

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

Régis Villanova Longhi

**ORDENAMENTO E CONDUÇÃO DA PRODUÇÃO EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Santa Maria, RS
2016

Régis Villanova Longhi

**ORDENAMENTO E CONDUÇÃO DA PRODUÇÃO EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Renato Schneider

Santa Maria, RS
2016

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

Longhi, Régis Villanova
ORDENAMENTO E CONDUÇÃO DA PRODUÇÃO EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL / Régis
Villanova Longhi.-2016.
148 p.; 30cm

Orientador: Paulo Renato Schneider
Coorientadores: César Augusto Guimarães Finger, Jorge
Antônio de Farias
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2016

1. Manejo Florestal 2. Floresta com Araucária 3.
Sustentabilidade 4. Regulação da Produção I. Schneider,
Paulo Renato II. Finger, César Augusto Guimarães III.
Farias, Jorge Antônio IV. Título.

© 2016

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

Fone: (0xx) 55 9915-9585; E-mail: regislonghi@yahoo.com.br

Régis Villanova Longhi

**ORDENAMENTO E CONDUÇÃO DA PRODUÇÃO EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

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

Aprovado em 25 de fevereiro de 2016:

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

André Felipe Hess, Dr. (UDESC)

Erni José Milani, Dr. (UFSM)

Evaldo Muñoz Braz, Dr. (Embrapa Florestas)

Ivanor Müller, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2016

AGRADECIMENTOS

À minha querida família, pelo incentivo e apoio incondicional em todas as decisões de minha vida. Em especial ao meu pai Gelso Longhi, que infelizmente no decorrer dessa caminhada partiu, deixando comigo o legado de seguir a vida com fé, honestidade e generosidade. À minha mãe Ivonete Villanova Longhi, pelo amor dedicado, paciência e confiança depositada. Aos meus irmãos Kelvis Longhi e Wagner Villanova Longhi, pela amizade que nos une para a vida toda.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade. À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e ao CNPQ, através do projeto universal, pelo aporte financeiro ao longo da pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Paulo Renato Schneider, pelos anos de convívio e grande amizade. Levo para minha vida o seu exemplo de dedicação e empenho com a pesquisa e a Engenharia Florestal.

À Paludo Agropecuária S.A., em nome do senhor Vicêncio Paludo, pela disponibilização do local de pesquisa e manutenção do experimento na Fazenda Tupi.

Ao Prof. Geedre Adriano Borsoi, por ceder os dados experimentais iniciais que permitiram a condução desse trabalho, proporcionando importantes descobertas para a Engenharia Florestal.

Aos Professores César Augusto Guimarães Finger, Jorge Antônio Farias, José Imaña Encinas e Frederico Dimas Fleig, pela disponibilidade em participar do exame de qualificação e pelas valiosas sugestões.

Aos Professores André Felipe Hess, Erni José Milani, Ivanor Müller e ao pesquisador da Embrapa Florestas Evaldo Muños Braz, componentes da Comissão Examinadora, pela atenção dispensada na avaliação e nas contribuições para a finalização desse trabalho.

Aos colegas engenheiros florestais David Lira, Dimas Rossi, Gabriel Marangon, Gerson Lisboa, Junior Mendes e Paula Kettenhuber, pelo auxílio na coleta de dados à campo. Seus esforços e amizade foram fundamentais para a conclusão dessa etapa de minha vida.

E a todos que, de alguma ou outra forma, contribuíram para a realização deste trabalho, quero externar meu eterno e sincero agradecimento.

RESUMO

ORDENAMENTO E CONDUÇÃO DA PRODUÇÃO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: Régis Villanova Longhi
ORIENTADOR: Paulo Renato Schneider

