot \left(1 - e^{-\beta_2 \cdot I^{\beta_3}} \right)^{\beta_4} + \varepsilon$	$h_{\text{dom}} = S \cdot \left(\frac{1 - e^{-\beta_2 \cdot I^{\beta_3}}}{1 - e^{-\beta_2 \cdot I_i^{\beta_3}}} \right)^{\beta_4} + \varepsilon$	Bailey (4 parâmetros)
$h_{\text{dom}} = \beta_0 \cdot \left(1 - e^{-\beta_1 \cdot I} \right)^{\beta_2} + \varepsilon$	$h_{\text{dom}} = S \cdot \left[\frac{1 - e^{(-\beta_1 \cdot I)}}{1 - e^{(-\beta_1 \cdot I_i)}} \right]^{\beta_2} + \varepsilon$	Chapman-Richards

β_0 , β_1 , β_2 , β_3 e β_4 são os coeficientes dos modelos. $h_{\text{dom}}(m)$ representa a altura dominante, I a idade m anos. I_i (15 anos) idade índice e S o sítio.

Para a seleção do melhor modelo foram analisadas as seguintes estatísticas: Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{adj}), erro padrão de estimativa em metro (m) e também em percentagem (S_{yx} e $S_{yx}\%$), além da análise gráfica dos resíduos. O modelo de Schumacher linearizado teve seus erros recalculados para a variável de interesse. Os dados foram rodados no programa Statgraphics.

2.3. Teste de Identidade

A partir da seleção do melhor modelo em virtude das estatísticas e dispersão dos resíduos pela análise gráfica observou-se a necessidade da estratificação dos dados por região (Blocos). Neste trabalho foram observadas duas formas de se analisar agrupamento de dados.

1º) Teste de identidade proposto por Regazzi (2003):

Esse teste foi recentemente utilizado no estudo desenvolvido por Roveda (2014) para analisar o agrupamento de fazendas de *Eucalyptus grandis* no Estado de São Paulo para o ajuste de curvas de sítio.

O referido teste foi aplicado para determinar se uma única equação de sítio poderia ser adequada a todos os dados agrupados, ou seja, se haviam coeficientes no modelo que poderiam ser considerados idênticos para ambos os Blocos (A e B). A estatística do teste é apresentada a seguir:

$$X_{calculado}^2 = -n \ln \left(\frac{SQR_{\Omega}}{SQR_w} \right)$$

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

Regra de decisão:

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

O valor tabelado é função do nível α de probabilidade de erro (p-valor < 0,05) e do número de graus de liberdade v ($p\Omega - pw$), em que: v = número de graus de liberdade; $p\Omega$ = número de coeficientes do modelo completo; pw = número de coeficientes dos modelos reduzidos.

2º) Teste de Dette e Neumeyer (2001):

Neste teste os autores desenvolveram um teste *bootstrap* baseado na diferença entre um estimador não paramétrico de variância na amostra combinada ($\hat{\theta}_p^2$) e uma combinação convexa dos estimadores não paramétricos das variâncias das amostras individuais ($\hat{\theta}_c^2$):

$$T_n = \hat{\theta}_p^2 + \hat{\theta}_c^2$$

A hipótese H_0 do teste representa a igualdade das curvas de regressão, ou seja, $f(1) = f(2) = \dots = f(k)$, onde k representa o número de grupos ou curvas de regressão. Outro detalhe

importante é que este teste não possui uma Tabela de valores críticos. A estatística do teste é avaliada observando-se sua probabilidade de ser ou não significativa, a partir do p-valor. Esse teste foi recentemente utilizado por Miranda (2012) em estudo de sítios para de *Eucalyptus* sp. sob diferentes classes de precipitação pluviométrica.

Após a análise da estratificação dos dados em Blocos foi observada a confiabilidade e o anamorfismo das curvas de sítio conforme a proposta de Scolforo (1997), em que se verifica graficamente a tendência linear dos índices de sítio em função das alturas dominantes médias. Essa identificação tem como propósito confirmar que o índice de sítio é dependente da capacidade produtiva, e não da idade. O procedimento foi repetido para as idades de 7, 10, 15 e 18 anos.

Como resultado, foram classificados 66 projetos referentes a um cadastro florestal de plantios de *Pinus taeda* da região Oeste de Santa Catarina.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ajuste dos modelos de curvas de índice de sítio

As estimativas dos modelos testados e suas estatísticas estão descritas na Tabela 4. Observando os resultados para o conjunto completo de dados, os modelos testados apresentaram estatísticas semelhantes entre eles. Desta forma, para o conjunto completo de dados o melhor modelo foi Prodan, com R^2_{adj} de 0,86 e com erro padrão da estimativa de 1,72 m (9,64%). O modelo de Schumacher (linearizado) apresentou avaliação menos satisfatória, embora resultando em valores bastante próximos ao de Prodan, com R^2_{adj} de 0,85 e erro padrão da estimativa de 1,81 m (10,15%).

Quando analisados os Blocos A e B, que foram estratificados em virtude da distância geográfica entre eles, o modelo de Prodan também demonstrou as melhores estatísticas em relação aos demais modelos testados para ambos os Blocos.

O Bloco A apresentou resultados mais consistentes quando comparado às estatísticas do conjunto de dados, e o Bloco B estatísticas inferiores ao conjunto de dados.

Tabela 4. Estimativas dos coeficientes dos modelos testados para índices de sítio para *Pinus taeda* na região Oeste do Estado de Santa Catarina.

	Modelos	Coeficientes				Syx	Syx %	R ² adj	n
		β_0	β_1	β_2	β_3				
Conjunto de dados	Prodan	-0,394232	0,552404	0,0111623	-	1,72	9,64	0,86	2.623
	Schumacher linearizado	3,62575356	-8,26801731	-	-	1,81	10,15	0,85	2.623
	Schumacher modificado	39,1098	-7,23398	1,19895	-	1,79	10,07	0,85	2.623
	Bailey 4 parâmetros	33,4978	2,35426E-05	3,28835	0,23795	1,72	9,65	0,86	2.623
	Chapman-Richards	49,324	0,035344	0,927879	-	1,72	9,65	0,86	2.623
Bloco A	Prodan	-0,31316	0,483418	0,0146936	-	1,73	8,83	0,87	1.288
	Schumacher linearizado	3,62079516	-7,81748333	-	-	1,79	9,14	0,86	1.288
	Schumacher modificado	38,2632	-6,85454	1,1767	-	1,79	9,10	0,86	1.288
	Bailey 4 parâmetros	34,3887	8,88855E-05	2,82747	0,25426	1,74	8,84	0,87	1.288
	Chapman-Richards	43,3641	0,0414597	0,883301	-	1,74	8,84	0,87	1.288
Bloco B	Prodan	-0,66733	0,640399	0,00701183	-	1,57	9,78	0,83	1.355
	Schumacher linearizado	3,57291802	-8,07048936	-	-	1,66	10,36	0,81	1.355
	Schumacher modificado	37,6517	-7,75303	1,10758	-	1,65	10,25	0,82	1.355
	Bailey 4 parâmetros	48,3191	4,80138E-05	2,67816	0,29908	1,57	9,79	0,83	1.355
	Chapman-Richards	56,6687	0,0288233	0,93252	-	1,57	9,80	0,83	1.355

No trabalho de David (2014), que desenvolveu curvas de sítio para *Pinus taeda* para os Estados de Santa Catarina e Paraná, o modelo Bailey 4 parâmetros obteve as melhores estatísticas, porém o autor não utilizou este modelo para confecção da Tabela de limites de sítio (a partir da curva-guia) em virtude do mesmo ter estimado valores de h_{dom} iguais para idades superiores a 20 anos. O autor utilizou o modelo de Prodan para determinar os limites inferiores e superiores das classes de sítio.

Modelos empíricos podem apresentar resultados incoerentes de estimativa fora dos limites dos dados amostrados. Neste trabalho, o modelo de Prodan apresentou resultados ilógicos na construção das curvas de sítio a partir da curva-guia para idades abaixo de 7 anos para o melhor sítio. Uma solução foi utilizar o método gráfico descrito por Scolforo (1997).

Contudo, Machado (1980) realizou um trabalho de construção de curvas de sítio utilizando o modelo de Prodan e obteve resultados satisfatórios para florestas de *Pinus taeda* na região central do Estado do Paraná.

Já o modelo de Chapman-Richards, que é um modelo biológico, revelou coeficientes assintóticos elevados, tanto para a modelagem do conjunto total de dados quanto para os Blocos separadamente, e dessa forma poderia se trabalhar com a hipótese de que a altura dominante chegue a este valor para o caso de uma idade muito elevada.

Os resíduos estão apresentados primeiramente para o conjunto de dados, como pode ser observado na Figura 6.

Os modelos ajustados para todos os dados demonstraram tendências semelhantes, apresentando superestimativas (chegando a 52% em relação a altura dominante observada na idade de 9 anos), porém sem apresentar tendenciosidade. Assim, o modelo de Prodan foi selecionado como o mais adequado para construção de curvas de índice de sítio para a região de estudo.

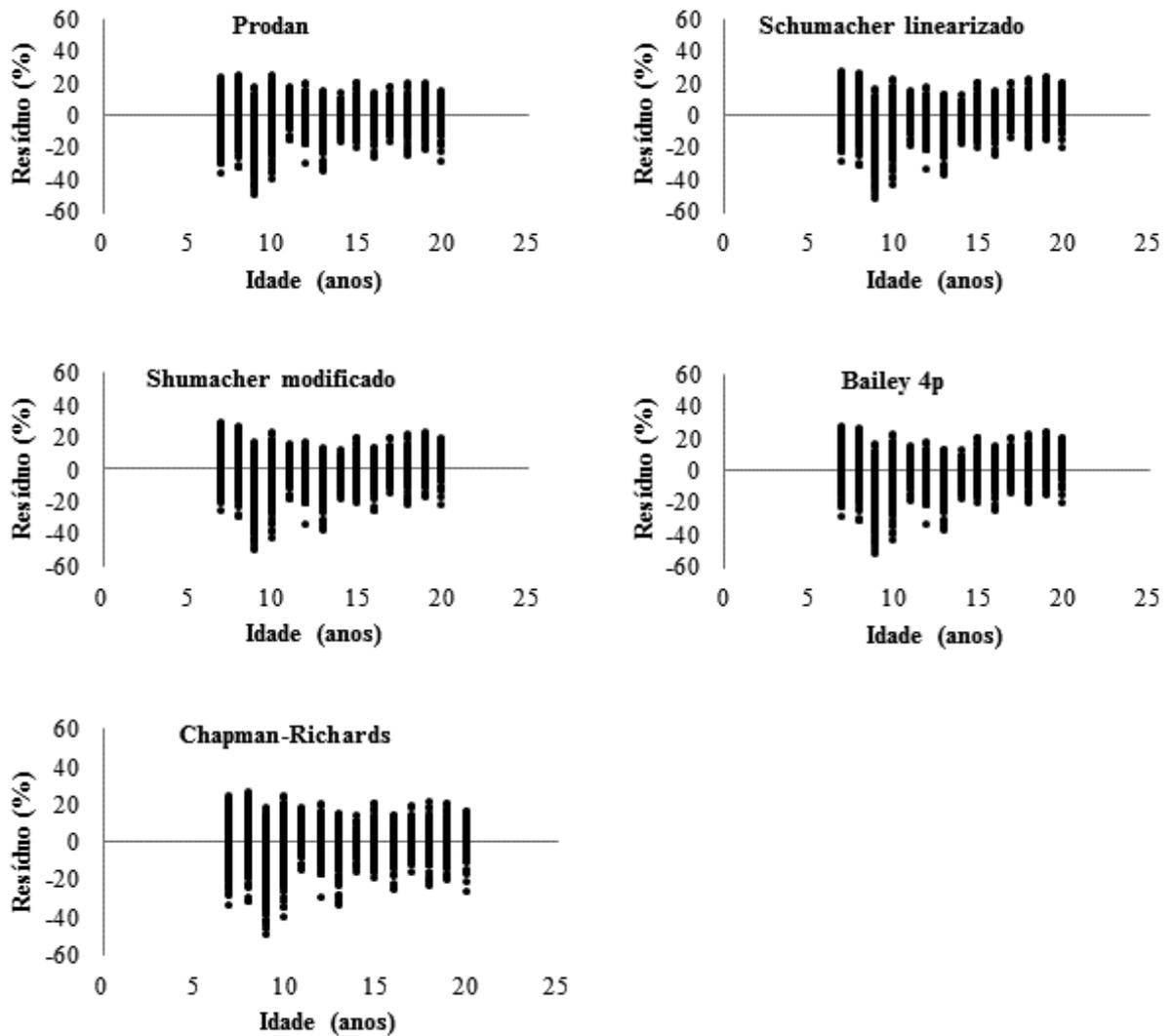


Figura 6. Dispersão de resíduos para os modelos de curvas de sítio ajustados para o conjunto total de dados.

Os resíduos para os cinco modelos ajustados para o Bloco A e B podem ser observados na Figura 7. Constata-se, em relação aos resíduos do conjunto total de dados, que houve uma diminuição das superestimativas e subestimativas para todos os modelos quando os mesmos foram ajustados separadamente por blocos. Para o Bloco A a distribuição de resíduos foi mais adequada que para o Bloco B, sem apresentar tendenciosidade. Deste modo, o modelo de Prodan foi também selecionado como o mais adequado para construção de curvas de sítio para cada bloco.

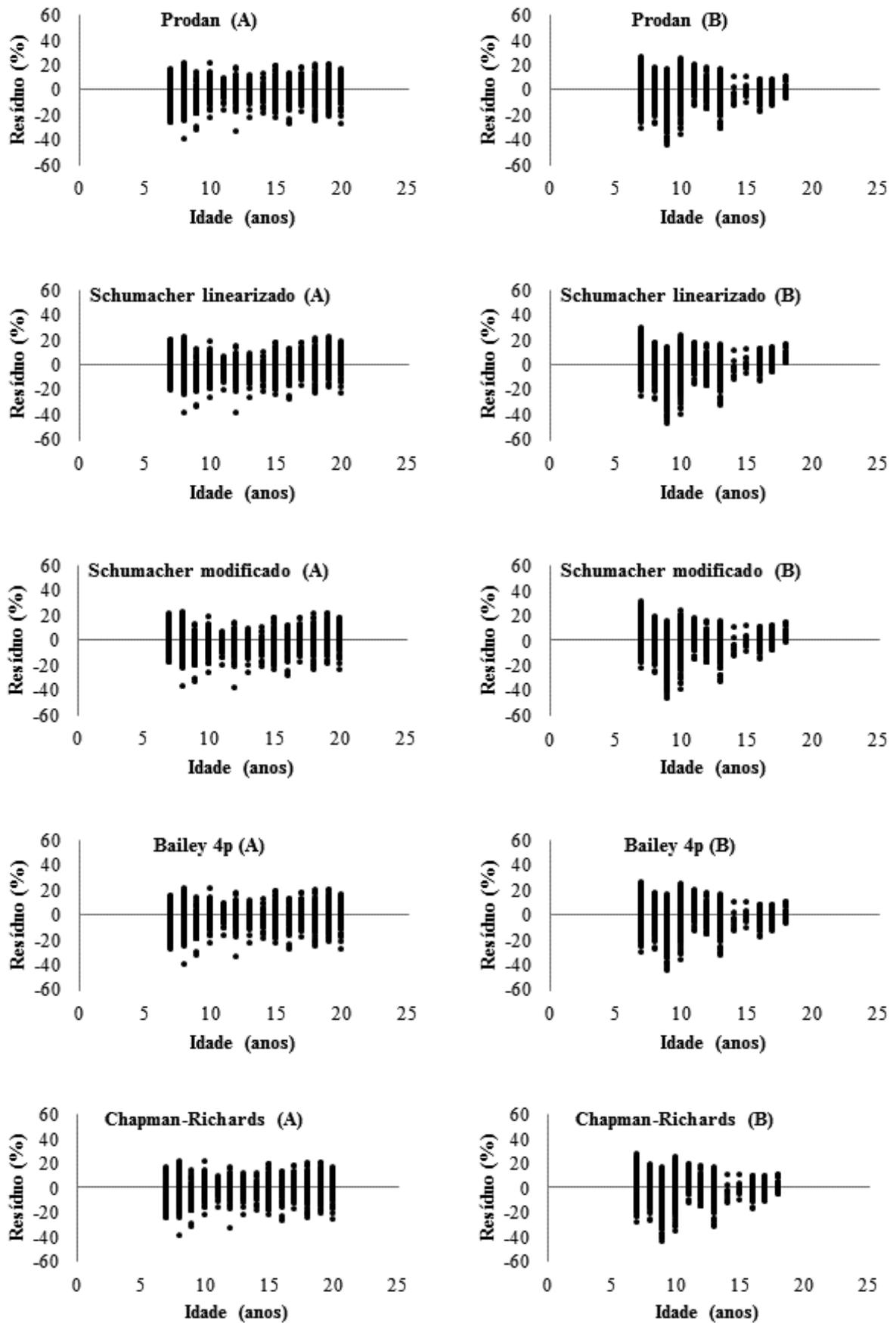


Figura 7. Dispersão dos resíduos para o Bloco A (esquerda) e Bloco B (direita).

3.2 Testes de identidade

3.2.1. Teste de Regazzi (2003)

O teste analisa a diferença estatística dos coeficientes gerados para cada Bloco, e ainda gera coeficientes que podem ser comuns para ambos. Desta forma o mais relevante para verificar se realmente os Blocos encontram-se em regiões distintas quanto a capacidade de sítio são as hipóteses H_1 e H_{04} .

Para interpretar os resultados apresentados na Tabela 5 é necessário especificar as hipóteses do teste e, deste modo, para o modelo de Prodan com três coeficientes (β_0 , β_1 e β_2), cinco possíveis hipóteses foram analisadas:

- $H_1 \rightarrow$ Coeficientes β_0 , β_1 e β_2 diferentes para os Blocos A e B;
- $H_{01} \rightarrow$ Coeficiente β_0 idêntico para os Blocos e demais coeficientes diferentes para cada Bloco;
- $H_{02} \rightarrow$ Coeficiente β_1 idêntico para os Blocos e demais coeficientes diferentes para cada Bloco;
- $H_{03} \rightarrow$ Coeficiente β_2 idêntico para os Blocos e demais coeficientes diferentes para cada Bloco.
- $H_{04} \rightarrow$ os coeficientes β_0 , β_1 e β_2 gerados pelo teste não diferem estatisticamente dos coeficientes de cada Bloco e desta forma um único modelo poderia ser usado para determinar a capacidade produtiva.

Na Tabela 5 encontra-se o teste de Regazzi (2003) aplicado para o ajuste do modelo de Prodan. Analisando primeiramente a hipótese H_{04} , que é a hipótese de um único modelo para o conjunto total de dados, observa-se que os coeficientes gerados diferem dos coeficientes ajustados individualmente para os Blocos A e B, ou seja, $H_1 \neq H_{04}$, uma vez que o $X^2_{cal} > X^2_{tab}$ ($205,64 > 7,81$).

Diante disto, o teste procura algum coeficiente que possa ser comum para os dois modelos. Neste caso a hipótese H_{01} mostrou-se possível, tendo em vista que o X^2_{tab} foi maior que X^2_{calc} ($3,84 > 1,03$), de forma que o coeficiente β_0 pode ser comum às equações do Bloco A e Bloco B.

Tabela 5. Resultados do teste de identidade proposto por Regazzi (2003) para o ajuste do modelo de Prodan para florestas de *Pinus taeda* da região Oeste de Santa Catarina.

Bloco A e Bloco B (modelo de Prodan)					
Teste Parâmetros	H ₁	H ₀₁	H ₀₂	H ₀₃	H ₀₄
$\beta_0(A)$	-0,3133	-0,4519	-0,6368	-0,6577	-0,3944
$\beta_0(B)$	-0,6677		-0,1224	-0,0203	
$\beta_1(A)$	0,4835	0,5070		0,5439	
$\beta_1(B)$	0,6405	0,6012	0,5395	0,5186	0,5524
$\beta_2(A)$	0,0147	0,0138	0,0125		
$\beta_2(B)$	0,0070	0,0087	0,0113	0,0123	0,0112
SQ res	7158,3	7161,1	7175,5	7181,9	7742,1
X ² calc		1,03	6,29	8,63	205,64
GL		1	1	1	3
X ² tab (0,05)		3,84	3,84	3,84	7,81
p-valor		0,3111	0,0121	0,0033	0,0000

3.2.2 Teste T_n

Na análise pelo Teste T_n os valores também demonstram diferença entre as curvas ajustadas para cada Bloco. Na Tabela 6 é possível observar os valores do teste e significância pelo p-valor.

O resultado não é comparado com valores tabelados, indicando apenas que quanto maior o valor de T_n, maior é a diferença das curvas ajustadas. Há coerência nos resultados obtidos, uma vez que os valores diminuem quando incluída uma curva ajustada com o conjunto de dados, já que neste caso o conjunto de dados conta com a observação do bloco que é ajustado separadamente. É possível observar, ainda, que o Bloco A está mais identificado com o conjunto de dados do que o Bloco B.