O objetivo geral da presente tese foi planejar o manejo em uma Floresta Ombrófila Mista (FOM), tendo como base parâmetros de incremento volumétrico, tempo de recuperação da densidade e do estoque inicial do volume comercial, obtidos em uma área de manejo experimental, submetida a diferentes intensidades de cortes seletivos e com intuito de conduzir a floresta a uma estrutura produtiva no futuro. A área de manejo experimental em FOM situa-se no município de Nova Prata e possui histórico de intensa exploração no passado, apresentando uma estrutura totalmente alterada e com baixa frequência de indivíduos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Essa floresta foi monitorada periodicamente nas ocasiões de 4, 8 e 13 anos após aplicação das intensidades de cortes seletivos em unidades de 1 ha, visando a redução de espécies folhosas de alta densidade absoluta. As intensidades de corte basearam-se na redução da curva de distribuição de frequência ajustada em níveis percentuais em relação à área basal nas classes diamétricas, em: corte seletivo leve (redução de 20-30%) e corte seletivo moderado (redução de 40-50%); além de uma área testemunha (sem intervenção de manejo), totalizando uma área amostral de 3,0 ha. Nessa área objetivou-se estudar a recuperação da floresta após a aplicação dos cortes seletivos. Foram avaliados o recrutamento e o crescimento diamétrico de espécies de valor comercial, com a finalidade de propor ciclos de corte frequentes para transformação da floresta a uma estrutura produtiva no futuro. O nível de redução de intensidade leve, por apresentar os melhores resultados quanto a recuperação da floresta, foi tomado como base para estudo de projeções de frequência em classes de diâmetro após exploração seletiva da floresta, sendo testados os métodos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação em amplitudes diamétricas de 5 cm e 10 cm. As frequências projetadas e observadas foram comparadas pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Após a determinação do método de projeção mais acurado, foi realizada a simulação da regulação da produção para uma floresta com araucária, situada no município de Boqueirão do Leão, RS, a qual apresentou estrutura desenvolvida. Os resultados obtidos permitiram inferir que os cortes seletivos aplicados na FOM de Nova Prata, RS, com redução de espécies folhosas de alta densidade, proporcionaram aumento nos índices de diversidade de espécies, aumento do número de indivíduos ingressantes de espécies de interesse comercial, aumento das taxas de crescimento, principalmente em relação à *Araucaria angustifolia*, mostrando-se superiores às da área testemunha. Além disso, intervenções periódicas em intervalos de 10 anos, com redução de 20-30% da área basal total por classe de DAP, mostraram maior efetividade para a condução da floresta a uma estrutura produtiva no futuro. Com esse nível de intensidade, o método Razão de Movimentação, com amplitude diamétrica de 10 cm, mostrou maior acuracidade para prognosticar as frequências em classes de diâmetro após exploração seletiva de madeira. Com a obtenção desses parâmetros experimentais, para a FOM de Boqueirão do Leão, RS, simulou-se três alternativas de manejo que consistiram no corte das árvores acima do diâmetro máximo desejado de 60 cm, além de níveis de reduções percentuais da frequência ajustada, respeitando-se o limite recomendado de 20-30%. A *Araucaria angustifolia* representou 38% da área basal, 52% do volume existente nessa floresta e densidade de 150 ind.ha⁻¹, demonstrando o potencial de produção e aproveitamento da espécie. As alternativas de manejo indicaram um período de 10 a 15 anos para recuperação do volume extraído. A projeção da distribuição de frequência nas classes diamétricas também indicou que a floresta consegue repor sua densidade e volume comercial inicial ao longo do ciclo de corte determinado, porém necessitando maior tempo para a recuperação na última classe de diâmetro (DAP > 70 cm). As propostas de manejo permitem o uso sustentável da floresta com *Araucaria angustifolia*, agregando valor econômico ao fornecer uma alternativa de uso para os proprietários rurais.

Palavras-chave: Floresta com Araucária. Manejo Florestal. Sustentabilidade. Incremento.

ABSTRACT

FORMATION AND YIELD PLANNING IN OMBROPHYLOUS MIXED FOREST IN RIO GRANDE DO SUL STATE

AUTHOR: Régis Villanova Longhi
ADVISOR: Paulo Renato Schneider

The aim was to plan the forest management in an Ombrophyllous Mixed Forest, based on volumetric growth parameters, initial density recovery time and commercial volume, obtained in an experimental management area, submitted to different intensities of selective cuts. The experimental management area is located in the municipality of Nova Prata and has a history of intense logging, presenting a highly modified forest structure and low frequency *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze individuals. This forest has been monitored periodically at times of 4, 8 and 13 years after implementation of the intensities of selective cuts in 1.0 ha units, aiming to reduce angiosperm species of high absolute density. Cutting intensities are based on reduction of the frequency distribution curve adjusted in percentage levels compared to basal area in diameter classes, as follows: light selective cutting (20-30% reduction) and moderate selective cutting (40-50% reduction); and a control area (without management intervention), with a total sample area of 3.0 ha. In this area, the aim was to study the forest recovery after application of selective cuts. Recruitment and diameter growth of species of commercial value were evaluated in order to propose periodic cutting cycles for forest conversion to a production structure in the future. The level of reduction in population density that showed the best results was taken as the basis for the study of frequency projections in diameter classes after selective logging using the Transition Matrix and Ratio Movement in diametric amplitude of 5 cm and 10 cm. Projected and observed frequencies were compared by Kolmogorov-Smirnov (K-S) test. After determining the most accurate projection of frequency in diameter classes, regulation of yield was carried out to an araucaria forest, located in the municipality of Boqueirão do Leão, RS. The results allowed inferring that the reduced levels of high density angiosperms species in the araucaria forest of Nova Prata, RS, provided an increase in species diversity indexes, increasing the recruitment of commercial individual species, especially regarding the *Araucaria angustifolia*, with growth rates higher than in the control area. In addition, periodic interventions at intervals of 10 years with reduction of 20-30% of the total basal area per DBH class, proved to be more effective for the transformation of the forest to a production structure in the future. According to this recommended level of intensity, the ratio movement method, with diameter range of 10 cm, showed greater accuracy to predict the frequencies in diameter classes after selective logging. With these experimental parameters, to the araucaria forest of Boqueirão do Leão, RS, were simulated three management alternatives that consisted of cutting the trees above the required maximum diameter of 60 cm and introduction of percentage reductions in levels adjusted frequency. The *Araucaria angustifolia* has 38% of the basal area and 52% of the commercial volume of the forest, with a density of 150 ind.ha⁻¹, demonstrating the high potential of production. The management alternatives indicated a period of 10 to 15 years to recover the original timber stock. The projection of the frequency distribution in diameter class for each management alternative also indicated that the forest can recover density and initial commercial volume for the given cutting cycle, but need more time to recover in the last diameter class (DBH > 70 cm). Management proposals allow the sustainable use of the araucaria forest, adding economic value by providing an alternative use by landowners.

Keywords: Araucaria Forest. Forest Management. Sustainability. Increment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I

- Figura 1.1 – Ecorregião de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucária) e localização das unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável nos estados do Sul do Brasil..... 19
- Figura 1.2 – Curvas teóricas de crescimento cumulativo e de taxa de crescimento corrente de uma floresta natural..... 24

CAPÍTULO II

- Figura 2.1 – Localização da área de estudo no município de Nova Prata e na mesorregião nordeste do RS..... 45
- Figura 2.2 – Localização das unidades amostrais constituintes de cada tratamento de manejo aplicados na Floresta Ombrófila Mista da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS..... 48
- Figura 2.3 – Evolução da estrutura diamétrica da densidade absoluta e área basal por hectare para cada tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS..... 72
- Figura 2.4 – Comportamento do incremento periódico anual em diâmetro relativo por classe de diâmetro, em cada tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS..... 76
- Figura 2.5 – Projeção do tempo entre intervenções de manejo em um horizonte de planejamento de 42 anos para cada intensidade de corte seletivo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS..... 86

CAPÍTULO III

- Figura 3.1 – Distribuição diamétrica da densidade e área basal após aplicação do regime de manejo com corte seletivo leve para amplitudes de classes de DAP de 5 cm (a) e 10 cm (b). Fazenda Tupi, Nova Prata, RS..... 101
- Figura 3.2 – Distribuição diamétrica do número de árvores observadas e estimadas pelos métodos de Razão de Movimentação (RM) e Matriz de Transição (MT) para o ano de 2014. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS..... 108
- Figura 3.3 – Evolução da floresta com tratamento corte seletivo leve quanto ao número indivíduos, área basal e volume comercial, por classe de diâmetro, para um período de simulação de 20 anos. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS..... 112

CAPÍTULO IV

Figura 4.1 –	Localização da área de estudo no município de Boqueirão do Leão, RS...	120
Figura 4.2 –	Distribuição diamétrica da densidade de indivíduos e área basal para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.....	131
Figura 4.3 –	Distribuição diamétrica das espécies de valor comercial (<i>Araucaria angustifolia</i> e folhosas de valor comercial) e espécies de maior densidade absoluta para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.....	132
Figura 4.4 –	Distribuição da frequência observada por classe de diâmetro para araucária e para folhosas, frequência ajustada para a floresta e frequência esperada após exploração em cada alternativa de manejo para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.....	135
Figura 4.5 –	Distribuição da área basal e volume comercial remanescente e possível de corte por classe de diâmetro em cada alternativa de manejo (AM) para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.....	136
Figura 4.6 –	Evolução das projeções da frequência e volume comercial por classe de diâmetro realizadas no período compreendido entre o ciclo de corte na AM1 e AM3, para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS....	144