Tabela 6 . Resultado do teste estatístico de Dette e Neumeier (2001) (T_n) e respectivos *p*-valores nas diferentes situações.

Situação	Comparação	T _n	Valor p
1	Bloco A e Bloco B	0,1582	p < 0,05
2	Conjunto de dados, Bloco A e Bloco B	0,08313	p < 0,05
3	Conjunto de dados e Bloco A	0,03347	p < 0,05
4	Conjunto de dados e Bloco B	0,04367	p < 0,05

Na Figura 8 pode se observar que o valor de T_n para os quatro gráficos está sempre distante da maior densidade probabilística, na extrema direita e apresenta valores de *p*-valores inferiores a 5% de significância.

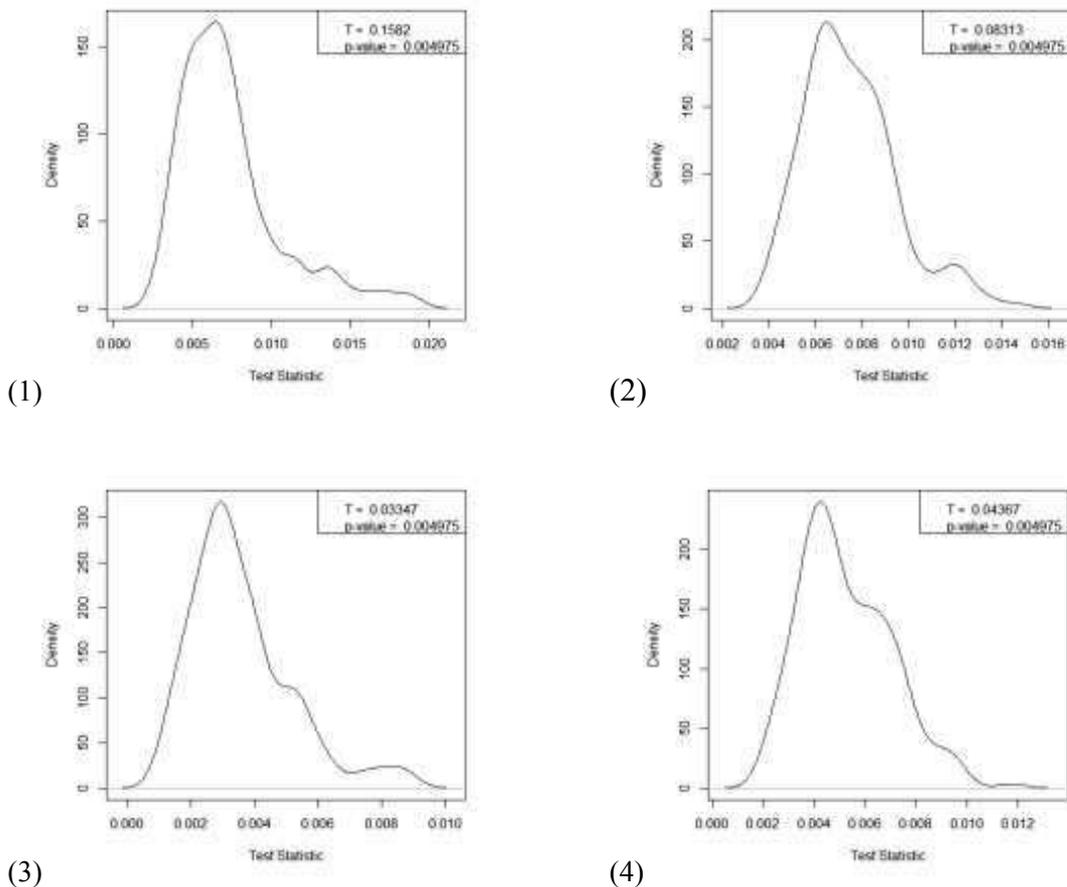


Figura 8. Densidade probabilística do teste T_n aplicado a situações de estratificação dos dados.

3.3 Construção das curvas de índice de sítio

As curvas de índice de sítio foram geradas para cada bloco, uma vez que os testes demonstraram diferença entre as curvas da relação altura dominante pela idade, geradas pelo modelo de Prodan.

O ajuste das curvas de índice de sítio do Bloco B, com dados de alturas dominantes até os 18 anos, demonstra que as curvas ainda não apresentam valores assintóticos e dessa maneira parece estar mais linear em relação às curvas do Bloco A, que contém pares de dados de altura dominante e idade até os 20 anos.

Foram construídas três curvas de sítio, a partir da curva média, com idade de referência de 15 anos. Na Figura 9 observa-se o desenvolvimento das curvas e os limites de cada classe para o Bloco A e o comportamento das curvas de sítio para o Bloco B.

A classe I corresponde ao sítio 25 m, a classe II corresponde ao sítio 21 m e classe III ao sítio de 17 m, os limites tiveram 2 metros amplitude.

Os limites das alturas dominantes para cada sítio estão descritos na Tabela 7 para o Bloco A e para o bloco B. Desta forma ao mensurar alturas dominantes da região de cada Bloco em uma determinada idade é possível enquadrar a parcela em um determinado sítio.

Selle et al. (1994) estudando sítios para *Pinus taeda* na região de Cambará do Sul – RS, Brasil utilizaram 9 curvas para que contemplar a dispersão das alturas dominantes observadas, a idade de referência utilizada em seu trabalho foi de 20 anos. Com uma amplitude de 8 m a 32 m das alturas dominantes na idade-índice de 20 anos.

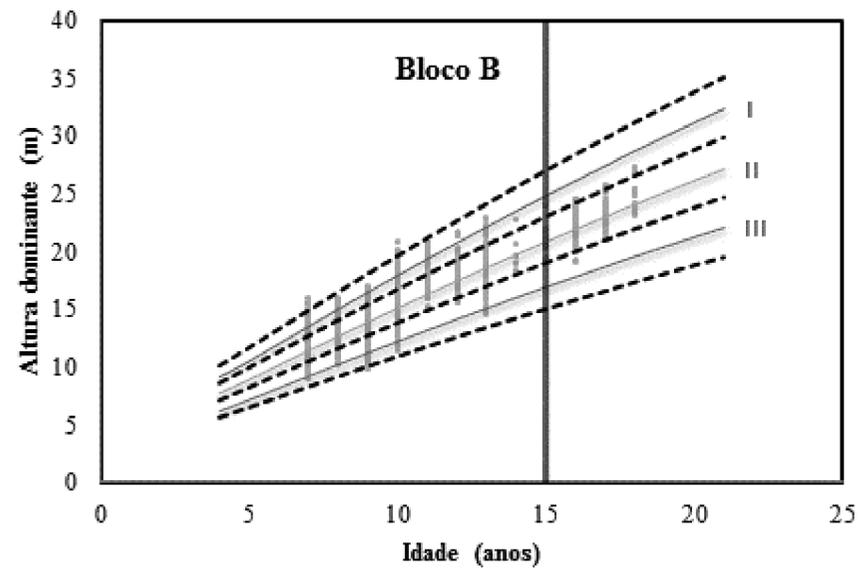
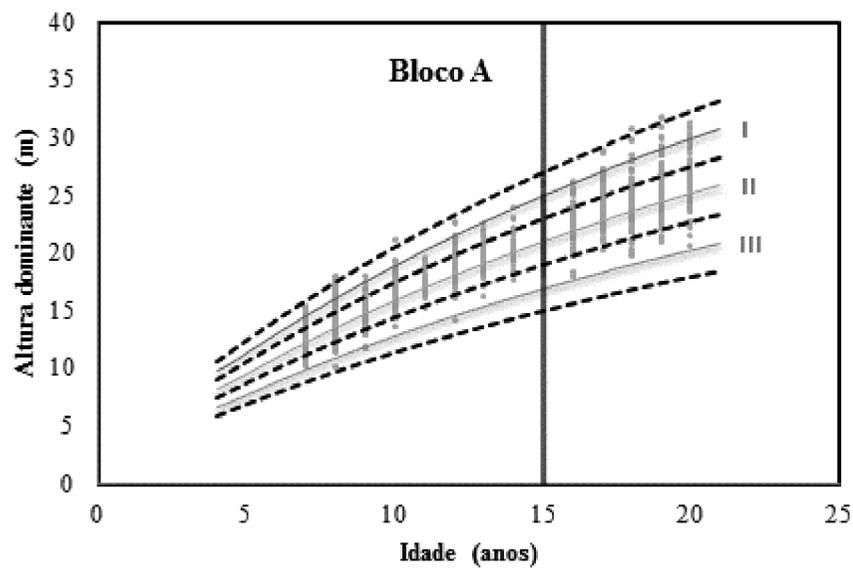


Figura 9. Curvas ajustadas pelo modelo de Prodan para os Blocos A e B de florestas de *Pinus taeda* na região Oeste do Estado de Santa Catarina.

Tabela 7. Limites de classes de sítio para o Bloco A e Bloco B.

Bloco A				Bloco B			
Idade (anos)	Sítio III 17 m	Sítio II 21m	Sítio I 25 m	Idade (anos)	Sítio III 17 m	Sítio II 21 m	Sítio I 25 m
4	5,9 - 7,5	7,5 - 9,0	9,0 - 10,6	4	5,6 - 7,1	7,1 - 8,6	8,6 - 10,1
5	6,9 - 8,8	8,8 - 10,6	10,6 - 12,4	5	6,5 - 8,2	8,2 - 9,9	9,9 - 11,6
6	7,9 - 10,0	10,0 - 12,1	12,1 - 14,2	6	7,4 - 9,3	9,3 - 11,3	11,3 - 13,3
7	8,8 - 11,2	11,2 - 13,5	13,5 - 15,9	7	8,3 - 10,5	10,5 - 12,7	12,7 - 14,9
8	9,7 - 12,3	12,3 - 14,9	14,9 - 17,5	8	9,1 - 11,6	11,6 - 14,0	14,0 - 16,5
9	10,6 - 13,4	13,4 - 16,2	16,2 - 19,0	9	10,0 - 12,7	12,7 - 15,4	15,4 - 18,0
10	11,4 - 14,4	14,4 - 17,5	17,5 - 20,5	10	10,9 - 13,8	13,8 - 16,7	16,7 - 19,6
11	12,2 - 15,4	15,4 - 18,7	18,7 - 21,9	11	11,7 - 14,9	14,9 - 18,0	18,0 - 21,1
12	12,9 - 16,4	16,4 - 19,8	19,8 - 23,3	12	12,6 - 15,9	15,9 - 19,3	19,3 - 22,6
13	13,7 - 17,3	17,3 - 20,9	20,9 - 24,6	13	13,4 - 17,0	17,0 - 20,5	20,5 - 24,1
14	14,3 - 18,2	18,2 - 22,0	22,0 - 25,8	14	14,2 - 18,0	18,0 - 21,8	21,8 - 25,6
15	15,0 - 19,0	19,0 - 23,0	23,0 - 27,0	15	15,0 - 19,0	19,0 - 23,0	23,0 - 27,0
16	15,6 - 19,8	19,8 - 24,0	24,0 - 28,1	16	15,8 - 20,0	20,0 - 24,2	24,2 - 28,4
17	16,2 - 20,6	20,6 - 24,9	24,9 - 29,2	17	16,5 - 21,0	21,0 - 25,4	25,4 - 29,8
18	16,8 - 21,3	21,3 - 25,8	25,8 - 30,3	18	17,3 - 21,9	21,9 - 26,5	26,5 - 31,1
19	17,4 - 22,0	22,0 - 26,7	26,7 - 31,3	19	18,0 - 22,8	22,8 - 27,7	27,7 - 32,5
20	17,9 - 22,7	22,7 - 27,5	27,5 - 32,3	20	18,8 - 23,8	23,8 - 28,8	28,8 - 33,8
21	18,5 - 23,4	23,4 - 28,3	28,3 - 33,2	21	19,5 - 24,7	24,7 - 29,9	29,9 - 35,1

3.4 Teste de anamorfismo das curvas

Scolforo (1997) sugere testar o anamorfismo das curvas ajustadas. Como neste trabalho optou-se pela confecção das curvas a partir da curva-guia, e os dados são oriundos de parcelas temporárias e permanentes, as curvas necessariamente devem ser anamórficas, ou seja, com a mesma tendência do crescimento em altura em todos os locais (CAMPOS e LEITE, 2013).

O teste, portanto, analisa a relação linear entre os índices de sítio e as alturas dominantes em determinada idade. Neste caso as idades analisadas foram de 7; 10; 15 e 18 anos.

Nas Figuras 10 e 11 observa-se o teste de anamorfismo para o ajuste das curvas de sítio para os Blocos A e B, com os respectivos modelos lineares ajustados e o valor de R^2 . Para todas as idades analisadas o coeficiente de determinação foi alto, mostrando a existência da relação linear do sítio com a altura dominante, importante ressaltar que na idade índice (15 anos) o R^2 é igual a 1 o que explica que o sítio é apenas dependente da altura e não da idade.

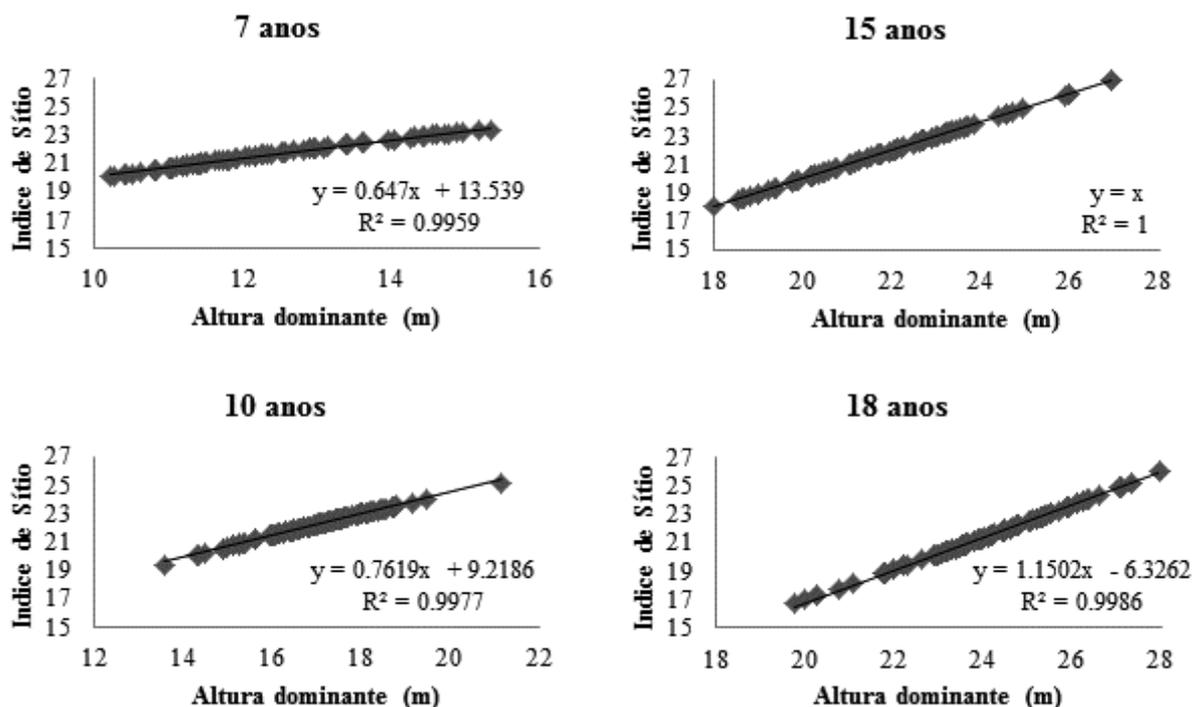


Figura 10. Teste de anamorfismo do modelo de Prodan em quatro idades para o Bloco A.

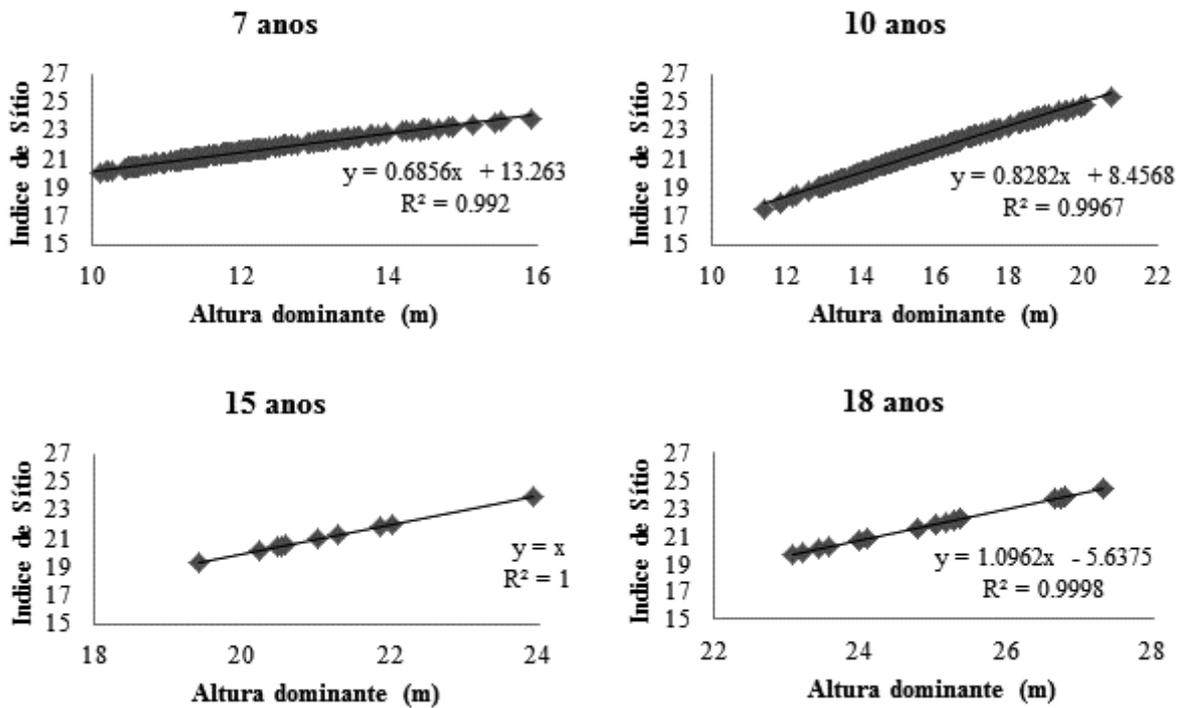


Figura 11. Teste de anamorfismo do modelo de Prodan em quatro idades para o Bloco B.

3.5 Aplicabilidade da classificação de sítio

A partir da tabela de limites de índices de sítio foi possível classificar todos os projetos do cadastro florestal quanto à capacidade produtiva. Na Figura 12 pode-se verificar a porcentagem de 78% dos projetos classificados no sítio II, ou seja, sítio médio, enquanto que o sítio I, considerado o melhor sítio foi atribuído a 14% da área dos projetos e sítio III foi atribuído para 8% da área dos projetos.

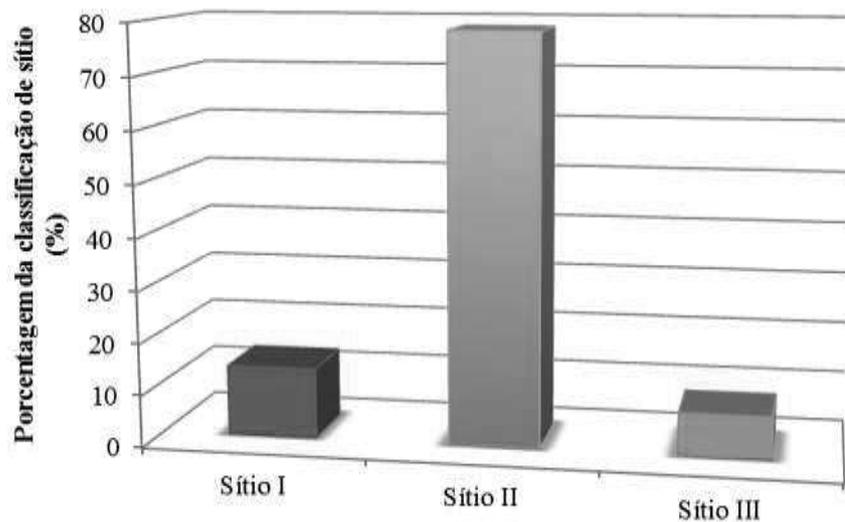


Figura 12. Distribuição de áreas dos projetos do cadastro florestal classificados conforme as tabelas de limites de índices de sítio.

Analisando cada bloco florestal separadamente, e ainda levando em consideração as áreas próprias e arrendadas, é possível constatar que em áreas arrendadas não há sítio III, de maneira que para o Bloco B as áreas arrendadas apresentaram considerável porcentagem de projetos classificados como Sítio I, como pode ser observado na Figura 13.

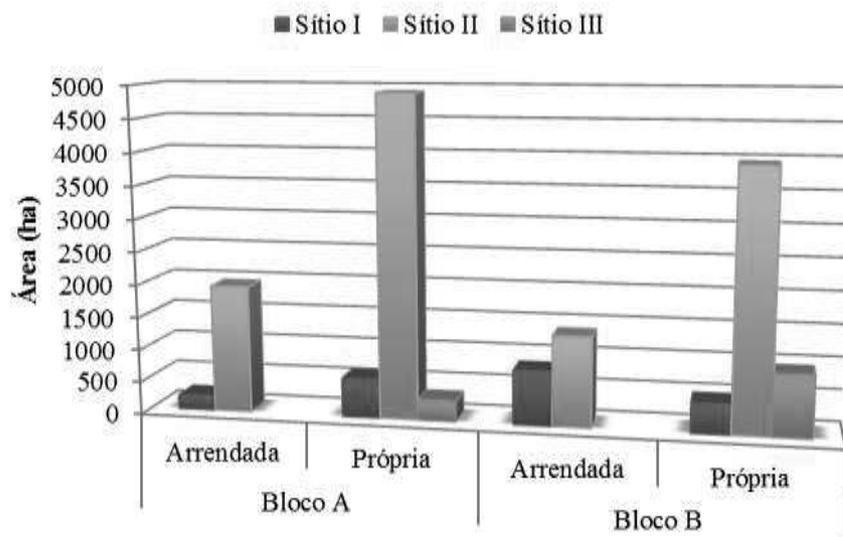


Figura 13. Área total para classificação de sítio por Bloco considerando áreas próprias e arrendadas.

4. CONCLUSÃO

Dos modelos analisados para construção de curvas de índice de sítio, o modelo de Prodan apresentou as melhores estatísticas para as três situações analisadas, quais sejam, conjunto total de dados, Bloco A e Bloco B.

No Teste de Identidade proposto por Regazzi foi possível observar que os coeficientes dos modelos de Prodan dos Blocos A e B são diferentes, exceto o coeficiente b_0 . Desta forma, pode-se concluir que as curvas de sítios são diferentes para cada Bloco. Portanto, modelos de sítio específicos para cada região são indicados. O mesmo resultado foi encontrado pelo Teste de Dette e Neumeyer.

O teste de anamorfismo para o modelo de Prodan ajustado para cada Bloco demonstrou adequada relação entre sítio e altura dominante, ou seja, a altura dominante realmente explica o sítio.

A classificação dos sítios possibilitou o arranjo dos projetos florestais em três classes distintas de sítio, de maneira que se pôde observar que os plantios de *Pinus taeda*, foram classificados em sua maioria em sítio médio (Sítio = 21 m, Idade índice = 15 anos)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSMANN, E. **Waldetragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgessellschaft, 1961. 435p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 4ª edição. Viçosa – MG. Ed UFV, 2013.
- DAVID, H. C. **Avaliação de sítio, relações dendrométricas e otimização de regimes de manejo de *Pinus taeda* L. nos Estados do Paraná e de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. UFPR, Curitiba – PR. 2014.
- DETTE, H. e NEUMEYER, N. Nonparametric analysis of covariance. **The Annals of Statistics**, 29(5):1361-1400. 2001.
- MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* L. na região central do Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v.11, n.2, p.4-17, 1980.
- MIRANDA, R. O V. **Modelagem em nível de povoamento para *Eucalyptus* sp. com estratificação em classes de precipitação pluviométrica**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciências Florestais. UNICENTRO. Irati, PR, 2012.
- REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear. **Revista Ceres**, Viçosa, v.50, n. 287, p.9-26, 2003.
- ROVEDA, M. **Testes de identidade de modelos aplicados na construção de curvas de sítio e na projeção da produção de povoamentos de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex. Maiden**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciências Florestais. UNICENTRO. Irati, PR, 2014.
118f.
- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª edição, Santa Maria, FACOS-UFSM, 2008, 566p.
- SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA, 1997. 436 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; JUNIOR, F. W. A.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R. Simulação e avaliação econômica de regimes de desbastes e desrama para obter madeira de *Pinus taeda* livre de nós. **Ciência Florestal**. Santa Maria - RS, v.11, n.1, p.121-139. 2001
- SELLE, G. L., SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A. Classificação de sítio para *Pinus taeda* L., através da altura dominante, para região de Cambará do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**. Santa Maria – RS, v.4, n.1. 1994.

CAPÍTULO II

**MODELOS DE VOLUME E AFILAMENTO PARA FLORESTAS DE
Pinus taeda L. NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL**

1. INTRODUÇÃO

Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2015) aponta os estados de Santa Catarina e Paraná como os maiores produtores de madeira do gênero *Pinus spp.* do Brasil. A região conta com diversas empresas do ramo florestal que comercializam e consomem produtos para laminação, serraria, celulose e diversas outras finalidades.

Na área florestal existe um consenso de que uma grande vantagem do plantio comercial é o uso múltiplo de seus recursos, ou seja, há um leque de opções que o produto “árvore” pode oferecer e é o regime de manejo que determina a finalidade do povoamento. Isto possibilita a condução, com destreza, da prática do planejamento, ainda com a vantagem em poder manobrar certas decisões, dependendo do mercado e valores da madeira.

A gama de produtos e recursos florestais existentes no mercado exigem metodologias precisas na quantificação do estoque de um povoamento. As equações de afilamento têm a capacidade de estimar o diâmetro de qualquer altura da árvore, com base no DAP, a altura total (h) e a altura que se deseja tal diâmetro, permitindo a classificação de sortimentos em função do diâmetro limite de interesse.

Com estimativas eficientes para cada diâmetro comercial pré-definido, as funções de afilamento permitem auxiliar nas decisões de manejo e no planejamento econômico do povoamento. Scolforo (1993) comenta que, em termos de precisão, as funções de afilamento e as equações de volume sejam equivalentes, porém, a primeira é muito mais interessante na medida em que consegue estimar o volume de qualquer porção de árvore.

A amostragem para geração de equações de volume para florestas equiâneas é feita usualmente, por espécie, espaçamento, classe de idade e regime de corte (CAMPOS e LEITE, 2013) e, neste caso, estimam bem o estoque e volume individual de árvores. No caso das funções de afilamento, sua utilização é estritamente importante para determinar o sortimento de cada indivíduo, a partir da integral da função.

Figueiredo Filho et al. (2014), em um compêndio de equações de volume e afilamento para espécies exóticas e nativas das regiões do Brasil, destacam a importância destas ferramentas para os profissionais da área florestal, para avaliar e determinar estoque e sortimento da produção atual e futura de florestas.

Oliveira et al. (2009) relatam que o modelo de Schumacher-Hall (1933) é o mais utilizado por empresas do setor privado, enquanto que o modelo de Schopfer (1966), conhecido também como “polinômio de quinto grau”, é uma função de afilamento muito utilizada pela sua versatilidade, cálculo da integral, além de gerar boas estimativas.

Em vista da maximização de receitas ou produção, toda melhora em estimativas que possam ser efetuadas, tem grande relevância. Autores como Souza (2009), Kohler et al. (2013) estudando *Pinus taeda*, Machado et al. (2004) estudando *Pinus oocarpa*, revelam ganhos em exatidão estratificando os dados de alguma forma, seja por classe de diâmetro, idade, regimes de manejo ou forma do tronco.

Este capítulo tem os seguintes objetivos: ajuste de modelos de volume e afilamento para um conjunto total de dados; para os dados estratificados por regiões (denominadas Blocos); e dentro de cada Bloco o ajuste dos dados por classes de idade.

2. MATERIALE MÉTODOS

Os dados são oriundos de cubagem provenientes de florestas de *Pinus taeda* que abrangem a região Oeste de Santa Catarina, Brasil. A empresa conta com dois grandes maciços florestais, que estão inseridas em regiões distantes mais de 90 km, de forma que dois blocos podem ser observados. A divisão dos Blocos florestais pode ser observada na Figura 14, assim denominados: Bloco Chapecozinho (A), a esquerda da imagem e Bloco Cachoeira (B).

O conjunto total de árvores cubadas, considerando os dois Blocos, é de 1.314 árvores, sendo 612 árvores cubadas no Bloco A e 702 árvores cubadas no Bloco B.

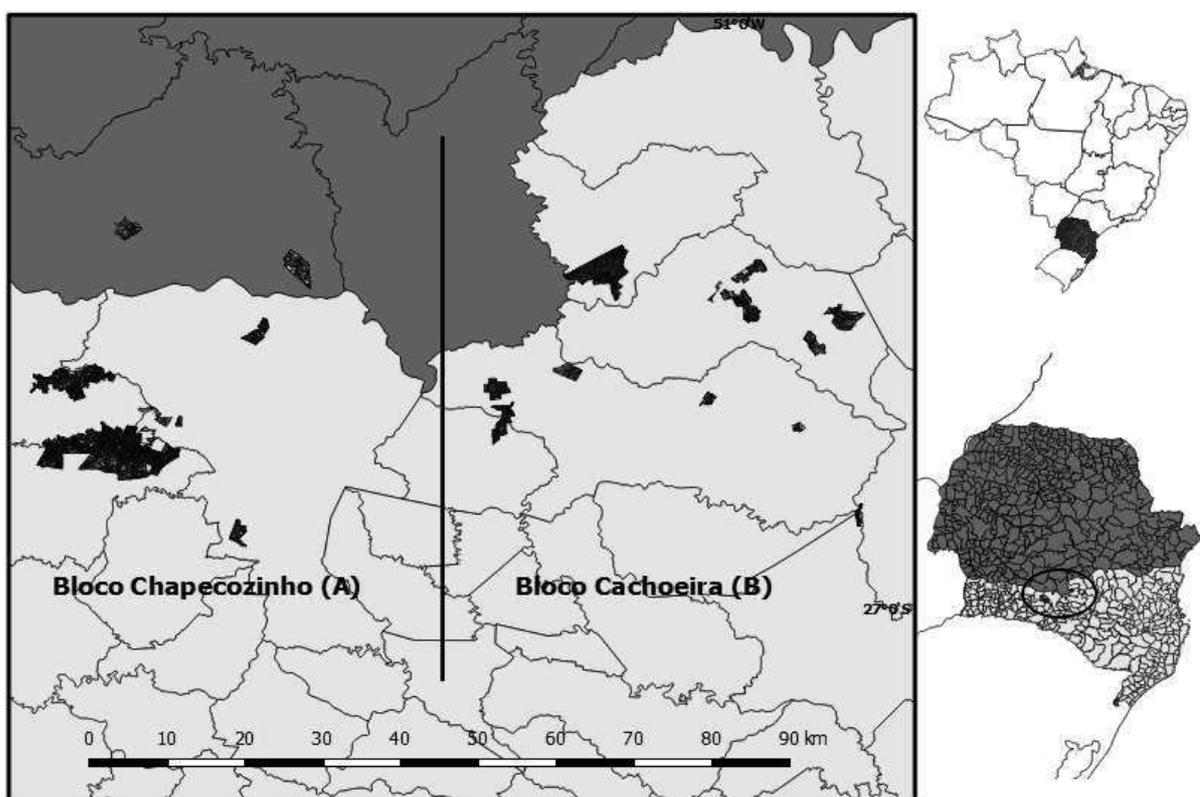


Figura 14 - Localização dos maciços florestais estudados de *Pinus taeda*. À esquerda o Bloco Chapecozinho (A) e à direita o Bloco Cachoeira (B).

A cubagem conta com 15 seções mensuradas que correspondem às alturas relativas a: 0,5%; 1%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90% e 95% da altura total. Para a modelagem ainda foi utilizado a altura a 100% e d_i correspondente igual a 0.

Para os ajustes, os dados foram estratificados da seguinte maneira: conjunto total de dados, Bloco A e Bloco B e por classe de idade para cada Bloco (Figura 15).

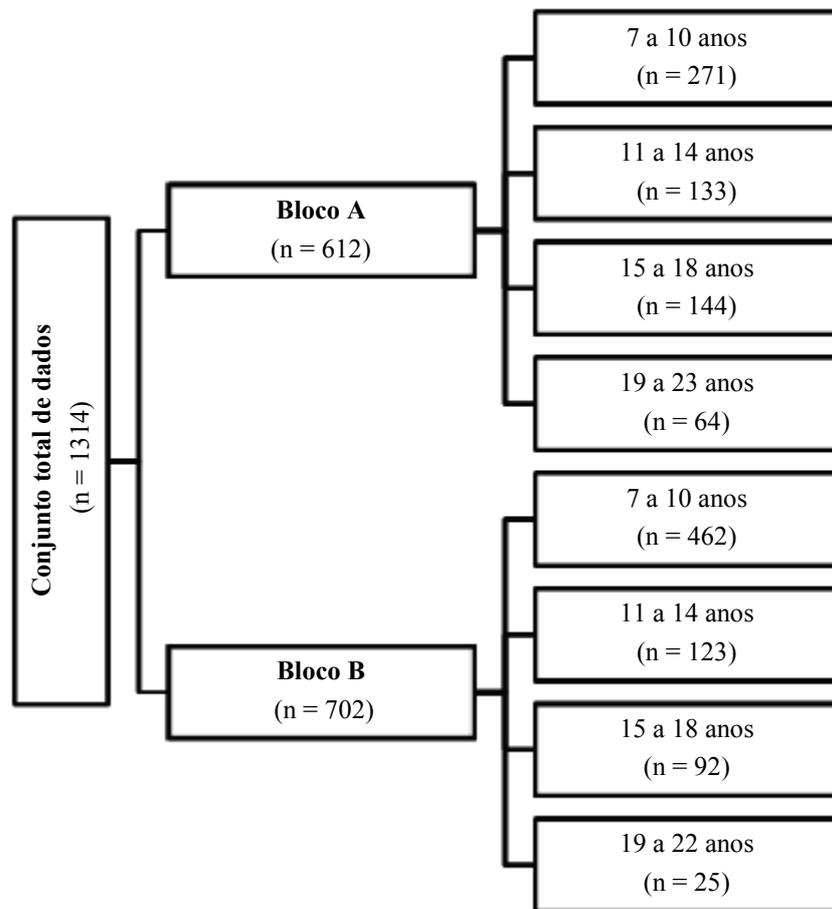


Figura 15. Organograma da estratificação dos dados de cubagem para a modelagem de volume e afilamento para *Pinus taeda* na região Oeste de Santa Catarina.

Foram testados modelos de volume e afilamento, conforme descritos na Tabela 8 e Tabela 9. Os modelos foram ajustados considerando todos os dados, num total de 1314 árvores cubadas. Na sequência os modelos foram ajustados para cada Bloco e então para cada classe de idade, dentro de cada bloco.

Os modelos de volume foram ajustados como proposto por Schumacher-Hall e Spurr, exceto quando se analisou a estratificação em classe de idade dentro de cada bloco, em que se usou apenas o modelo de Schumacher-Hall.

A função de afilamento utilizada foi proposta por Schoepfer, também conhecida como polinômio de quinto grau, ajustada em todas as situações analisadas.

Tabela 8. Modelos de volume.

	Modelos	Autor
Volume	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2h$	Spurr
	$lnv = \beta_0 + \beta_1 \cdot lnd + \beta_2 \cdot ln h$	Schumacher-Hall (1933)

Tabela 9. Função de afilamento.

Afilamento	$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	Schoepfer (1966) Pol. 5º grau
------------	---	----------------------------------

Para eliminar a discrepância logarítmica do modelo de Schumacher, os valores estimados pela equação logaritimizada foram corrigidos multiplicando-se os volumes estimados (m³/ha) pela expressão conhecida como Índice de Meyer (IM):

$$IM = e^{0,5 \cdot S_{\hat{y}_x}};$$

Para a seleção do melhor modelo foram analisadas as seguintes estatísticas: Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{adj}), erro padrão de estimativa em metro cúbico para os modelos de volume e em centímetros para a função de afilamento e também em percentagem (S_{yx} e $S_{yx}\%$), além da análise gráfica dos resíduos. Os modelos logaritimizados tiveram seus erros e coeficientes de determinação recalculados para a variável de interesse.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ajuste dos modelos considerando o conjunto total de dados

Os coeficientes e as estatísticas considerando a cubagem das 1314 árvores de *Pinus taeda* oriundas de florestas plantadas na região Oeste de Santa Catarina, ou seja, todo o conjunto de dados está apresentado na Tabela 10 e 11 e no Apêndice A.

Tabela 10. Coeficientes e estatísticas para os modelos de volume considerando todo o conjunto de dados para plantios de *Pinus taeda* no Oeste de Santa Catarina.

Modelos	Coeficientes	R ² adj	Syx (m ³)	Sxy (%)	
Schumacher-Hall (volumétrico)	b0	-10,04915858	0,986	0,0416	11,80
	b1	1,966126584			
	b2	0,977160093			
Spurr (volumétrico)	b0	0,008741449	0,985	0,0485	13,87
	b1	3,5433E-05			

Tabela 11. Coeficientes e estatísticas para a função de afilamento considerando todo o conjunto de dados para plantios de *Pinus taeda* no Oeste de Santa Catarina

Modelos	Coeficientes	R ² adj	Syx (cm)	Sxy (%)	
Pol. 5º grau (afilamento)	b0	1,2438285	0,988	1,2088	7,28
	b1	-3,888340767			
	b2	16,10744401			
	b3	-34,95110298			
	b4	33,0862768			
	b5	-11,5972251			

Os ajustes dos modelos de volume de Schumacher-Hall e de Spurr resultaram em valores de R²_{adj} semelhantes entre os modelos: 0,986 e 0,985 respectivamente, assim como o erro padrão da estimativa também muito próxima entre os dois modelos ajustados: 0,0416 e 0,0485 m³. O erro em porcentagem foi maior para o ajuste do modelo de Spurr, que apresentou um erro padrão de estimativa de 13,87%, enquanto o modelo de Shumacher-Hall apresentou 11,80%.

Em geral, os dois modelos de volume analisados conferem uma boa estimativa da variável dependente e apresentam estatísticas semelhantes. Kohler et al. (2012), analisando a forma linear e não linear do modelo de Schumacher-Hall sob diferentes métodos (*Marquardt*, *Steepest descent*, *Gauss-Newton* e também pelo *Solver* do Excel), encontraram resultados semelhantes ao deste estudo, independente do método de ajuste do modelo de Schumacher-Hall.

Yoshitani Junior (2009), trabalhando com equações de volume para *Pinus taeda* da região Centro-Sul de Santa Catarina, também encontrou os melhores resultados para os modelos de Schumacher-Hall e Spurr, embora este último modelo tenha sido ajustado na forma linearizada. O autor ainda relacionou as estimativas de modelos de volume de simples e dupla entrada, DAP e DAP e altura, e enfatiza que os modelos de dupla entrada apresentam estatísticas superiores em relação aos modelos de simples entrada.

A função de afilamento do polinômio de quinto grau apresentou um ajuste com 0,988 de R^2_{adj} e um erro de estimativa em porcentagem de 7,28%.

Os gráficos de distribuição dos resíduos podem ser observados nas Figuras 16 e 17. Para os modelos de volume: Schumacher-Hall e Spurr, o segundo teve uma tendência maior em superestimar os volumes nas menores classes de DAP em relação ao modelo de Schumacher-Hall.

Os resíduos da função de afilamento do polinômio de quinto grau ajustado a todo o conjunto de dados mostrou tendência para as últimas medidas ajustadas, onde o erro de estimativa é maior, passando de 100% de diferença entre o ajustado e o estimado, tanto superestimando, quanto subestimando.

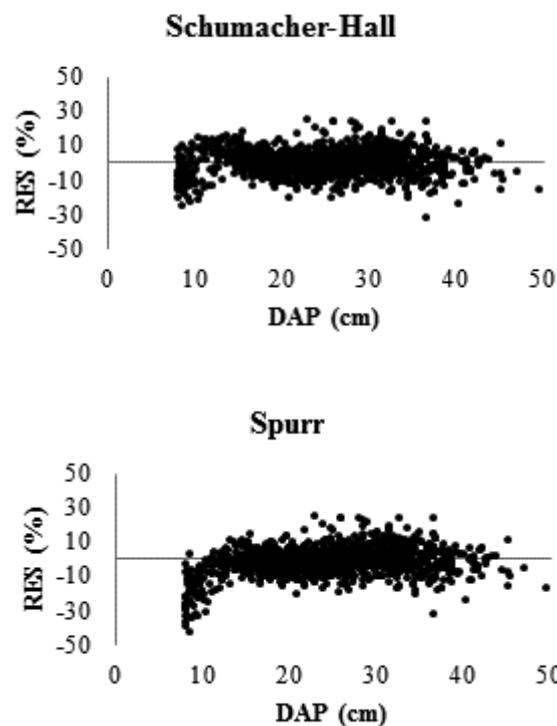


Figura 16. Distribuição de resíduos dos modelos de volume de Schumacher-Hall e Spurr, para plantios de *Pinus taeda* na região Oeste de Santa Catarina.