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 2.1 –	Intensidades dos cortes seletivos para o manejo aplicado na Floresta Ombrófila Mista da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	47
Tabela 2.2 –	Atividades realizadas nas parcelas permanentes para estudo de intervenções de manejo na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	49
Tabela 2.3 –	Fórmulas utilizadas para estimativa dos parâmetros fitossociológicos para cada espécie amostrada nos tratamentos de manejo. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	50
Tabela 2.4 –	Composição florística e classificação ecológica das espécies ocorrentes em cada tratamento de manejo aplicado na floresta da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	57
Tabela 2.5 –	Índices de diversidade florística entre os tratamentos de manejo para cada ocasião de monitoramento da floresta da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	60
Tabela 2.6 –	Significância do teste <i>t</i> de <i>Hutchenson</i> para os Índices de diversidade de Shannon (H') entre os tratamentos para cada ocasião de monitoramento da floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	61
Tabela 2.7 –	Parâmetros fitossociológicos para o tratamento testemunha (T0), em cada ocasião de monitoramento da floresta, para as espécies com valor de importância maior que 1% no ano de 2015. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	63
Tabela 2.8 –	Parâmetros fitossociológicos para o tratamento corte seletivo leve (T1), em cada ocasião de monitoramento da floresta, para as espécies com valor de importância maior que 1% no ano de 2015. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	64
Tabela 2.9 –	Parâmetros fitossociológicos para o tratamento corte seletivo moderado (T2), em cada ocasião de monitoramento da floresta, para as espécies com valor de importância maior que 1% no ano de 2015. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	65
Tabela 2.10 –	Taxa anual média de recrutamento para os diferentes tratamentos de manejo e períodos de monitoramento da floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	69

Tabela 2.11 –	Taxa anual média de mortalidade para os diferentes tratamentos de manejo e períodos de monitoramento da floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	70
Tabela 2.12 –	Variáveis dendrométricas para os diferentes tratamentos de manejo aplicados na floresta nos inventários das ocasiões de 2001, 2006 e 2010. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	74
Tabela 2.13 –	Densidade absoluta, diâmetro médio, altura média e área basal para a <i>Araucaria angustifolia</i> em cada ocasião de medição e em tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	78
Tabela 2.14 –	Incremento periódico anual em diâmetro para a <i>Araucaria angustifolia</i> por tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	80
Tabela 2.15 –	Densidade absoluta, diâmetro médio, altura média e área basal para o grupo de espécie de folhosas de valor comercial em cada ocasião de medição e em tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	82
Tabela 2.16 –	Incremento periódico anual em diâmetro para o grupo das espécies folhosas de valor comercial por tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	83
Tabela 2.17 –	Incremento periódico anual em volume absoluto e relativo para cada intensidade de corte aplicada na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	84
Tabela 2.18 –	Tempo entre intervenções de manejo para cada intensidade de corte aplicada na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS....	85

CAPÍTULO III

Tabela 3.1 –	Matriz inicial de probabilidade de transição e mortalidade por classe de diâmetro com amplitude de 5 cm, para o período de 2006 a 2010, em uma floresta com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	103
Tabela 3.2 –	Matriz inicial de probabilidade de transição e mortalidade por classe de diâmetro com amplitude de 10 cm, para o período de 2006 a 2010, em uma floresta com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	104
Tabela 3.3 –	Prognose da distribuição diamétrica para o ano de 2014 pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 5 cm. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	105
Tabela 3.4 –	Prognose da distribuição diamétrica para o ano de 2014 pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 10 cm. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	105

Tabela 3.5 – Distribuição diamétrica do número de árvores observadas e estimadas pelos métodos de Razão de Movimentação e Matriz de Transição para o ano de 2014 e valor do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	107
Tabela 3.6 – Prognose da distribuição diamétrica para o ano de 2020 pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 10 cm. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	110
Tabela 3.7 – Projeção da distribuição diamétrica do número de indivíduos, área basal e volume comercial para a floresta com tratamento corte seletivo leve para um período de 20 anos. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.....	111

CAPÍTULO IV

Tabela 4.1 – Parâmetros fitossociológicos para as espécies com valor de importância maior de 0,50% na floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.....	129
Tabela 4.2 – Distribuição diamétrica da densidade de indivíduos, área basal e volume comercial por hectare para as espécies de valor comercial e demais espécies. Boqueirão do Leão, RS.....	133
Tabela 4.3 – Lista das espécies de folhosas de valor comercial encontradas na floresta de Boqueirão do Leão, RS.....	134
Tabela 4.4 – Regulação da floresta com araucária de Boqueirão do Leão para as alternativas de manejo propostas.....	137
Tabela 4.5 – Tempo de recuperação do estoque inicial em volume comercial para cada alternativa de manejo na floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.....	141
Tabela 4.6 – Comparação da projeção do tempo de recuperação do estoque por classe diamétrica pelo método de Razão de Movimentação nas alternativas de manejo propostas para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.....	143

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CAP – Circunferência à altura do peito (1,3 metros de altura)
- DAP – Diâmetro à altura do peito (1,3 metros de altura)
- DMC – Diâmetro mínimo de corte
- Dmáx – Diâmetro máximo desejado
- EIA – Exploração de impacto reduzido
- FOM – Floresta Ombrófila Mista
- FO – Frequência observada
- G – Área Basal ($m^2.ha^{-1}$)
- IC – Intensidade de corte
- IPA – Incremento periódico anual
- IPAd – Incremento periódico anual em diâmetro
- IPAd% – Incremento periódico anual em diâmetro percentual
- IPAv – Incremento periódico anual em volume comercial com casca
- IPAv% – Incremento periódico anual em volume comercial com casca percentual
- IPMd – Incremento periódico médio em diâmetro
- IUCN – International Union for Conservation of Nature
- MT – Matriz de transição
- RM – Razão de movimentação
- T0 – Tratamento testemunha
- T1 – Tratamento com corte seletivo leve
- T2 – Tratamento com corte seletivo moderado
- TC – Taxa de corte
- Vc_{c/c} – Volume comercial com casca ($m^3.ha^{-1}$)

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA	15
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
1.2.1 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	17
1.2.2 DINÂMICA E SUCESSÃO FLORESTAL	19
1.2.2.1 Crescimento da floresta	22
1.2.3 MANEJO SUSTENTADO DE FLORESTAS NATURAIS	25
1.2.3.1 Sistemas silviculturais e de manejo	27
1.2.3.2 Tratamentos silviculturais	28
1.2.4 REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FLORESTAS NATURAIS	30
1.2.5 MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL	31
1.2.5.1 Modelos de produção de classe de diâmetro	32
REFERÊNCIAS	35
CAPÍTULO II – INTERVENÇÕES DE MANEJO COMO ALTERNATIVA DE REESTRUTURAÇÃO DA PRODUÇÃO DE UMA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA SECUNDÁRIA	41
2.1 INTRODUÇÃO	42
2.1.1 OBJETIVOS	44
2.1.1.1 Objetivo geral	44
2.1.1.2 Objetivos específicos	44
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	44
2.2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	44
2.2.2 ESTRUTURA AMOSTRAL E VARIÁVEIS LEVANTADAS	46
2.2.3 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA DO MANEJO	49
2.2.3.1 Estrutura fitossociológica	50
2.2.3.2 Diversidade de espécies	51
2.2.3.3 Recrutamento e mortalidade	52
2.2.3.4 Estrutura diamétrica	53
2.2.4 ANÁLISE DE INCREMENTOS	54
2.2.5 DETERMINAÇÃO DO CICLO DE CORTE	56
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
2.3.1 SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA DA FLORESTA	57
2.3.1.1 Alterações na riqueza e diversidade de espécies pós-corte	57
2.3.1.2 Mudanças na estrutura fitossociológica pós-corte	62
2.3.1.3 Recrutamento e mortalidade pós-corte	68
2.3.1.4 Evolução da estrutura diamétrica pós-corte	71
2.3.2 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA FLORESTA PÓS-CORTE	73
2.3.2.1 Floresta em geral	73