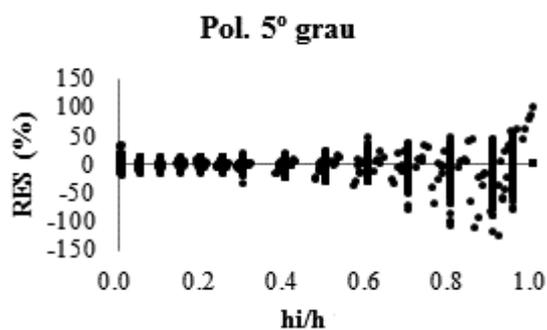


Figura 17. Distribuição de resíduos da função de afilamento do polinômio de quinto grau para plantios de *Pinus taeda* na região Oeste de Santa Catarina.

3.2 Ajuste dos modelos considerando a estratificação em Blocos

Em relação aos Blocos, ambos apresentaram estatísticas e coeficientes semelhantes entre si (Tabela 12), porém o Bloco B apresentou estatísticas dos erros em porcentagem ligeiramente superiores em relação ao Bloco A.

Em relação ao conjunto total de dados, os ajustes mostram-se muito semelhantes, sem ganhos significativos. Para o conjunto total de dados os erros de estimativa (Syx) e erros em porcentagem (Syx%) foram de 0,0416 m³ e 11,80% para o modelo de Schumacher-Hall e 0,0485 m³ e 13,87% para o modelo de Spurr.

No ajuste por blocos foi encontrado para o Bloco A, 0,0558 m³ para o erro padrão de estimativa (Syx) e 10,39% de erro em porcentagem (Syx%) no modelo de Schumacher-Hall, enquanto que para modelo de Spurr apresentou 0,0564 m³ e 10,51% para estas mesmas estatísticas. Houve ganho, portanto, nas estimativas dos erros em porcentagem dos dois modelos ajustados em relação ao ajuste para o conjunto total dados.

Para o bloco B os erros foram de 0,0408 m³ para o erro padrão de estimativa (Syx) e 11,57% do erro em porcentagem para o modelo de Schumacher-Hall. O modelo de Spurr demonstrou valores de 0,0399 m³ e 11,31% de erros de estimativa e em porcentagem. Em relação ao ajuste do conjunto total de dados, os valores foram melhores para as duas estimativas.

Quando se analisa o ajuste do polinômio de quinto grau para o conjunto total de dados e para cada Bloco, observa-se ganho no ajuste para os dados do Bloco A em relação ao erro padrão de estimativa em porcentagem (7,11% contra 7,28%) e ganho no ajuste do Bloco B em relação ao erro de padrão de estimativa (1,1783 cm contra 1,2088 cm).

Tabela 12. Coeficientes e estatísticas considerando duas regiões, Bloco A e Bloco B, para florestas de *Pinus taeda* da região do Oeste de Santa Catarina.

	Modelos		Coefficientes	R²adj	S_{xy}	S_{xy} (%)
Bloco A	Schumacher (volumétrico)	<i>b0</i>	-10,06072974	0,984	0,0558 (m ³)	10,39
		<i>b1</i>	1,967855137			
		<i>b2</i>	0,978816012			
	Spurr (volumétrico)	<i>b0</i>	0,014366061	0,984	0,0564 (m ³)	10,51
		<i>b1</i>	3,49381E-05			
	Pol 5° grau (afilamento)	<i>b0</i>	1,234143804	0,989	1,2271 (cm)	7,11
		<i>b1</i>	-3,836638128			
		<i>b2</i>	15,8963758			
		<i>b3</i>	-34,32582194			
		<i>b4</i>	32,30995195			
	<i>b5</i>	-11,27766352				
Bloco B	Schumacher (volumétrico)	<i>b0</i>	-10,03635434	0,985	0,0408 (m ³)	11,57
		<i>b1</i>	1,960095173			
		<i>b2</i>	0,979507167			
	Spurr (volumétrico)	<i>b0</i>	0,000391912	0,985	0,0399 (m ³)	11,31
		<i>b1</i>	3,63399E-05			
	Pol 5° grau (afilamento)	<i>b0</i>	1,252183242	0,987	1,1783 (cm)	7,35
		<i>b1</i>	-3,932878459			
		<i>b2</i>	16,28923504			
		<i>b3</i>	-35,49021217			
		<i>b4</i>	33,75605225			
	<i>b5</i>	-11,87304238				

Na Figura 18 pode-se observar a dispersão dos resíduos em porcentagem para os modelos de volume de Schumacher e Spurr e a função de afilamento para cada um dos Blocos.

Os maiores ganhos da estratificação ficam evidentes na análise da dispersão de resíduos. Enquanto que os gráficos da dispersão de resíduos dos modelos volumétricos apresentam a dispersão em porcentagem da diferença do volume observado pelo estimado por classes de DAP, os gráficos da distribuição de resíduos da função de afilamento demonstra a diferença, em porcentagem, do d_i estimado com o d_i observado em classes de alturas relativas.

Quando comparados aos resíduos do conjunto total de dados, a dispersão dos resíduos dos Blocos atingiram valores menores de discrepância das estimativas, tendo em vista a mesma escala do eixo Y dos resíduos.

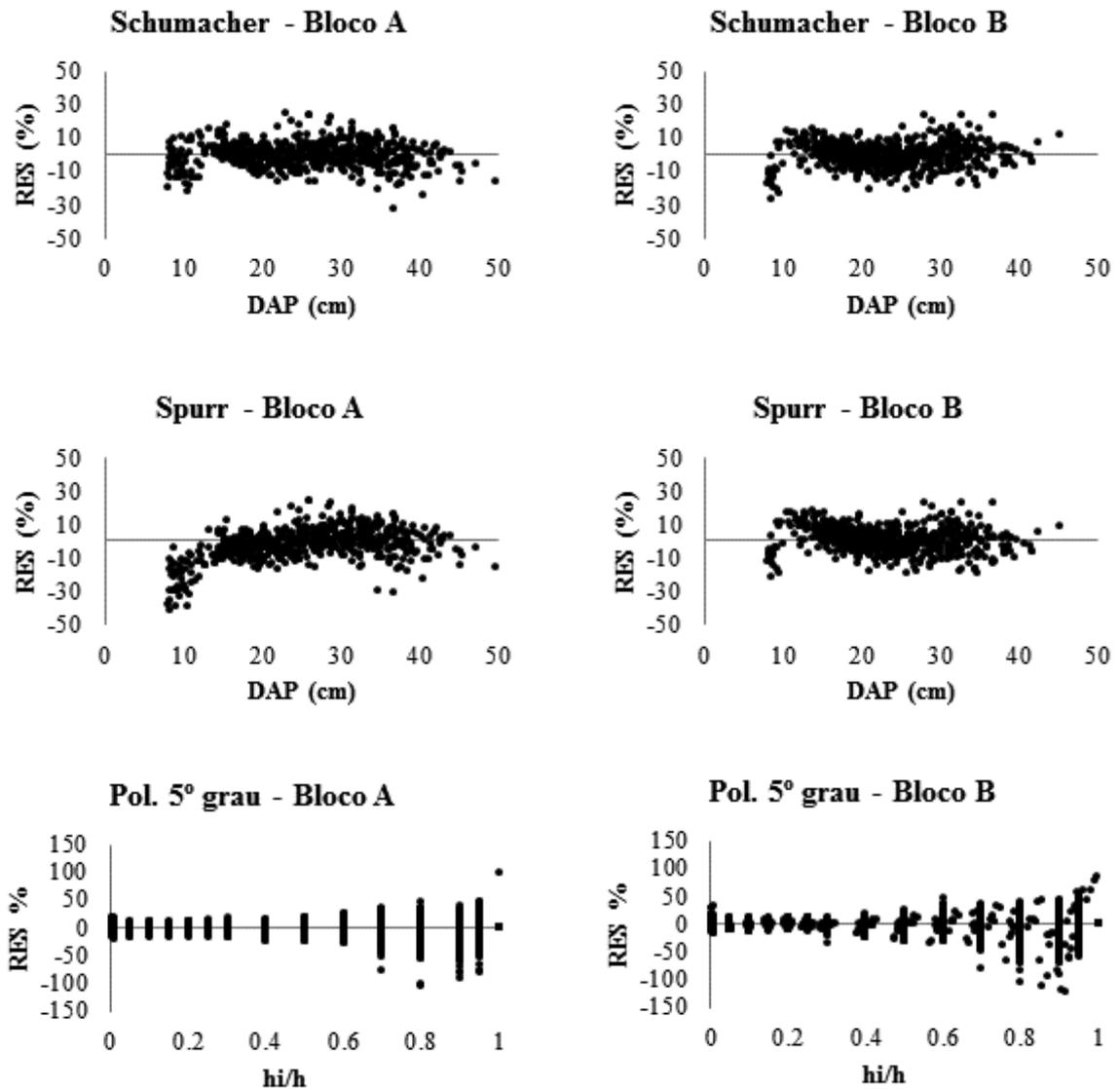


Figura 18. Dispersão dos resíduos por Bloco para os modelos de volume de Schumacher-Hall e Spurr e função de Afilamento do polinômio de quinto grau para florestas de *Pinus taeda* da região do Oeste de Santa Catarina.

3.3 Ajuste dos modelos em classes de idade para o Bloco A

Os dados foram também estratificados por classe de idade dentro de cada Bloco. Na Tabela 13 estão apresentados os coeficientes e as estatísticas do modelo de volume de

Schumacher-Hall e da função de afilamento do polinômio de quinto grau por classe de idade para o Bloco A. Na Figura 19 pode ser observada a dispersão dos resíduos de tais ajustes.

David et al. (2014) recomendam a estratificação por fator de forma, porém, os autores revelam a necessidade de realizar a modelagem do fator de forma artificial como sugerem Drescher et al. (2001), contudo outros métodos de obter o fator de forma das árvores podem ser adotados para o processo da estratificação.

Tabela 13. Coeficientes e estatísticas por classe de idade para o Bloco A de florestas de *Pinus taeda* da região do Oeste de Santa Catarina.

Classe de idade	Modelos	Coefficientes	R ² adj	Sxy	Sxy (%)		
7 a 10 anos	Shumacher (volumétrico)	<i>b0</i>	-9,545624802	0,988	0,0124 (m ³)	6,37	
		<i>b1</i>	1,945106445				
		<i>b2</i>	0,800145099				
	Pol 5º grau (afilamento)	<i>b0</i>	1,266517391	0,990	0,8157 (cm)	6,11	
		<i>b1</i>	-3,804102747				
		<i>b2</i>	15,21756766				
		<i>b3</i>	-33,6198371				
		<i>b4</i>	32,72228302				
		<i>b5</i>	-11,77916942				
	11 a 14 anos	Shumacher (volumétrico)	<i>b0</i>	-10,1270681	0,981	0,0431 (m ³)	8,70
			<i>b1</i>	1,978204273			
			<i>b2</i>	0,982190967			
Pol 5º grau (afilamento)		<i>b0</i>	1,218092523	0,992	1,0231 (cm)	6,18	
		<i>b1</i>	-3,892795576				
		<i>b2</i>	16,38300354				
		<i>b3</i>	-35,29052203				
		<i>b4</i>	33,04828076				
		<i>b5</i>	-11,46777464				
15 a 18 anos		Shumacher (volumétrico)	<i>b0</i>	-9,363983776	0,950	0,0630 (m ³)	6,93
			<i>b1</i>	1,737735205			
			<i>b2</i>	1,018378441			
	Pol 5º grau (afilamento)	<i>b0</i>	1,202837556	0,987	1,3898 (cm)	6,29	
		<i>b1</i>	-3,818645347				
		<i>b2</i>	16,30131226				
		<i>b3</i>	-34,3192831				
		<i>b4</i>	31,07286701				
		<i>b5</i>	-10,44139255				
	19 a 23 anos	Shumacher (volumétrico)	<i>b0</i>	-8,931903551	0,920	0,0939 (m ³)	7,64
			<i>b1</i>	1,679256371			
			<i>b2</i>	0,95825406			
Pol 5º grau (afilamento)		<i>b0</i>	1,201113447	0,986	1,604 (cm)	6,60	
		<i>b1</i>	-3,892678858				
		<i>b2</i>	16,80899631				
		<i>b3</i>	-35,25419779				
		<i>b4</i>	31,76558805				
		<i>b5</i>	-10,63049488				

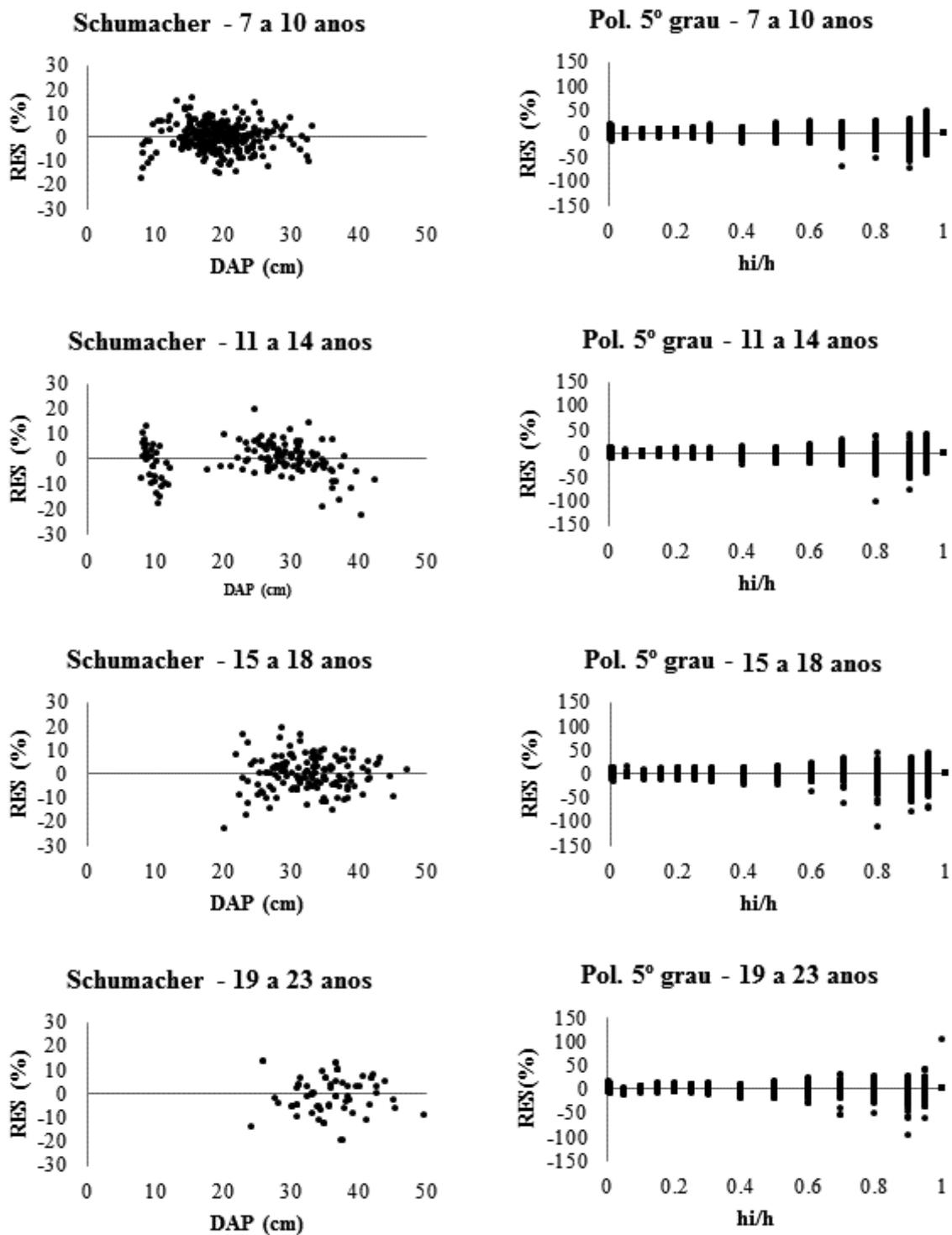


Figura 19. Dispersão dos resíduos para o Bloco Chapecozinho (A) para o modelo volumétrico de Shumacher-Hall e função de afilamento do Polinômio do Quinto Grau por classe de idade para florestas de *Pinus taeda* da região Oeste de Santa Catarina.

3.4 Ajuste dos modelos em classes de idade para o Bloco B

Na Tabela 14 observam-se os resultados encontrados para o Bloco B considerando a estratificação dos dados em classes de idade. As estatísticas estão próximas as encontradas para o Bloco A e denotam significativo decréscimo nos erros em porcentagem para cada classe de idade quando comparado ao conjunto total dados, e, quando observado o ajuste por Bloco.

Na Figura 20 pode-se observar a dispersão de resíduos, que assim como no ajuste por classe de idade para o Bloco A, houve ligeira melhora em relação a tendenciosidade dos ajustes para o modelo de volume, enquanto que para o modelo de afilamento fica mais evidente que a dispersão dos resíduos diminuiu.

Tabela 14. Coeficientes e estatísticas por classe de idade para o Bloco B de florestas de *Pinus taeda* da região do Oeste de Santa Catarina.

Classe de idade	Modelos	Coefficientes	R ² adj	Sxy	Sxy (%)		
Bloco Cachoeira (B)	Shumacher (volumétrico)	b0	-9,62815453	0,984	0,0138 (m ³)	7,09	
		b1	1,949143041				
		b2	0,827552393				
	7 a 10 anos	Pol 5º grau (afilamento)	b0	1,27121875	0,989	0,8664 (cm)	6,47
			b1	-3,904844177			
			b2	15,74714683			
			b3	-34,59825824			
			b4	33,39956107			
	11 a 14 anos	Pol 5º grau (afilamento)	b5	-11,91193973	0,989	1,2421 (cm)	6,26
			b0	-9,970318599			
			b1	1,863802618			
			b2	1,067145859			
			b0	1,218092523			
	15 a 18 anos	Pol 5º grau (afilamento)	b1	-3,892795576	0,929	0,0698 (m ³)	7,60
			b2	16,38300354			
b3			-35,29052203				
b4			33,04828076				
b5			-11,46777464				
19 a 22 anos	Pol 5º grau (afilamento)	b0	-10,28282699	0,989	1,3513 (cm)	6,06	
		b1	1,860639735				
		b2	1,181226377				
		b0	1,202837556				
		b1	-3,818645347				
	Shumacher (volumétrico)	b2	16,30131226	0,886	0,0859 (m ³)	9,64	
		b3	-34,3192831				
		b4	31,07286701				
		b5	-10,44139255				
		b0	-10,09317394				
	Shumacher (volumétrico)	b1	1,919306052	0,980	1,6162 (cm)	7,48	
		b2	1,072050808				
		b0	1,201113447				
		b1	-3,892678858				
		b2	16,80899631				
	Pol 5º grau (afilamento)	b3	-35,25419779				
		b4	31,76558805				
		b5	-10,63049488				
		b0					
		b1					

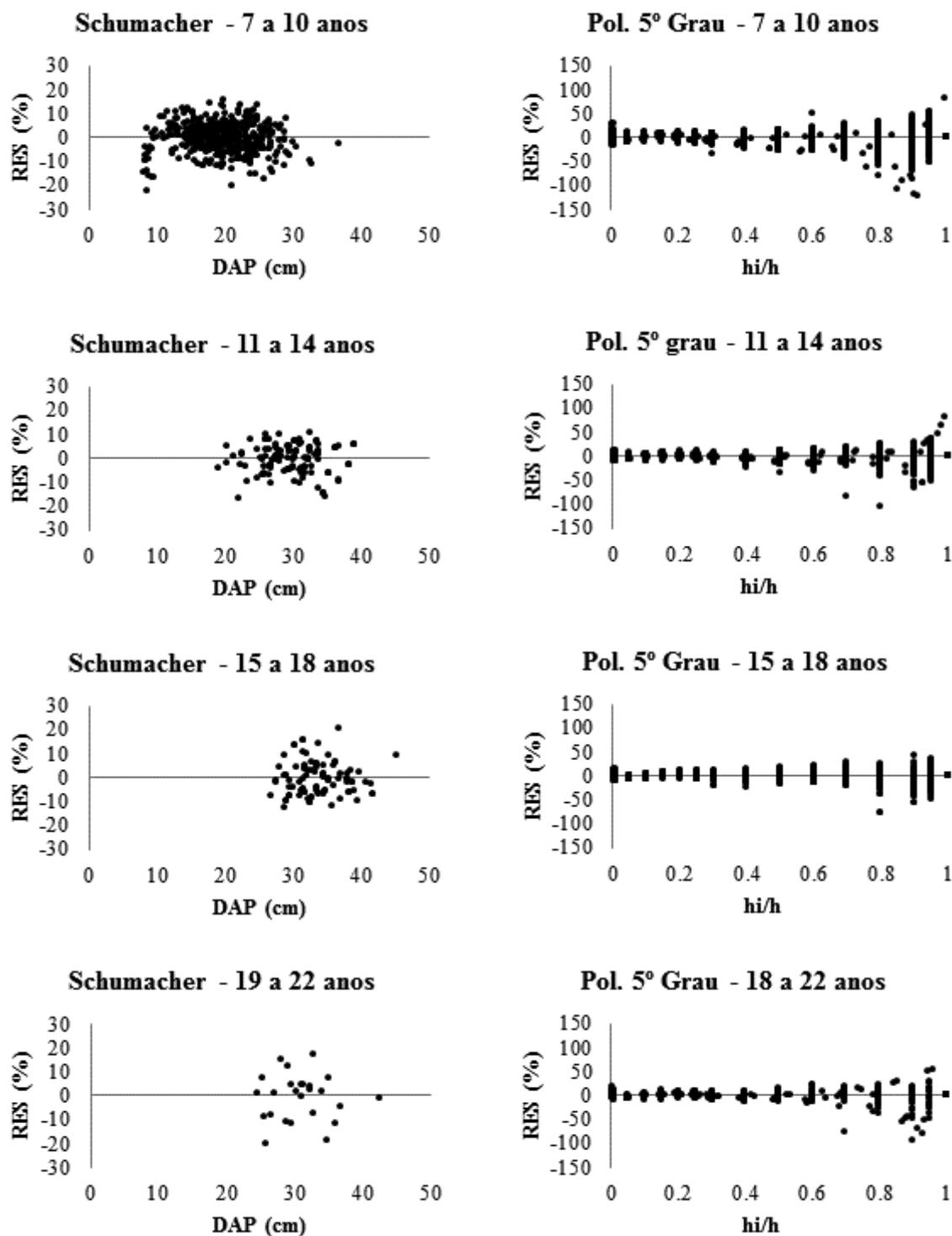


Figura 20. Dispersão dos resíduos para o Bloco Cachoeira (B) para o modelo volumétrico de Shumacher-Hall e função de afilamento do Polinômio do Quinto Grau por classe de idade para florestas de *Pinus taeda* da região Oeste de Santa Catarina.