2.3.2.2 Crescimento da <i>Araucaria angustifolia</i> -----	77
2.3.2.3 Crescimento das espécies folhosas de valor comercial -----	81
2.3.3 DETERMINAÇÃO DO TEMPO ENTRE INTERVENÇÕES DE MANEJO-----	83
2.4 CONCLUSÕES -----	86
REFERÊNCIAS -----	88
CAPÍTULO III – PROJEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA EM UMA FLORESTA COM ARAUCÁRIA EXPLORADA SELETIVAMENTE NO SUL DO BRASIL -----	93
3.1 INTRODUÇÃO -----	94
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS -----	95
3.2.1 ÁREA DE ESTUDO E OBTENÇÃO DOS DADOS -----	95
3.2.2 MÉTODOS DE PROJEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA -----	97
3.2.3 AVALIAÇÃO DAS PROGNOSES -----	99
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	100
3.3.1 DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA OBSERVADA -----	100
3.3.2 PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA-----	102
3.4 CONCLUSÕES -----	113
REFERÊNCIAS -----	114
CAPÍTULO IV – REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO E PROJEÇÃO DO TEMPO DE RECUPERAÇÃO DO ESTOQUE EM UMA FLORESTA COM ARAUCÁRIA NO SUL DO BRASIL -----	117
4.1 INTRODUÇÃO -----	118
4.1.1 OBJETIVOS-----	119
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS -----	119
4.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ÁREAS DE ESTUDO -----	119
4.2.2 ESTRUTURA AMOSTRAL E OBTENÇÃO DOS DADOS-----	121
4.2.3 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA ATUAL-----	122
4.2.4 REGULAÇÃO DA DENSIDADE E DO ESTOQUE DE MADEIRA -----	123
4.2.4 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RECUPERAÇÃO DO ESTOQUE -----	126
4.2.5 PROJEÇÃO DA RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA -----	127
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	128
4.3.1 ESTRUTURA ATUAL DA FLORESTA -----	128
4.3.2 REGULAÇÃO DA DENSIDADE E DO ESTOQUE DA FLORESTA-----	134
4.3.2.1 Alternativas de Manejo Propostas -----	134
4.3.3 TEMPO DE RECUPERAÇÃO DO ESTOQUE INICIAL -----	140
4.3.4 PROJEÇÃO DA RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA -----	142
4.3 CONCLUSÕES -----	144
REFERÊNCIAS -----	146

CAPÍTULO I – ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil constitui-se em um dos grandes produtores e consumidores mundiais de produtos de origem florestal. Outrora, a cadeia produtiva de base florestal era suprida por madeira oriunda de florestas nativas subtropicais mistas, onde a espécie mais explorada era a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Pinheiro-brasileiro), juntamente com o *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. (Pinheiro-bravo) e algumas lauráceas como *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso (Imbuia) e *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer (Canela-sassafrás), entre outras espécies de ampla ocorrência no domínio da Floresta Ombrófila Mista (FOM) na região Sul do Brasil.

Devido à intensa e desordenada exploração dessas espécies no passado, as florestas sob domínio da FOM encontram-se altamente fragmentadas, descaracterizadas de sua estrutura original e estagnadas em seu crescimento devido à competição originária do processo de sucessão florestal. Agrava-se a isso, a dificuldade que a *Araucaria angustifolia* apresenta em se desenvolver sob o dossel, retardando seu desenvolvimento e sendo gradualmente substituída pelas espécies folhosas, se nenhuma intervenção silvicultural for realizada.

Atualmente o manejo e a utilização da *Araucaria angustifolia* estão sob várias restrições com a intenção de proteger e preservar o que restou das populações relictuais. Contudo, a grande dificuldade de conservar as florestas com araucária remanescentes reside no fato de que a grande parte das áreas se encontram nas mãos de proprietários privados, que se sentem desestimulados, pela obrigação por força de lei, em preservar suas florestas excedentes às APP's (Áreas de Preservação Permanente), sem poder manejá-las com a finalidade de geração de renda complementar. Logo, o manejo florestal deve ser visto com o propósito de perpetuação dessa espécie e de reestruturação da produção das florestas remanescentes alteradas. Ainda, conforme Orellana (2014), o manejo da floresta com araucária tem como benefício ecológico a mitigação da crescente exploração ilegal ou, até mesmo, um aumento da área dessas florestas nas propriedades rurais se produtos não madeiráveis e/ou projetos de captação de carbono forem também incluídos no plano de manejo.

Como toda atividade de manejo florestal implica intervenção, essa, somente será bem-sucedida no momento em que estejam disponíveis ferramentas e tecnologia que garantam a

utilização sustentável do recurso natural. Dessa forma, de acordo com o grau de recuperação após a exploração sofrida no passado, as florestas com araucária da região Sul do Brasil podem ser classificadas de duas formas visando prescrições para o seu manejo sustentado: 1) “florestas de recuperação/transformação” – áreas em que a araucária antes dominante, perdeu espaço para espécies latifoliadas, apresentando dificuldades de regeneração e desenvolvimento sobre dossel fechado; 2) “florestas de produção” – áreas em que a araucária continua sendo a espécie dominante e, embora não possua características de floresta primária, apresenta estrutura favorável para a condução de técnicas de manejo que permitam conservar e utilizar racionalmente esses recursos.

A garantia de que ações de manejo possibilitem a melhoria da floresta em termos de estrutura, composição florística, manutenção da capacidade de reprodução e perpetuação das espécies, além de ordenar os recursos florestais (madeireiros e não madeireiros) de forma a atingir uma produção com rendimento sustentado, depende, fundamentalmente, da adoção de métodos de ordenação florestal (ROSSOT, 2007). Para o mesmo autor é inegável que propor um modelo de manejo para a FOM representa, hoje, um desafio, pela multiplicidade e fragilidade dos ecossistemas envolvidos, pelos inúmeros fatores e variáveis a considerar quando do planejamento de operações, e pela falta de parâmetros técnicos suficientes e adequadamente validados por experiências anteriores.

Nesses argumentos, com o intuito de subsidiar o desenvolvimento de alternativas de uso da FOM capazes de aliar conservação e produção sustentável, o objetivo geral da presente tese foi planejar o manejo em uma área de Floresta Ombrófila Mista, tendo como base parâmetros de incremento volumétrico, tempo de recuperação da densidade e do estoque inicial do volume comercial em uma área de manejo experimental com diferentes intensidades de corte seletivo. Para tanto, o trabalho foi dividido em três estudos apresentados em capítulos.

No Capítulo II, analisou-se a recuperação de uma floresta com araucária, após 13 anos da aplicação de diferentes níveis de redução da área basal, em uma área de manejo experimental idealizada e conduzida por Borsoi (2004). Nessa área buscou-se determinar o tempo de recuperação do estoque em volume comercial para cada intensidade de corte seletivo e determinar o nível de intervenção que melhor conduz a floresta, por meio de cortes seletivos frequentes, a uma estrutura produtiva no futuro, com alta diversidade de espécies e, principalmente, aumento da densidade da *Araucaria angustifolia*.

No Capítulo III, comparou-se a acuracidade de métodos de projeção da distribuição diamétrica em floresta submetida a cortes seletivos. Para tanto, utilizou-se a área de manejo

experimental que contemplava o nível de intervenção com melhores resultados quanto a recuperação da floresta (resiliência) após as intervenções, obtida no capítulo II. Com o método de projeção da distribuição diamétrica mais acurado determinado, simulou-se o desenvolvimento da floresta no futuro após as intervenções de manejo.

No Capítulo IV, utilizou-se parâmetros experimentais de crescimento da floresta remanescente após intervenções de manejo, obtidos no capítulo II, juntamente com o método de projeção diamétrica selecionado no capítulo III, para, então, regular a produção e projetar o tempo de recuperação do estoque em outra área de floresta com araucária. A regulação da produção da floresta deu-se para três alternativas de manejo que se basearam na redução da densidade em níveis percentuais da curva de distribuição de frequência ajustada, para um diâmetro máximo desejado estipulado. Projetou-se, então, a distribuição diamétrica ao longo do ciclo de corte determinado para as alternativas de manejo, podendo-se verificar se a floresta consegue repor o que foi extraído em cada classe de diâmetro.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

A Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida por Floresta com Araucária, Pinheiral ou Pinhal, pode ser definida como a unidade fitogeográfica, cujo elemento característico é a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (KERSTEN et al., 2015). Essa unidade do Bioma Mata Atlântica (IBGE, 2012) originalmente distribuía-se numa superfície de cerca de 200.000 km², sendo destes, 40% ocorria no estado do Paraná, 31% em Santa Catarina, 25% no Rio Grande do Sul, 3% em manchas isoladas nas partes mais elevadas do sul de São Paulo e 1% em Minas Gerais e no Rio de Janeiro (CARVALHO, 2003; SAWCZUK et al., 2012); além de ocorrer com disjunções em países vizinhos, atingindo a Argentina, na província de Misiones, estendendo-se até o oeste do Paraguai (KLEIN, 1960; HUECK, 1972).

A FOM está circunscrita a uma região de clima pluvial subtropical, ocorrendo abaixo do trópico de Capricórnio, limitada entre as latitudes 19° e 31° sul e entre as longitudes 41° e 54° oeste (CABRAL; CESCO, 2008), em altitudes que variam desde 200 m s.n.m. no extremo sul do Brasil até superiores a 1.500 m s.n.m. na Serra da Mantiqueira (BACKES, 2009). Pode apresentar quatro formações distintas: Aluvial: em terraços antigos associados à rede hidrográfica; Submontana: constituindo disjunções em altitudes inferiores a 400 m; Montana:

situada aproximadamente entre 400 e 1000 m de altitude; e Altomontana: compreendendo as altitudes superiores a 1000 m (VELOSO et al., 1991; IBGE, 2012).