3.5 Comparação dos ajustes

O ajuste por classe de idade mostrou estatísticas semelhantes entre os Blocos A e B. Para efeitos de comparação, na Tabela 15 são apresentados valores médios dos erros de estimativa em porcentagem para os modelos de volume de Spurr e de Schumacher-Hall e o modelo de afilamento do Polinômio do 5º grau em relação às formas de ajuste dos dados, sendo os ajustes feitos: para o conjunto total dos dados, para os Blocos (ou regiões A e B) e, posteriormente, em classes de idade para cada Bloco.

Observa-se que os valores médios dos erros diminuíram com a estratificação dos dados para o ajuste dos modelos, ressaltando-se que os modelos de volume tem o erro padrão de estimativa em porcentagem para o volume (m^3) e o polinômio de quinto grau tem o erro padrão de estimativa em porcentagem para o d_i (cm).

Miranda (2012), em uma análise da estratificação dos dados por classe de DAP para modelagem do volume para *Eucalyptus* sp., encontrou diferença significativa nos resultados, embora o erro padrão de estimativa de ambas as formas de ajuste fora inferior a 10%, além de que quando estimados, os volumes se mostram muito semelhantes independente da forma de ajuste.

Tabela 15. Médias dos erros de estimativa em porcentagem para os modelos de volume e afilamento.

Forma de ajuste dos dados	Syx% (Spurr)	Syx% (Schumacher-Hall)	Syx% (Polinômio do 5º grau)
Conjunto de dados	13,87%	11,8 %	7,28 %
Blocos	10,91%	10,98 %	7,23 %
Classe de idade	-	7,57 %	6,43 %

4. CONCLUSÃO

Todos os modelos ajustados apresentaram estimativas adequadas. Dentre os modelos volumétricos, o de Schumacher-Hall mostrou-se superior ao modelo de Spurr, no ajuste do conjunto total de dados e para os Blocos.

Em relação ao modelo de afilamento ajustado, este se mostrou adequado e com estatísticas satisfatórias, de maneira que seus coeficientes podem ser utilizados para determinar volume por sortimento, o que é mais vantajoso para o inventário florestal e planejamento de plantios de *Pinus taeda* com a finalidade de obter-se multiprodutos.

A estratificação dos dados por Blocos mostrou-se satisfatória analisando-se os resíduos e erros menores. A estratificação por idade revelou-se ainda melhor pelas estatísticas apresentadas e gráficos de resíduos menos tendenciosos em relação ao ajuste apenas por blocos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 4ª edição. Viçosa – MG. Ed UFV, 2013.
- DAVID, H. C., MARINHESKI FILHO, A., PELISSARI, A., PÉLLICO NETTO, S., ARAÚJO, E., BRAUM, L. Critérios de estratificação para o ajuste de funções de afilamento em fustes de pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brazilian Journal of Forestry Research. v. 34, n. 79 (2014).
- DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; QUEIROZ, F. L. C. Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* Engelm para a região da serra do sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 31, n. 1, p. 37-42, 2001.
- FIGUEIREDO FILHO, A. MACHADO, S. A., MIRANDA, R. O. V. RETSLAFF, F. A. S. **Compêndio de equações de volume e afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil**. Curitiba: os autores. 2014.
- IBÁ. **Indústria brasileira de árvores**. Elaboração do Relatório IBÁ 2015: Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios. São Paulo/SP. 2015.
- KOHLER, S. V., RESTSLAFF, F. A. S., FIGUEIREDO FILHO, A., WOLFF II, N. I. Diferentes métodos de ajuste do modelo volumétrico de Schumacher e Hall. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4, 2012. Curitiba, Paraná. **Anais...** Curitiba: UNICENTRO, 2012
- KOHLER, S. V., KOHLER, H. S., FIGUEIREDO FILHO, A. Modelos de afilamento para *Pinus taeda* por classe de idade. **Floresta e Ambiente**. 20(4): 470-479. 2013.
- 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 desbastes em plantações de *Pinus oocarpa* Schide. **Boletim de Pesquisa Florestal**. 2004; 48: 41-64.
- MIRANDA, R. O V. **Modelagem em nível de povoamento para *Eucalyptus* sp. com estratificação em classes de precipitação pluviométrica**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciências Florestais. UNICENTRO. Irati, PR, 2012.
- OLIVEIRA, M. L. R.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; CAMPOS, J. C. C.; SOARES, C. P. B.; SANTANA, R. C. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, 2009.
- SCHOPFER, W. **Automatisierung dès Massen, Sorten und Wertberechnung stender Waldbestände Schriftenreihe Bad**. [S.I.]: Wurttt-Forstl., 1966.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734, 1933.
- SCOLFORO, J. R. **Mensuração Florestal 3: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras, MG: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.
- SOUZA, C. A. M., **Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação**. [Tese]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 2009.

YOSHITANI JUNIOR, M. **Avaliação biométrica e econômica de plantios de *Pinus taeda* L. em Santa Catarina**. Dissertação de mestrado. Mestrado em Ciências Florestais. UFPR. Curitiba – PR. 2009.

CAPÍTULO III

**PLANEJAMENTO E REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE PLANTIOS DE *Pinus taeda*
L. NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL**

1. INTRODUÇÃO

Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2015) revela que o consumo de madeira por pessoa no mundo inteiro é de 1 m³ por ano. Este dado é, de certa forma, bastante relativo frente ao fato de que um habitante pode consumir mais que outro e tal estimativa pode incluir o consumo de fábricas e indústrias. Porém, a título ilustrativo, é possível, por tal estudo, mensurar o consumo de madeira, no mundo, por cada habitante.

Deve ser considerado que tal consumo é, por vezes, indireto, uma vez que a madeira pode ser consumida como fonte de energia, na fabricação de papel e derivados, de móveis, brinquedos, construção civil e naval, sem exclusão de inúmeros outras aplicações. Além disso, com o comércio hoje globalizado, a produção em um país pode ser consumida em qualquer lugar do mundo.

O produto “madeira” teve seu uso multiplicado e diversificado ao longo dos anos, sempre com imensurável aproveitamento. Dada sua reconhecida importância, é inevitável que as tecnologias de aperfeiçoamento de produção estejam em constante processo de evolução e otimização, sendo de atual e merecido destaque o aproveitamento da biomassa e resíduos de madeira como bens de efetivo valor no mercado.

Os produtos derivados da madeira podem, inclusive, apresentarem-se com requinte e sofisticação quando, por exemplo, são utilizados na fabricação de móveis ou em outras aplicações na construção civil, constituindo-se num ativo moderno e de importante valorização econômica.

É neste cenário, e com algumas vantagens, que o gênero *Pinus* se sobressai. Bem adaptado no Sul do Brasil, possui crescimento rápido e qualidade que lhe permite o processamento para diversos fins, como laminação, serraria, celulose e energia, para ficar apenas nestes.

Constituindo-se numa cultura de espécie exótica, é bem vista tanto por seu valor econômico quanto por sua contribuição na preservação do meio ambiente. As severas leis que regulam utilização de espécies nativas do Brasil inviabilizam sua extração comercial, especialmente quando associada ao conceito de devastação da vegetação natural como já se deu no Centro-Oeste e Sul do Brasil nas décadas passadas, advindo daí a importância de florestas cultivadas com espécies exóticas.

É deste modo que as florestas naturais cumprem hoje, basicamente, função conservacionista, sendo raras as outorgas de licenças a permitir seu manejo sustentável, o que se vê, com muita restrição na região Norte do País.

O gênero *Pinus*, então, se oferece como contraponto a permitir a exploração econômica de madeira, possibilitando a produção de multiprodutos derivados e de consagrada qualidade, diminuindo, por conseguinte a pressão relacionada com a extração de florestas naturais.

Naturalmente que o melhoramento nas diversas espécies de *Pinus*, especialmente os relacionados ao seu crescimento, não é garantia de produtividade, assegurar vantagem econômica, na medida em que tais situações podem ser influenciadas pelas condições edafoclimáticas, que podem ser diferentes ainda que numa mesma fazenda.

Fatores como declividade, tipo de solo e microclima, podem ser decisivos no crescimento da floresta. É neste contexto que seu manejo otimizado pode exigir ações diferentes em cada sítio. O desafio, portanto, consiste em buscar a melhor forma de maximizar a produtividade de maneira a satisfazer as demandas do mercado.

Com planos a longo prazo em relação a produção florestal, a organização e controle de rendimento sustentado é presumível, ainda com possibilidade de equilíbrio entre crescimento, produção e corte da florestal

Os estudos aqui propostos têm o intuito de propiciar o planejamento de plantios com diferentes idades e tamanho de áreas da região Oeste do Estado de Santa Catarina.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e características dos plantios

Os plantios estão localizados no Oeste do Estado de Santa Catarina, conforme Figura 21. As florestas constituídas por *Pinus taeda* pertencem à empresa ADAMI S/A.

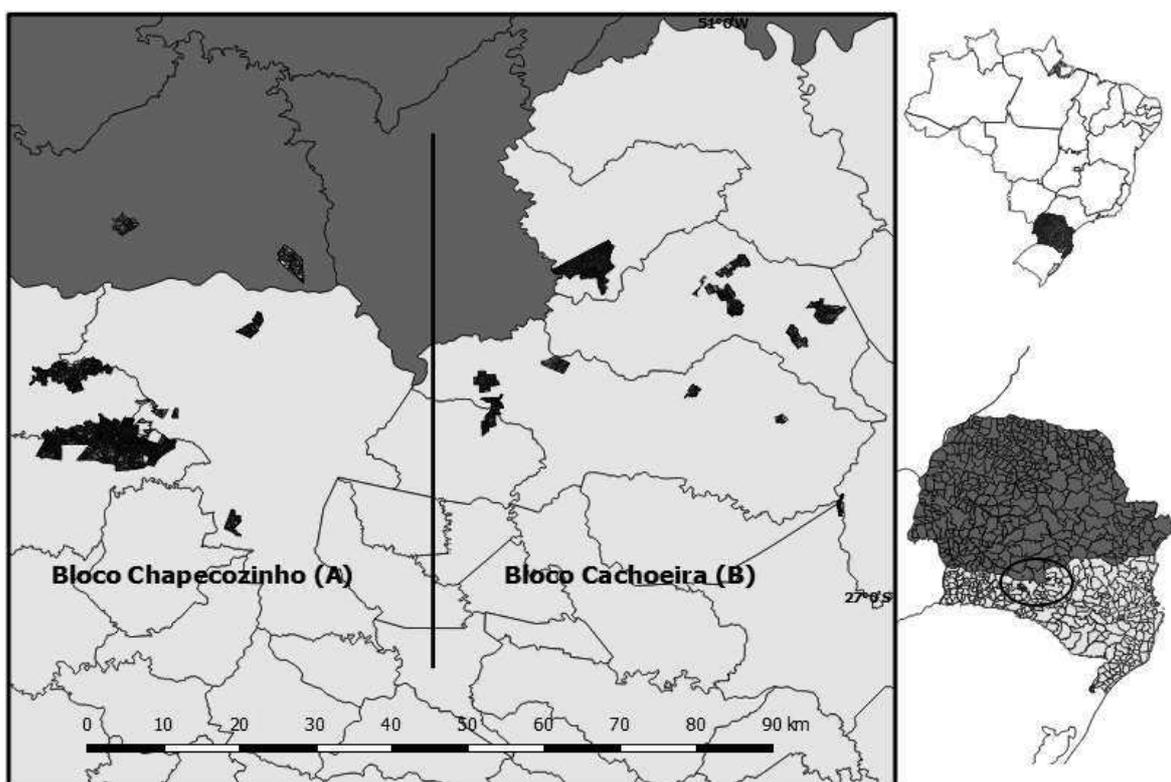


Figura 21. Mapa de localização dos plantios de *Pinus taeda*.

Na Figura 22 é apresentada a distribuição das áreas, em hectares, pelo ano dos plantios, considerando o número desbastes realizados até o ano de 2015. A área total plantada conta com 15.533,42 hectares

As florestas apresentam 78% de sua área classificada em sítio II (médio), 14% em sítio I (bom), e 8% em sítio III (regular).

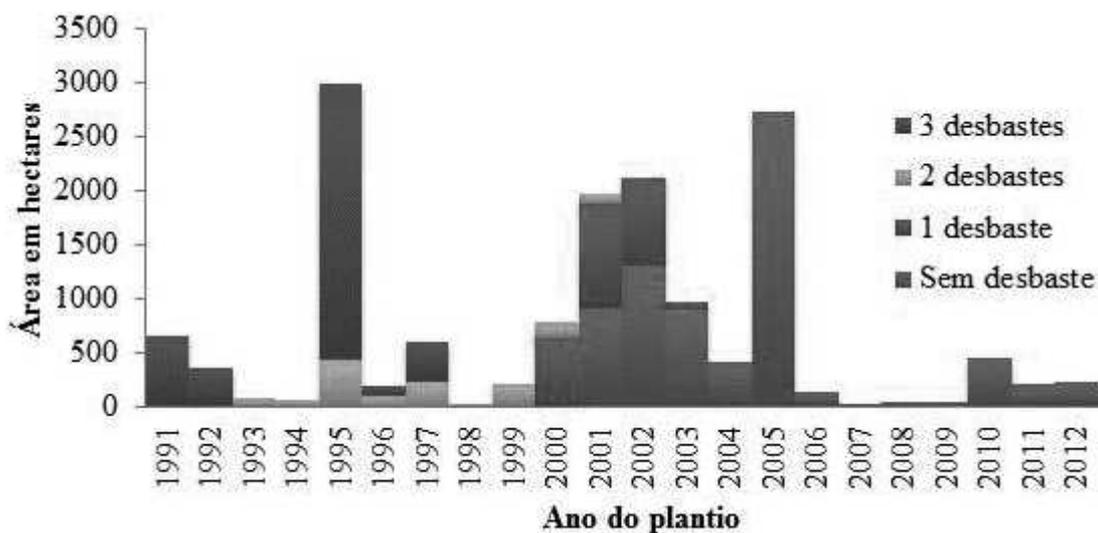


Figura 22. Número de desbastes realizados até o ano de 2015.

2.2 Software OpTimber-LP

O processamento foi realizado com o software de planejamento florestal estratégico otimizado OpTimber-LP v.2.7.8.

Conforme o Manual do usuário do OpTimber-LP (2007), o programa conta com módulos que seguem uma sequência para iniciar a simulação do planejamento. O programa conta com módulos de Trabalho, Importação, Tabela, Projeto, Restrições, Manejo, Resolver, Mapa, Gráfico, Resumo e Agenda.

O módulo Trabalho é um ambiente onde se cria uma base de dados onde ficam disponíveis as informações do planejamento a ser realizado. Todas as informações ficam registradas em banco de dados no formato MDB (exemplo MP0054.mdb) e cada trabalho pode ter uma ou mais soluções, guardadas em pastas específicas (exemplo pastas solu0015, solu0016...), como pode ser observado na Figura 23.

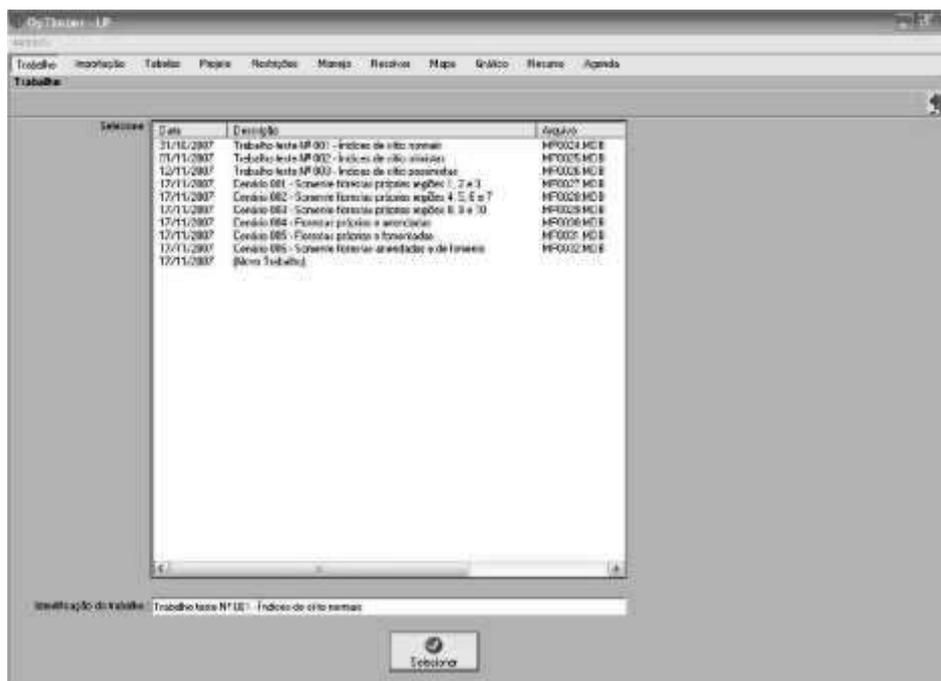


Figura 23. Tela do módulo trabalho do programa OpTimber.

O módulo Importação é o próximo passo responsável pela inserção dos dados do cadastro florestal no programa OpTimber, considerando o Manual do Usuário do OpTimber (2007), geralmente a equipe técnica do OpTimber realiza as primeiras importações (Figura 24).

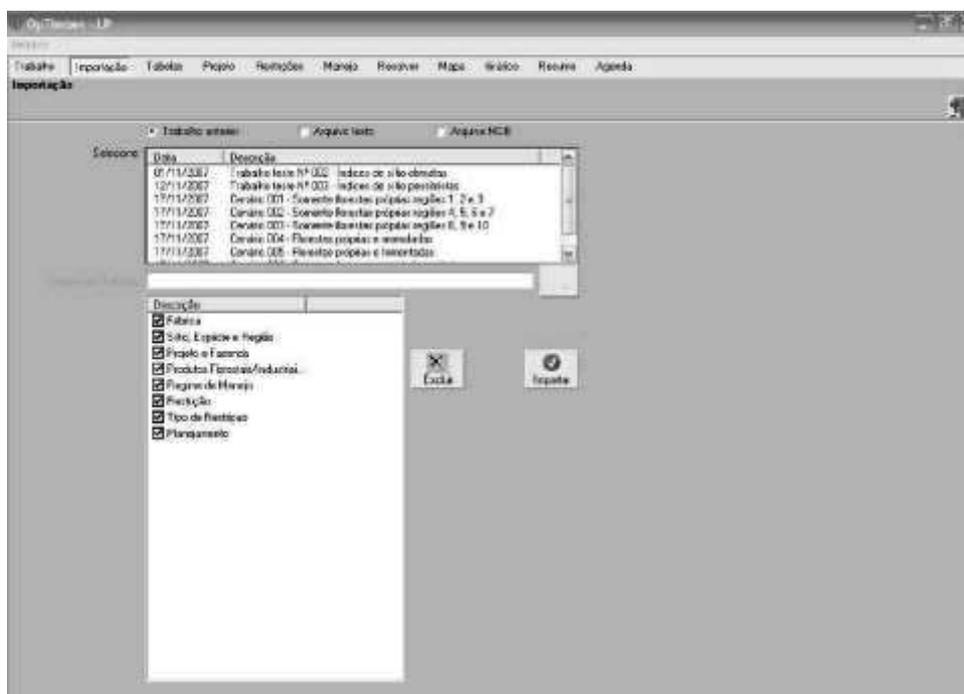


Figura 24. Tela do módulo Importação do programa OpTimber.

O próximo módulo preenchido é o de Tabela, conforme a Figura 25, itens como espécie, sítio, região (Blocos), produto florestal (sortimentos) foram informados.

Código	Descrição	Un	Idad	Espécie	D. m	D. f	Comp	Poda	Podação	Alter
PT 5-8	Pinus Taeda Ply Log	M3	18	Pinus taeda	8	18	2,40	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PD 5-18	Pinus Diversa Ply Log	M3	11	Pinus diversata	8	18	2,80	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
EU 8-18	Eucalypto Diverso Ply Log	M3	12	Eucalypto	8	18	2,40	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PT 10-23	Pinus Taeda Saw Log 1	M3	20	Pinus taeda	10	23	2,55	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PD 18-23	Pinus Diversa Saw Log 1	M3	21	Pinus diversata	10	23	2,55	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
EU 18-23	Eucalypto Diverso Saw Log 1	M3	22	Eucalypto	10	23	2,55	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PT 23-38	Pinus Taeda Saw Log 2	M3	30	Pinus taeda	23	38	2,65	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PD 23-38	Pinus Diversa Saw Log 2	M3	31	Pinus diversata	23	38	2,65	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
EU 23-38	Eucalypto Diverso Saw Log 2	M3	32	Eucalypto	23	38	2,65	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PT 30-47	Pinus Taeda Saw Log Plus 1	M3	40	Pinus taeda	30	48	2,65	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PD 38-48	Pinus Diversa Saw Log Plus 1	M3	41	Pinus diversata	30	48	2,65	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
EU 38-48	Eucalypto Diverso Saw Log Plus 1	M3	42	Eucalypto	30	48	2,65	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PT 40-47 Podação	Pinus Taeda Saw Log Plus 1 Podação	M3	50	Pinus taeda	30	48	2,30	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>
PD 38-48 Podação	Pinus Diversa Saw Log Plus 1 Podação	M3	51	Pinus diversata	30	48	2,30	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>
EU 38-48 Podação	Eucalypto Diverso Saw Log Plus 1 Podação	M3	52	Eucalypto	30	48	2,30	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>
PT 48+	Pinus Taeda Saw Log Plus 2	M3	60	Pinus taeda	48	58	2,65	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PD 48+	Pinus Diversa Saw Log Plus 2	M3	61	Pinus diversata	48	58	2,65	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
EU 48+	Eucalypto Diverso Saw Log Plus 2	M3	62	Eucalypto	48	58	2,65	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>
PT 40+ Podação	Pinus Taeda Saw Log Plus 2 Podação	M3	70	Pinus taeda	48	58	2,30	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>
PD 48+ Podação	Pinus Diversa Saw Log Plus 2 Podação	M3	71	Pinus diversata	48	58	2,30	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>
EU 48+ Podação	Eucalypto Diverso Saw Log Plus 2 Podação	M3	72	Eucalypto	48	58	2,30	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>

Figura 25. Tela do módulo Tabela do programa OpTimber.

O programa ainda conta com o módulo Projeto, onde é possível observar as informações importadas, de maneira que se podem analisar um a um os projetos do cadastro florestal importado, e nesta tela correções ou informações específicas podem ser adicionados a determinada área, como por exemplo, coeficientes da função de afilamento.

Na tela de Restrições, volumes mínimos e máximos de produção anual foram definidos, de maneira a regular em 400.000 m³ de madeira por ano. A tela Manejo permite a seleção dos regimes de manejo.

O módulo Resolver se encarrega da resolução do problema de otimização propriamente dito via Programação Linear por meio de um solver externo. Entre as atribuições deste módulo estão as de gerar os regimes de manejo com as regras estabelecidas pelo usuário no módulo Manejo, enviar as informações dos regimes de manejo florestal aos simuladores de crescimento e produção (SisPinus), compor as matrizes com a função objetivo e as restrições para que possam ser compiladas e interpretadas pelo solver externo (LINGO), acionar o solver para que este efetue a resolução matemática do problema, importar as respostas ótimas do solver e transformar as mesmas em tabelas, gráficos e mapas.

2.2.1. Banco de dados

O banco de dados conta com 66 projetos, com áreas que variam de 9 (nove) a 2.523 hectares. Na Tabela 14 observa-se o cadastro dos projetos florestais para ser empregado no software OpTimber-LP.

Além do cabeçalho, que pode ser observado na Tabela 16, o cadastro conta ainda com o nome da fazenda, área basal, altura de poda e os coeficientes da função de afilamento.

Tabela 16. Tabela de *input* para o programa OpTimber-LP, com as variáveis necessárias ao planejamento.

CodProjeto	Area	Regiao	Propriedade	Municipio	...	Sitio	AnoPlntio	AnoInv	DensInv	DG	NroDesbastes
SFC 91	653,8	A	P	Ponte Serrada	...	21	1991	2011	385,85	37,59	3
SFC 92	363,94	A	P	Ponte Serrada	...	25	1992	2011	380,93	37,60	3
SFC 93	75,5	A	P	Ponte Serrada	...	21	1993	2012	428,71	39,75	2
AMP 95	133,09	A	P	Passos Maia	...	21	1995	2010	780,1	29,39	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A30 06	108,01	B	A	Matos Costa	...	21	2006	2013	1750,07	16,77	0

CodProjeto: Código do projeto; Área em hecatres; Região: Bloco A ou B; Propriedade: própria ou arrendada; Município; Sítio: conforme classificação no capítulo I; AnoPlantio: ano de plantio; DensInv: número de árvores no ano do último inventário; DG: diâmetro da área basal; NroDesbastes: número de desbastes.

Os coeficientes da função de afilamento obtidos pelos ajustes realizados no capítulo II para o polinômio de quinto grau por região, ou Bloco, podem ser observados nas equações que seguem, para cada Bloco:

$$d_i = DAP \left(1,234143804 - 3,836638128 \left(\frac{h_i}{h} \right) + 15,8963758 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 - 34,32582194 \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + 32,30995195 \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 - 11,27766352 \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 \right) \quad (\text{A})$$

$$d_i = DAP \left(1,252183242 - 3,932878459 \left(\frac{h_i}{h} \right) + 16,28923504 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 - 35,49021217 \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + 33,75605225 \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 - 11,87304238 \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 \right) \quad (\text{B})$$

O sortimento e respectivos preços estão em conformidade com o que a empresa atualmente utiliza. Os preços são tabelados de acordo com a Radar Silviconsult, para a região de Caçador - SC, como pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 17. Sortimento e preços praticados para florestas de *Pinus taeda* na região Oeste de Santa Catarina, Brasil.

Sortimento	SI	SII	SIII	SIV*	Resíduo
		> 35 cm	23 – 35 cm	16 – 23 cm	8 – 16 cm
Comprimento	2,50 m	2,50 m	2,50 m	2,50 m	1,2 m
Valor (R\$/m³)**	133,70	79,10	50,70	22,00	5,00

*SI: sortimento I (ponta fina da tora > 35 cm); SII: sortimento II (ponta fina da tora ≥ 23 cm); SIII: sortimento III (ponta fina da tora ≥ 16 cm) e SIV: sortimento IV (ponta fina da tora ≥ 8 cm). **Radar Silviconsult.

Os valores dos custos foram cedidos pela empresa e enunciados na Tabela 18. Os custos variam de acordo com o manejo praticado e podem ter o ano variado para as atividades de desbastes e colheita conforme o regime de manejo utilizado. Os custos foram inseridos ao programa conforme a Figura 26.

Tabela 18. Custos da produção de *Pinus taeda* na região Oeste de Santa Catarina, Brasil.

Descrição do custo	R\$/ha	R\$/m ³
Plantio	1.165,00	-
Limpeza 1	188,00	-
Limpeza 2	152,00	-
Combate a formiga	25,93	-
Poda 1	355,00	-
Poda 2	355,00	-
1º Desbaste	-	21,03
2º Desbaste	-	20,08
3º Desbaste	-	18,11
Corte raso	-	15,02
Carregamento	-	3,68
Guinchamento	-	1,71
Descarga	-	2,85
Baldeação	-	7,35
Proteção	-	15,00

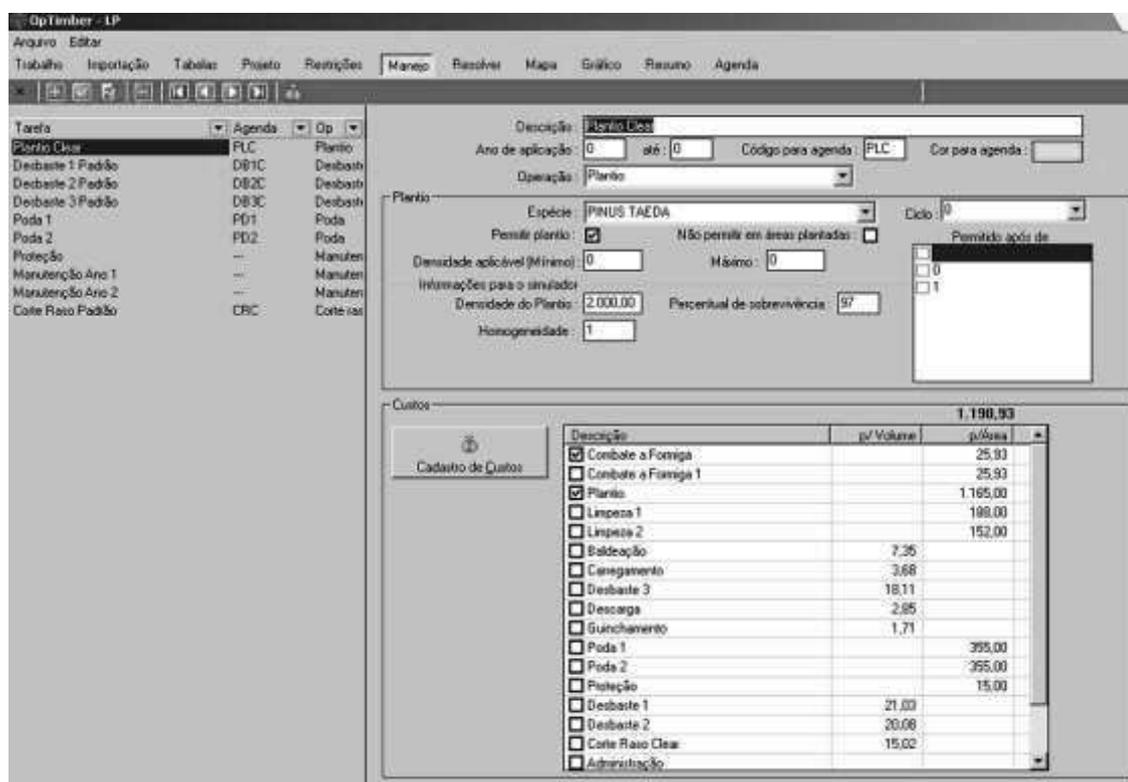


Figura 26. Ambiente do programa OpTimber para seleção dos custos por tarefa.

2.3. Regimes de Manejo

Com o cadastro importado no programa, lançaram-se quatro regimes de manejo (Tabela 19), para que fossem atendidos os projetos cujo desbaste não foi aplicado no período praticado pela empresa.

Tabela 19. Regimes de manejo aplicados às situações dos plantios.

Manejo	Intervenção	Idade (anos)	Árvores remanescentes
<i>Pulpwood</i>	Corte raso	16 a 17	1.600/ha
<i>Utilitywood</i>	1º desbaste	13 a 14	800/ha
	Corte raso	19 a 21	-
<i>Clearwood</i> (alternativo)	1º desbaste	10 a 12	800/ha
	2º desbaste	14 a 15	400/ha
	Corte raso	18 a 21	-
<i>Clearwood</i> (Manejo ADAMI)	1º desbaste	8 a 9	1000/ha
	2º desbaste	12 a 13	500/ha
	3º desbaste	16 a 17	250/ha
	Core raso	20 a 25	-

Na Figura 27 observa-se o ambiente onde os manejos são inseridos e ativados. Vale ressaltar que podem ser utilizados tantos manejos quantos forem necessários. Porém, para esta pesquisa, os manejos da Tabela 17 foram utilizados para se adequarem àqueles projetos onde o Manejo ADAMI não era possível, como, por exemplo, projetos que tinham 13 e 14 anos e não foram desbastados, de forma que para a rotação seguinte o projeto entrava imediatamente para o Manejo ADAMI, que conta com três desbastes e corte raso.

Optou-se por um planejamento num horizonte de 20 anos, de maneira que a produção mínima ficasse regulada em 400.000 m³/ano, para toda a área das florestas. Todos os projetos tiveram reposição, ou seja, após o corte raso, toda a área era submetida ao replantio.

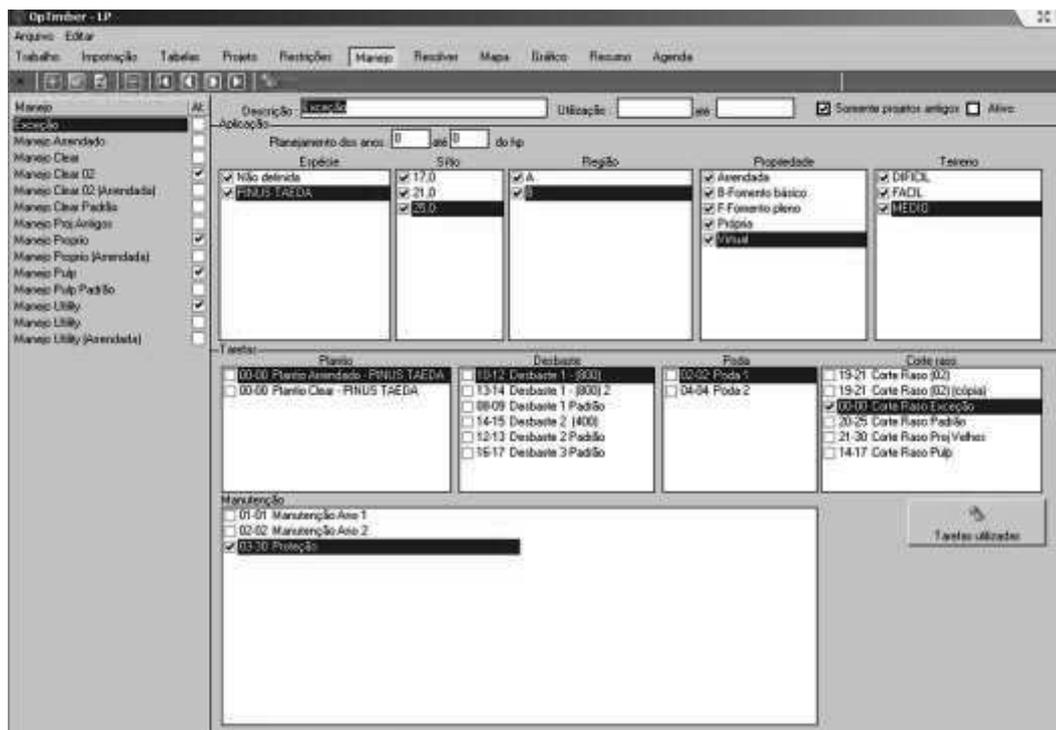


Figura 27. Ambiente do programa OpTimber para seleção de regimes de manejo.

2.4. Otimização

Para resolver o problema de otimização, utilizou-se como função objetivo a maximização do valor presente líquido (VPL), e como restrições limites anuais de produção, áreas anuais de manejo volume por tipo de operação. A taxa de juros utilizada neste trabalho foi de 10% ao ano.

Segundo Rezende e Oliveira (2013), a fórmula do VPL representa a diferença entre a soma nos anos j do valor presente das receitas (R_j) e dos custos (C_j) de um projeto, considerando uma taxa de desconto (i).

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1 + i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1 + i)^{-j}$$

Em que:

VPL = Valor presente líquido;

C_j = custo no final do ano j ;

R_j = receita no final do ano j ;

i = taxa de desconto;

n = duração do projeto, em anos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção

A partir da restrição de abastecimento de 400.000 m³/ano, observa-se que a maximização do VPL permitiu a regularização da produção da floresta, garantindo suprimento de madeira para essa produção, como pode ser observado na Figura 28.

Além disso, observa-se que há um excedente de produção nos primeiros anos, que pode ser explicado pela idade elevada de alguns projetos que precisaram ser desbastados e submetidos ao corte raso logo nos primeiros anos do horizonte de planejamento.

A produção chega em 900.000 m³ em 2015 e 1.100.000 m³ nos anos de 2016 e de 2017, sendo que nos anos seguintes a produção tende a diminuir até estabilizar na restrição mínima de 400.000 m³ por ano.

Miranda (2003) afirma que o excedente, ou mesmo o *déficit* de produto, em determinados períodos resultam em incertezas no planejamento produtivo de uma empresa, além da necessidade de recorrer ao mercado para complementar a demanda ou disponibilizar o excedente de produção, como é o caso observado.

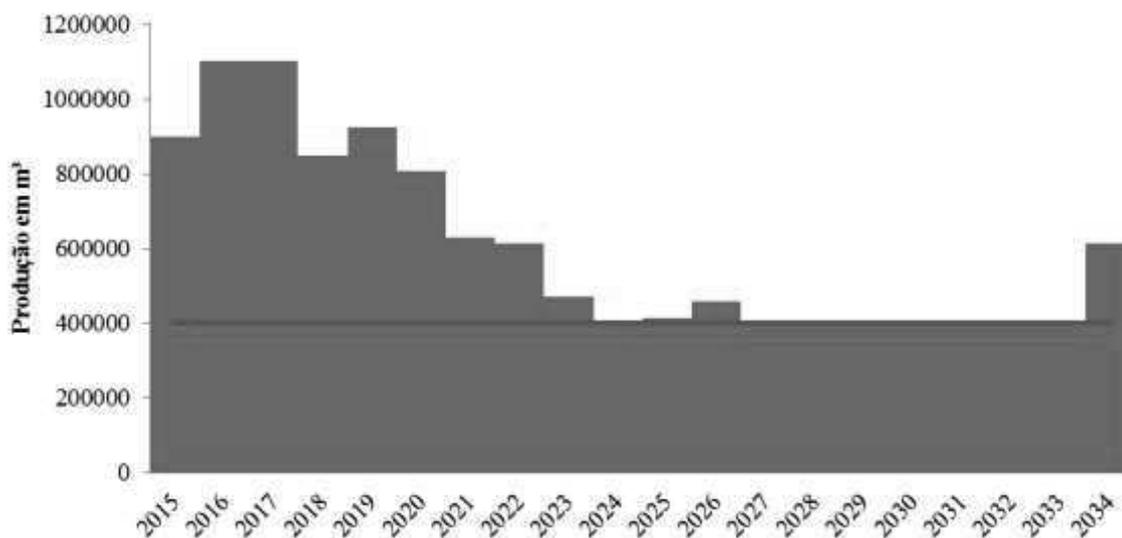


Figura 28. Produção para o horizonte de planejamento de vinte anos.

Além da produção bruta, é importante analisar o sortimento por ano do horizonte de planejamento. Na Figura 29 pode-se observar a produção por sortimento, além disso, observa-se também a porcentagem que o sortimento representa em cada ano.

O sortimento SI (> 35 cm), que são toras com mais de 35 cm da ponta fina, foi expressivo nos primeiros anos de planejamento, e, pode ser explicado em virtude de projetos antigos que estenderam o corte raso até o limite proposto pelo manejo, de forma que a partir de 2029 tal sortimento é praticamente imperceptível. Até este ano o sortimento SII (23 a 35cm) foi o mais expressivo, em média representa 40% do sortimento do ano. Após 2029 o sortimento SIII (16 a 23 cm) e SIV (8 a 16 cm) são os mais representativos.

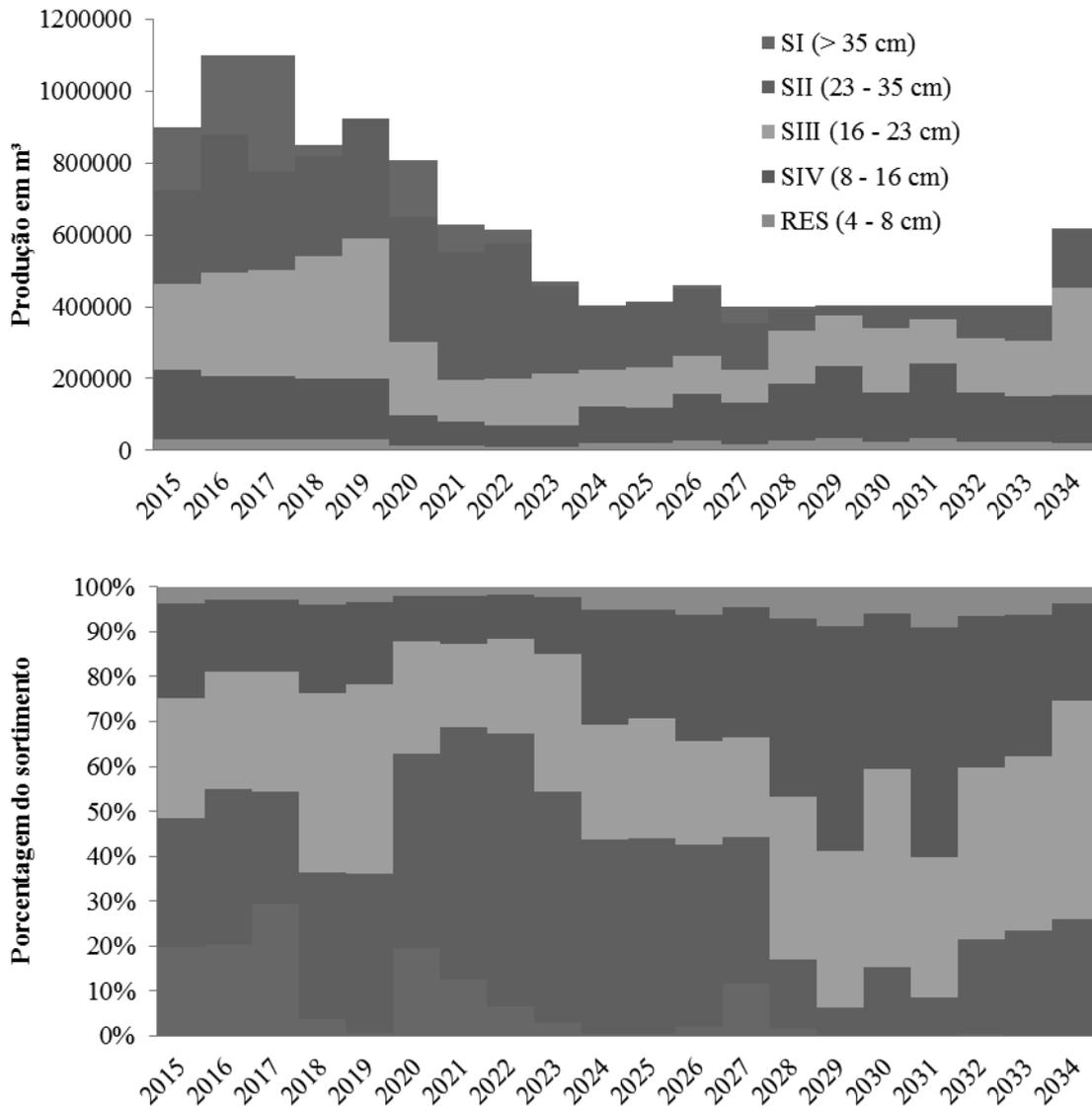


Figura 29. Sortimento e porcentagem de sortimento por ano do horizonte de planejamento.

3.2 Manejo

Dos manejos utilizados, *Puplwood*, *Utilitywood* (um desbaste), e *Clearwood* alternativo (dois desbastes) e *clearwood* ADAMI (três desbastes), buscou-se que somente este último manejo se mantivesse.

A disposição dos manejos pela área (em hectares) pode ser observada na Figura 30. Desta forma o manejo *clearwood* ADAMI (manejo próprio) foi mais significativo, enquanto que o manejo *pulpwood* se restringiu a poucos projetos e aos primeiros anos do horizonte de planejamento.

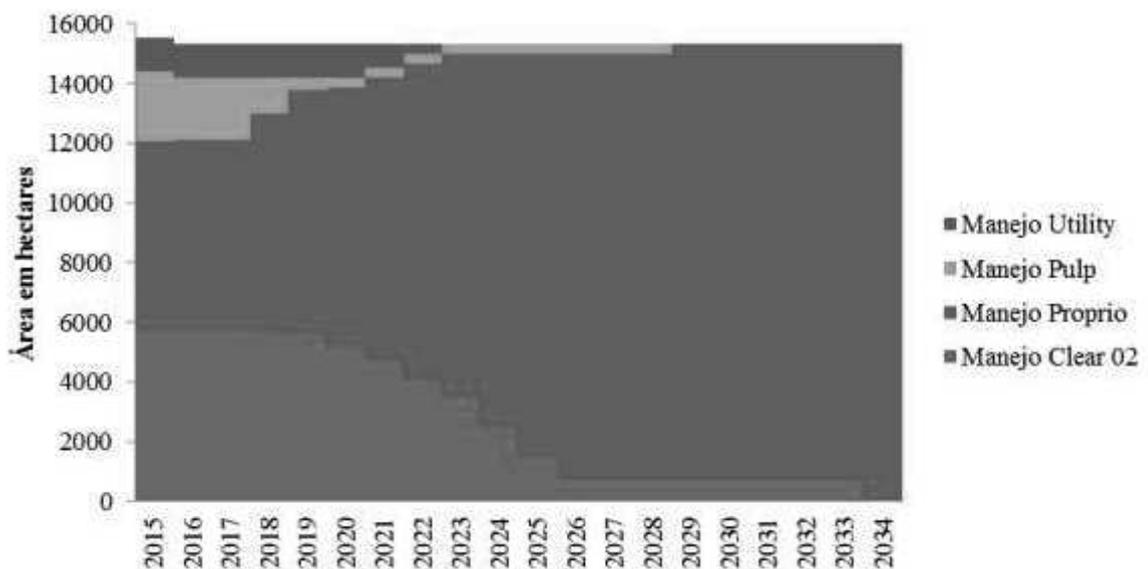


Figura 30. Manejo praticado ao longo do horizonte de planejamento.

Levando em consideração que a programação linear tem como função objetivo a maximização do VPL, qualquer manejo pode ser escolhido antes da primeira rotação de cada projeto, de modo que os manejos *Clear* tornaram-se mais atraentes à programação.

Observando o manejo por sítio (Figuras 31, 32 e 33), verifica-se que o regime *pulpwood* foi predominante no sítio III, o mais inferior, enquanto que no sítio I, tal regime quase foi imperceptível em área inferior a 60 ha.

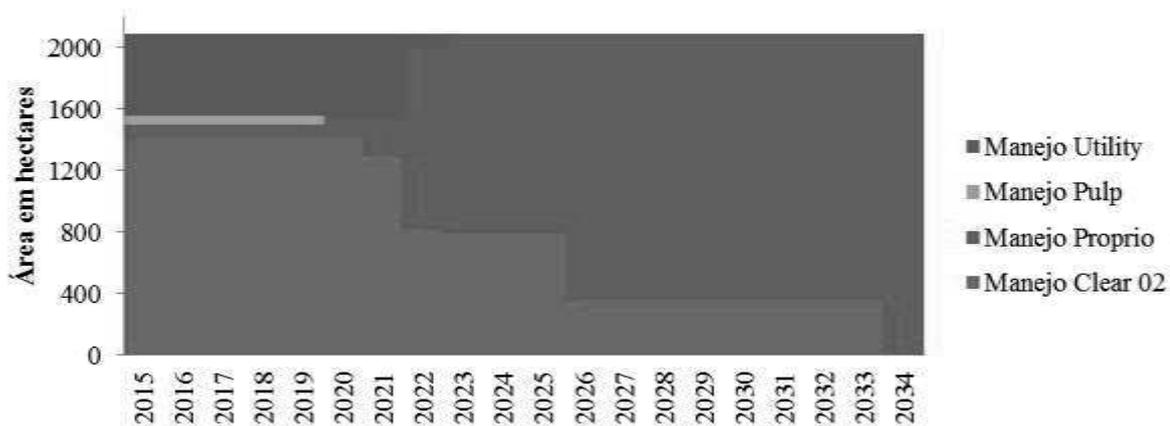


Figura 31. Manejo aplicado para o Sítio I (S = 25, idade índice 15 anos).

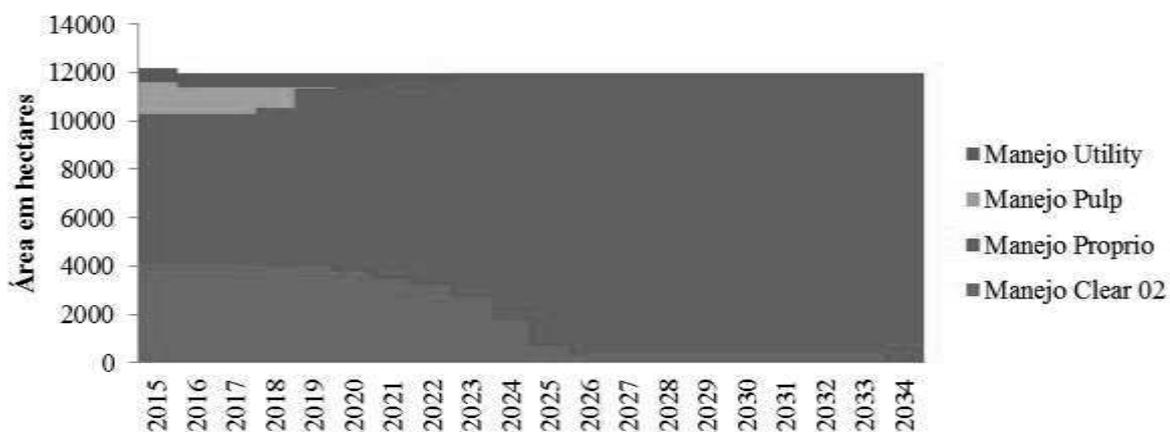


Figura 32. Manejo aplicado para o Sítio II (S = 21, idade índice 15 anos).

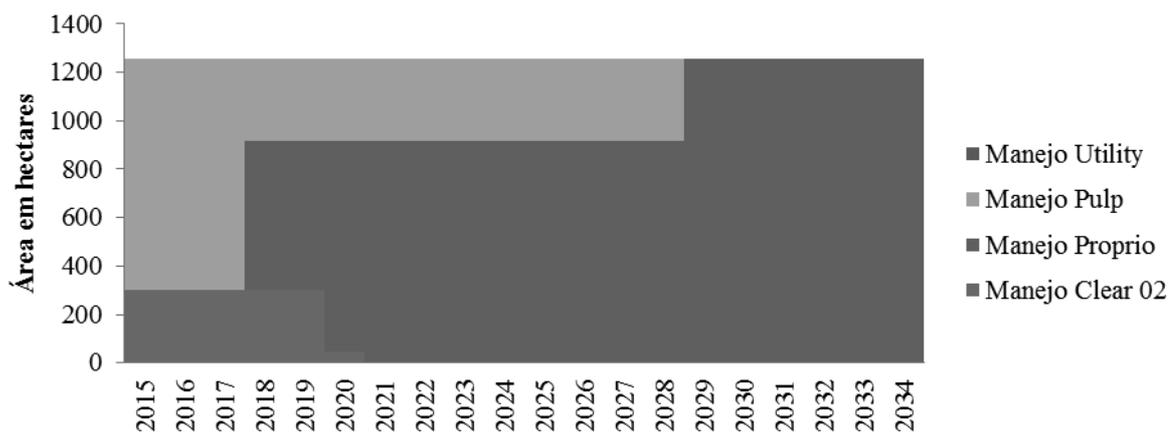


Figura 33. Manejo aplicado para o Sítio III (S = 17, idade índice 15 anos).

3.3 Tarefa

As tarefas são as operações de plantio, 1º desbaste, 2º desbaste, 3º desbaste e corte raso, e sua interpretação é importante do ponto de vista do planejamento, uma vez que cada tarefa implica em uma capacidade técnica e operacional por parte da empresa.

As tarefas por ano do horizonte de planejamento e o tamanho da área que se aplica cada operação estão apresentadas na Figura 34. As tarefas podem ser limitadas por restrições de área, de forma que não ultrapassem a capacidade de execução da empresa.

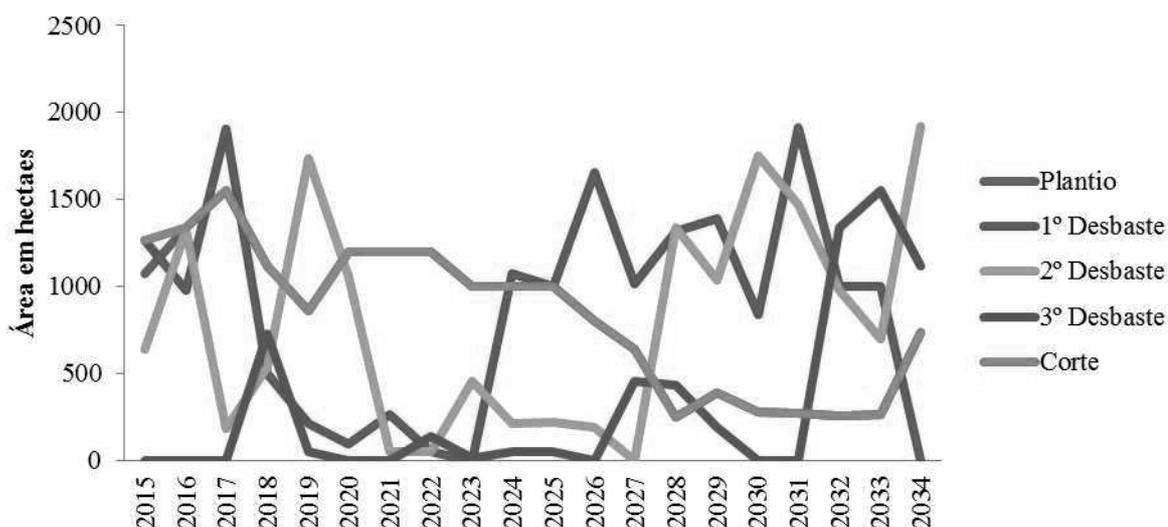


Figura 34. Tarefas por área no decorrer do horizonte de planejamento.

O plantio tende a se homogeneizar em virtude da regulação da produção, e, com os posteriores ciclos sempre com o mesmo tempo de rotação há uma tendência de permanecerem constantes. A Figura 35 evidencia tal tendência, porém mostra um pico de aumento de área no último ano do horizonte de planejamento.

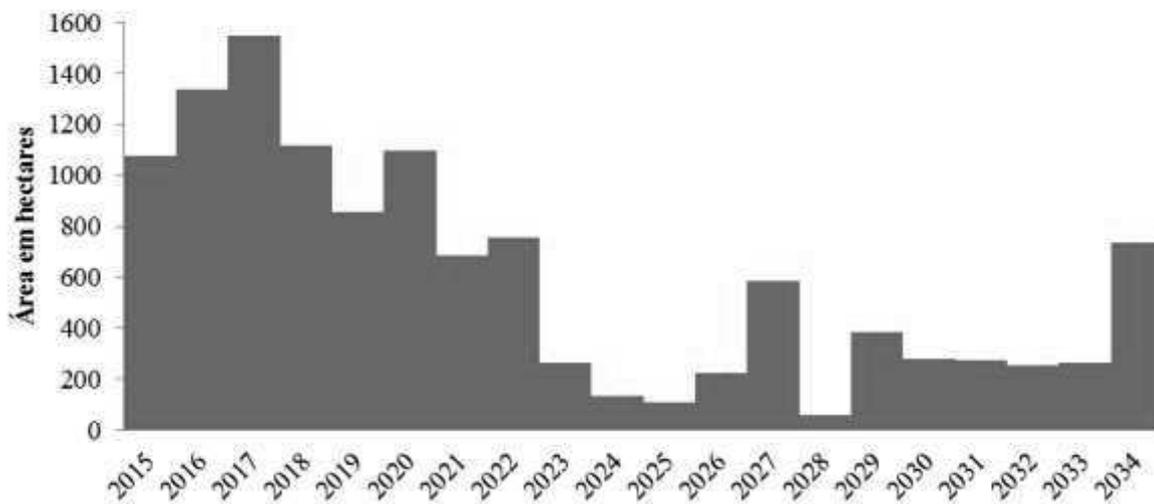


Figura 35. Tarefa de plantio para cada ano do horizonte de planejamento.

As demais tarefas de desbastes e cortes rasos podem ser observadas na Figura 36, que demonstram o tamanho da área explorada e respectiva produção por sortimento.

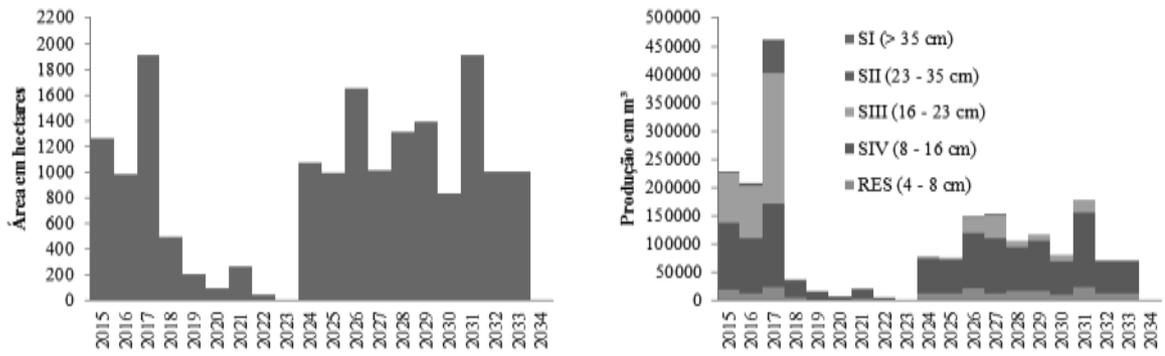
Observa-se que no 1º desbaste, em plantios antigos, são possíveis dois sortimentos, SIII (16/23 cm) e SIV (8/16 cm), porém predominam toras de 8 cm na ponta fina nos anos a partir de 2024.

No 2º desbaste, três sortimentos aparecem nos primeiros anos do horizonte de planejamento: SII (23/35 cm); SIII (16/23 cm) e SIV (8/16 cm), de maneira que os dois últimos sortimentos citados é que tendem a se manter para a tarefa de 2º desbaste ao longo do horizonte de planejamento.

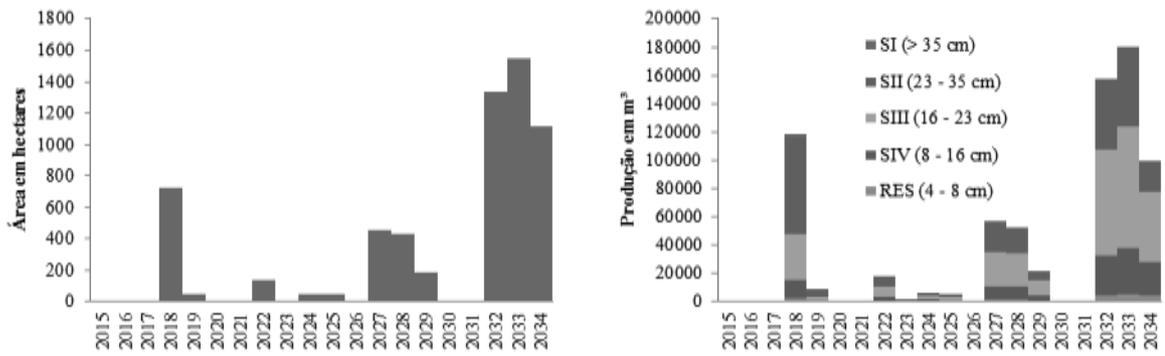
O 3º desbaste apresenta os três sortimentos citados a cima, porém, o sortimento SII (23/35 cm) aparece em todos os anos onde há tarefa de 3º desbaste.

No corte raso o sortimento SI (> 35 cm) aparece muito expressivo até o terceiro ano do horizonte de planejamento, e em alguns picos até o ano de 2029, quando então praticamente não é observado para os próximos anos, de maneira que os sortimentos SII (23/35 cm) e SIII (16/23 cm) são os mais expressivos por apresentarem a regulação atingindo os 400.000 m³/ano.

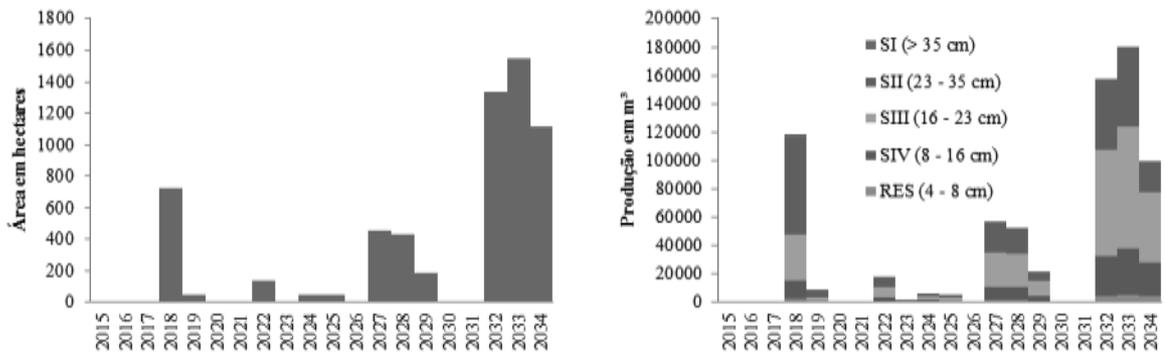
Tarefa de 1º desbaste.



Tarefa de 2º desbaste.



Tarefa de 3º desbaste.



Tarefa de corte raso

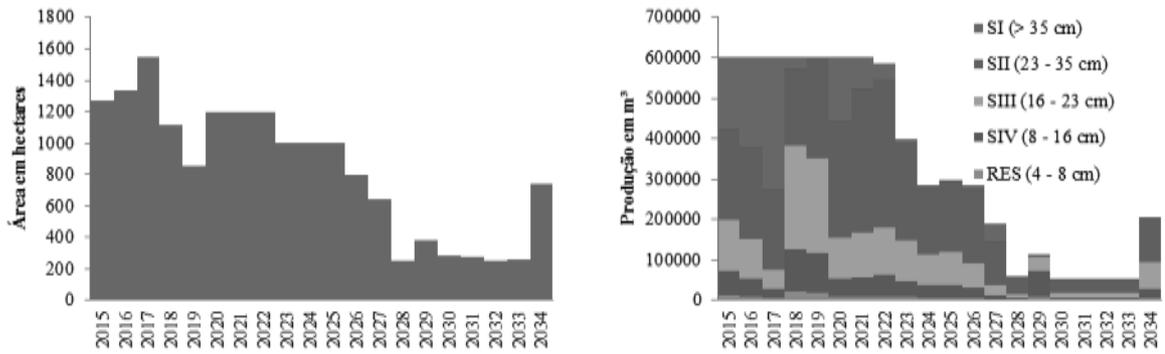


Figura 36. Tarefas de desbastes e cortes rasos em relação a área e produção por sortimento.

3.5 Análise econômica

Na Tabela 20 estão apresentados os resultados econômicos do planejamento para o horizonte de vinte anos. Neste planejamento (simulação) foram comercializados 12.080.346,2 m³ de madeira de *Pinus taeda*, que resultou em um VPL total médio por hectare de 10.508,69 reais.

Stall (2012), estudando a viabilidade econômica de regimes de manejo para *Pinus taeda* no Planalto Serrano de SC, encontrou valores de 3.591,49 (R\$/ha) a 22.111,58 (R\$/ha) para cenários pessimistas e otimistas respectivamente, onde a taxa de desconto variou de 9,75% a 7,75% ao ano.

Vigolo (2008), com trabalho de planejamento estratégico de plantios de *Eucalyptus* spp., encontrou resultados que variaram de acordo com as restrições, taxa de juros e de desbastes submetidos a floresta, contudo, a maximização do VPL anualizado por hectare, variou de 4.735,28 (R\$/ha) até 19.622,85 (R\$/ha).

Rendimentos líquidos de plantios de *Pinus taeda* podem chegar a 15.451,00 (R\$/ha), de maneira que o primeiro desbaste apresenta recursos o suficiente para amortização de despesas e manutenção (EMBRAPA, 2014). Ainda, atualmente pratica-se no mercado de toras, um chamado “blend” que trata da compra combinada da matéria-prima de diferentes categorias, uma vez que alguns compradores não possuem elasticidade o suficiente para manufaturar diferentes sortimentos.

Tabela 20. Aspectos econômicos dos resultados do planejamento.

IMA geral (m ³ /ano)	38,9
VPL total média (R\$/ha)	10.508,69

4. CONCLUSÃO

A regulação da produção mostrou-se possível, ainda que com um excedente de produção nos primeiros anos do planejamento.

Destacou-se a colheita do sortimento SI (> 35 cm) e SII (23 – 35 cm) nos primeiros anos do horizonte de planejamento em decorrência do corte de plantios antigos que a otimização gera para a regulação da produção.

Os sortimentos SIII (16 – 23 cm) e SIV (8 – 16 cm) tendem a ser mais expressivos a partir da regulação da produção e podem ser os mais representativos a partir das próximas rotações, quando a floresta esteja regulada.

O regime de manejo praticado pela empresa (Manejo próprio), com três desbastes, pôde ser praticado a partir do início do horizonte de planejamento na maior parte dos sítios médios, enquanto que o manejo *Pulpwood* apareceu nos piores sítios.

O manejo *utility*, com apenas um desbaste, foi importante para que se conseguisse regular a produção e adequar a colheita de algumas áreas onde o desbaste estava atrasado.

O planejamento resultou, para um horizonte de vinte anos, em um VPL de 10.508,69 reais por hectare.

Desta forma, recomenda-se que todas e quaisquer informações possíveis em relação a taxa de juros, diferentes centros consumidores e demandas de mercado, expansão e aquisição de terras ou arrendamentos, capacidade operacional por tipo de tarefa, especialização da produção e domínio das frentes de colheita, dentre tantas outras informações, sejam pautadas e processadas estrategicamente na plataforma de planejamento, gerando, deste modo, resultados fidedignos a realidade no negócio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013**. Ano base 2012. Associação brasileira de produtores de florestas plantadas. Brasília. 2013.

EMPRAPA. **Manual de cultivo do Pinus**. Acessado em Fevereiro de 2015. Site: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoof6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_-996514994_topicoId=3228>.

MIRANDA, G. M. **Regulação de florestas equiâneas e implantação e regulação de povoamentos mistos**. Tese de Doutorado. (doutorado em Ciências Florestais). UFV – Viçosa – MG, 2003.

OpTimber-LP. **Manual do usuário**. 2007

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 3ª Edição. Editora UFV. 2013.

STALL, D. **Avaliação econômica e análise de sensibilidade de regimes de manejo em florestas de *Pinus taeda* L. no Planalto Serrano de Santa Catarina**. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais). UFPR – Curitiba-PR, 2012.

VIGOLO, D. Z. **Planejamento estratégico otimizado para plantios de *Eucalyptus spp.*** Dissertação (mestrado em Ciências Florestais). UFPR – Curitiba, 2008.

5. CONCLUSÃO GERAL

Nos tempos atuais são inúmeras as exigências que recaem sobre os responsáveis pelo planejamento da produção nas empresas produtoras florestais. Estas exigências podem ser traduzidas em restrições, tanto no âmbito interno quanto externo das empresas. No âmbito interno, por exemplo, têm-se restrições de orçamento, faturamento, limitações operacionais de plantio, poda, desbastes e corte raso, dentre outros. Já no âmbito externo à empresa, onde o controle é muito pior, se não impossível, as restrições vão desde as oscilações dos preços de insumos e produtos, variação nos níveis de produção dos concorrentes, etc. Contudo, um planejamento adequado, e, que inclua o máximo de informações possíveis, do âmbito externo e interno das empresas, permite domínio e segurança para as respostas, invariavelmente, econômicas, de maneira que se possa assegurar a rentabilidade da produção.

Neste trabalho os modelos de sítio e afilamento foram importantes instrumentos para adequar as estimativas de produção e calibrar o programa OpTimber para gerar cenários adequados a realidade do negócio

A otimização do VPL para o planejamento a longo prazo, permitiu regular a produção e visualizar tarefas operacionais de manejo, além de demonstrar oferta de produtos por ano do planejamento.

APÊNDICE A. Equações de volume e afilamento para o Estado de Santa Catarina apresentados conforme o livro: “Compêndio de equações de volume e de afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil” de Figueiredo-Filho et al. (2014).

Modelo	Coeficientes		Estatística		Amostra			Características	Local	Fonte
					Valor	d (cm)	h (m)			
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)	b0	-10,04915858	R ²	0,986	Mínimo	8,1	8,1	Espécie		Região Oeste de SC
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b1	1,966126584	R ² aj	0,986	Médio	24,4	16,6	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	0,977160093	Syx	0,04	Máximo	49,7	30,1	Idade (anos)	7 a 23	
			Syx%	11,80	Nº. de árvores		1314	Espaçamento	-	
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)										
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b0	-10,06072974	R ²	0,984	Mínimo	8,1	8,5	Espécie		Água Doce, Passos Maia e Ponte Serrada, SC
	b1	1,967855137	R ² aj	0,984	Médio	25,4	17,9	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	0,978816012	Syx	0,06	Máximo	49,7	30,1	Idade (anos)	7 a 23	
			Syx%	10,39	Nº. de árvores		612	Espaçamento	-	
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)										
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b0	-10,03635434	R ²	0,985	Mínimo	8,1	8,1	Espécie		Caçador, Calmon, Lebon Régis e Matos Costa, SC
	b1	1,960095173	R ² aj	0,985	Médio	23,6	15,4	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	0,979507167	Syx	0,04	Máximo	45,2	26,9	Idade (anos)	7 a 22	
			Syx%	11,57	Nº. de árvores		702	Espaçamento	-	
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)										
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b0	-9,545624802	R ²	0,988	Mínimo	8,1	8,5	Espécie		Água Doce, Passos Maia e Ponte Serrada, SC
	b1	1,945106445	R ² aj	0,988	Médio	19,5	12,8	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	0,800145099	Syx	0,01	Máximo	33,1	19,2	Idade (anos)	7 a 10	
			Syx%	6,37	Nº. de árvores		271	Espaçamento	-	
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)										
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b0	-10,1270681	R ²	0,982	Mínimo	8,1	12,4	Espécie		Água Doce, Passos Maia e Ponte Serrada, SC
	b1	1,978204273	R ² aj	0,981	Médio	24,7	19,6	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	0,982190967	Syx	0,04	Máximo	42,3	23,6	Idade (anos)	11 a 14	
			Syx%	8,70	Nº. de árvores		133	Espaçamento	-	
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)										
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)										

Modelo	Coeficientes		Estatística		Amostra			Características		Local	Fonte	
					Valor	d (cm)	h (m)					
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)	b0	-9,363983776	R ²	0,950	Mínimo	20,3	17,3	Espécie		Água Doce, Passos Maia e Ponte Serrada, SC (cont.)	O autor	
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b1	1,737735205	R ² aj	0,950	Médio	32,6	22,7	<i>Pinus taeda</i>				
	b2	1,018378441	Syx	0,06	Máximo	47,1	28,2	Idade (anos)	15 a 18			
			Syx%	6,93	Nº. de árvores		144	Espaçamento	-			
			Volume com casca. Bloco da Fazenda Chapecozinho (A)									
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)	b0	-8,931903551	R ²	0,922	Mínimo	24,2	20,5	Espécie				
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b1	1,679256371	R ² aj	0,920	Médio	35,9	25,5	<i>Pinus taeda</i>				
	b2	0,95825406	Syx	0,09	Máximo	49,7	30,1	Idade (anos)	19 a 23			
			Syx%	7,64	Nº. de árvores		64	Espaçamento	-			
			Volume com casca. Bloco da Fazenda Chapecozinho (A)									
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)	b0	-9,62815453	R ²	0,984	Mínimo	8,1	8,1	Espécie		Caçador, Calmon, Lebon Régis e Matos Costa, SC	O autor	
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b1	1,949143041	R ² aj	0,984	Médio	19,5	12,7	<i>Pinus taeda</i>				
	b2	0,827552393	Syx	0,01	Máximo	36,6	18,6	Idade (anos)	7 a 10			
			Syx%	7,09	Nº. de árvores		462	Espaçamento	-			
			Volume com casca. Bloco da Fazenda Cachoeira (B)									
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)	b0	-9,970318599	R ²	0,961	Mínimo	19,1	13,4	Espécie				
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b1	1,863802618	R ² aj	0,960	Médio	29,9	19,2	<i>Pinus taeda</i>				
	b2	1,067145859	Syx	0,04	Máximo	38,8	23,5	Idade (anos)	11 a 14			
			Syx%	6,59	Nº. de árvores		123	Espaçamento	-			
			Volume com casca. Bloco da Fazenda Cachoeira (B)									
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)	b0	-10,28282699	R ²	0,931	Mínimo	26,7	16,8	Espécie				
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b1	1,860639735	R ² aj	0,929	Médio	33,7	21,5	<i>Pinus taeda</i>				
	b2	1,181226377	Syx	0,07	Máximo	45,2	26,9	Idade (anos)	15 a 18			
			Syx%	7,60	Nº. de árvores		92	Espaçamento	-			
			Volume com casca. Bloco da Fazenda Cachoeira (B)									

Modelo	Coeficientes		Estatística		Amostra			Características		Local	Fonte	
					Valor	d (cm)	h (m)					
Volumétrico - Schumacher e Hall (Linearizado)	b0	-10,09317394	R ²	0,896	Mínimo	24,5	19,9	Espécie		Caçador, Lebon Régis e Matos Costa, SC (cont.)	O autor	
$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	b1	1,919306052	R ² aj	0,886	Médio	30,8	23,3	<i>Pinus taeda</i>				
	b2	1,072050808	Syx	0,09	Máximo	42,3	25	Idade (anos)	19 a 22			
			Syx%	9,64	Nº. de árvores		25	Espaçamento	-			
Volume com casca. Bloco da Fazenda Cachoeira (B)												
Volumétrico - Spurr	b0	0,008741449	R ²	0,985	Mínimo	8,1	8,1	Espécie		Região Oeste de SC		
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 h$	b1	3,5433E-05	R ² aj	0,985	Médio	24,4	16,6	<i>Pinus taeda</i>				
			Syx	0,05	Máximo	49,7	30,1	Idade (anos)	7 a 23			
			Syx%	13,87	Nº. de árvores		1314	Espaçamento	-			
Volume com casca. Todo conjunto de dados												
Volumétrico - Spurr	b0	0,014366061	R ²	0,984	Mínimo	8,1	8,5	Espécie		Água Doce, Passos Maia e Ponte Serrada, SC		
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 h$	b1	3,49381E-05	R ² aj	0,984	Médio	25,4	17,9	<i>Pinus taeda</i>				
			Syx	0,06	Máximo	49,7	30,1	Idade (anos)	7 a 23			
			Syx%	10,51	Nº. de árvores		612	Espaçamento	-			
Volume com casca												
Volumétrico - Spurr	b0	0,000391912	R ²	0,985	Mínimo	8,1	8,1	Espécie		Caçador, Lebon Régis e Matos Costa, SC		
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 h$	b1	3,63399E-05	R ² aj	0,985	Médio	23,6	15,4	<i>Pinus taeda</i>				
			Syx	0,04	Máximo	45,2	26,9	Idade (anos)	7 a 22			
			Syx%	11,31	Nº. de árvores		702	Espaçamento	-			
Volume com casca												
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,2438285	R ²	0,988	Mínimo	8,1	8,1	Espécie		Região Oeste de SC		
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-3,888340767	R ² aj	0,988	Médio	24,4	16,6	<i>Pinus taeda</i>				
	b2	16,10744401	Syx	1,21	Máximo	49,7	30,1	Idade (anos)	7 a 23			
	b3	-34,95110298	Syx%	7,28	Nº. de árvores		1314	Espaçamento	-			
	b4	33,0862768	Todo conjunto de dados									
b5	-11,5972251											

Modelo	Coeficientes		Estatística	Amostra			Características		Local	Fonte
				Valor	d (cm)	h (m)				
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,234143804	R²	0,989	Mínimo	8,1	8,5	Espécie		Água Doce, Passos Maia e Ponte Serrada, SC
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-3,836638128	R² aj	0,989	Médio	25,4	17,9	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	15,8963758	Syx	1,23	Máximo	49,7	612	Idade (anos)	7 a 23	
	b3	-34,32582194	Syx%	7,11	Nº. de árvores			Espaçamento	-	
	b4	32,30995195	Bloco da Fazenda Chapecozinho (A)							
b5	-11,27766352									
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,252183242	R²	0,987	Mínimo	8,1	8,1	Espécie		Caçador, Calmon, Lebon Régis e Matos Costa, SC
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-3,932878459	R² aj	0,987	Médio	23,6	15,4	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	16,28923504	Syx	1,18	Máximo	45,2	26,9	Idade (anos)	7 a 22	
	b3	-35,49021217	Syx%	7,35	Nº. de árvores		702	Espaçamento	-	
	b4	33,75605225	Bloco da Fazenda Cachoeria (B)							
b5	-11,87304238									
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,266517391	R²	0,990	Mínimo	8,1	8,5	Espécie		Água Doce, Passos Maia e Ponte Serrada, SC
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-3,804102747	R² aj	0,990	Médio	19,5	12,8	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	15,21756766	Syx	0,82	Máximo	33,1	19,2	Idade (anos)	7 a 10	
	b3	-33,6198371	Syx%	6,11	Nº. de árvores		271	Espaçamento	-	
	b4	32,72228302	Bloco da Fazenda Chapecozinho (A)							
b5	-11,77916942									
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,218092523	R²	0,992	Mínimo	8,1	12,4	Espécie		Água Doce, Passos Maia e Ponte Serrada, SC
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-3,892795576	R² aj	0,992	Médio	24,7	19,6	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	16,38300354	Syx	1,02	Máximo	42,3	23,6	Idade (anos)	11 a 14	
	b3	-35,29052203	Syx%	6,18	Nº. de árvores		133	Espaçamento	-	
	b4	33,04828076	Bloco da Fazenda Chapecozinho (A)							
b5	-11,46777464									

O autor

Modelo	Coeficientes		Estatística	Amostra			Características		Local	Fonte
				Valor	d (cm)	h (m)				
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,202837556	R²	0,988	Mínimo	20,3	17,3	Espécie		O autor
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-3,818645347	R² aj	0,988	Médio	32,6	22,7	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	16,30131226	Syx	1,39	Máximo	47,1	28,2	Idade (anos)	15 a 18	
	b3	-34,3192831	Syx%	6,29	Nº. de árvores		144	Espaçamento	-	
	b4	31,07286701	Bloco da Fazenda Chapecozinho (A)							
	b5	-10,44139255								
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,201113447	R²	0,986	Mínimo	24,2	20,5	Espécie		
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-3,892678858	R² aj	0,986	Médio	35,9	25,5	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	16,80899631	Syx	1,60	Máximo	49,7	30,1	Idade (anos)	19 a 23	
	b3	-35,25419779	Syx%	6,60	Nº. de árvores		64	Espaçamento	-	
	b4	31,76558805	Bloco da Fazenda Chapecozinho (A)							
	b5	-10,63049488								
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,27121875	R²	0,989	Mínimo	8,1	8,1	Espécie		
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-3,904844177	R² aj	0,989	Médio	19,5	12,7	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	15,74714683	Syx	0,86	Máximo	36,6	18,6	Idade (anos)	7 a 10	
	b3	-34,59825824	Syx%	6,47	Nº. de árvores		463	Espaçamento	-	
	b4	33,39956107	Bloco da Fazenda Cachoeira (B)							
	b5	-11,91193973								
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,222926625	R²	0,989	Mínimo	19,1	13,4	Espécie		
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-4,044421263	R² aj	0,989	Médio	29,9	19,2	<i>Pinus taeda</i>		
	b2	17,49756286	Syx	1,24	Máximo	38,8	23,5	Idade (anos)	11 a 14	
	b3	-37,88713986	Syx%	6,26	Nº. de árvores		123	Espaçamento	-	
	b4	35,45905648	Bloco da Fazenda Cachoeira (B)							
	b5	-12,24975228								

Modelo	Coeficientes		Estatística		Amostra			Características		Local	Fonte
					Valor	d (cm)	h (m)				
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,216143702	R²	0,989	Mínimo	26,7	16,8	Espécie		Caçador, Calmon, Lebon Régis e Matos Costa, SC (cont.)	O autor
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-4,050676714	R² aj	0,989	Médio	33,7	21,5	<i>Pinus taeda</i>			
	b2	17,88930112	Syx	1,35	Máximo	45,2	26,9	Idade (anos)	15 a 18		
	b3	-38,56240155	Syx%	6,06	Nº. de árvores		92	Espaçamento	-		
	b4	35,7128921	Bloco da Fazenda Cachoeira (B)								
	b5	-12,20826554									
Afilamento - Polinômio de 5º grau	b0	1,187387198	R²	0,980	Mínimo	24,5	19,9	Espécie			
$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5$	b1	-3,43592775	R² aj	0,980	Médio	30,8	23,3	<i>Pinus taeda</i>			
	b2	14,05326657	Syx	1,62	Máximo	42,3	25	Idade (anos)	19 a 23		
	b3	-28,06463984	Syx%	7,48	Nº. de árvores		25	Espaçamento	-		
	b4	24,236766	Bloco da Fazenda Cachoeira (B)								
	b5	-7,971140687									