A região de ocorrência dessa floresta é bem delimitada por um clima temperado, com alto índice de chuvas e geadas frequentes. É encontrada em uma gama de ambientes, em condições geológicas, pedológicas, geomorfológicas e climáticas variadas. Segundo Kersten et al. (2015), ocorre principalmente sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral, nos três estados sulinos, sendo a geomorfologia e a posição na paisagem determinam diferentes tipos de solos, com texturas diversas (arenosa a argilosa), que variam desde rasos (Neossolos litólicos e regolílicos) até profundos (Latossolos, Nitossolos e Argissolos).

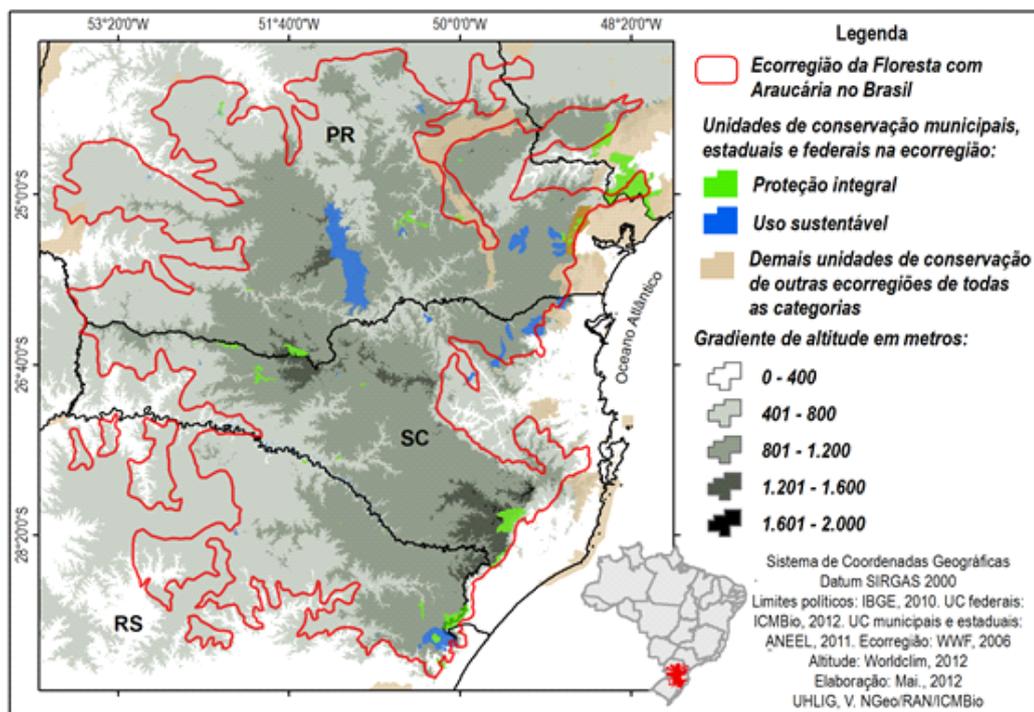
A composição florística deste tipo de vegetação, dominada por gêneros primitivos como *Drymis* e *Araucaria* (australásicos) e *Podocarpus* (afro-asiático), sugere, em face da altitude e da latitude do Planalto Meridional, uma ocupação recente a partir de Refúgios Alto-Montanos (IBGE, 2012). Essa formação florestal apresenta estrutura extremamente variável, ora apresentando agrupamentos densos com abundância de Lauraceae, ora apresentando agrupamentos pouco desenvolvidos com um predomínio de *Podocarpus*, *Drymis* e Aquifoliaceae (LEITE; KLEIN, 1990). Em estudo realizado por Longhi et al. (2006), com o objetivo de identificar e caracterizar os diferentes estágios sucessionais de remanescentes de Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS, por meio de análise de agrupamento da vegetação, verificaram três grupos florísticos que indicaram estágios sucessionais na floresta: um grupo separou um estágio sucessional menos evoluído denominado de mata secundária, tendo *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez (canela-preta) e *Cryptocarya aschersoniana* Mez (canela-vick) como espécies indicadoras; um segundo grupo indicando um estágio sucessional intermediário da floresta, com *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B. Sm. & Downs (branquilha) e *Ocotea pulchella* (Nees) Mez (canela-lageana) como espécies indicadoras; e um terceiro grupo constituído da floresta primária cuja espécie indicadora foi *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (pinheiro-brasileiro).

A exploração intensiva de madeiras de grande valor econômico na região da Floresta Ombrófila Mista no sul do Brasil, caso de espécies como *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (pinheiro-brasileiro), *Ocotea porosa* (Nees) Barroso (imbuia), *Luehea divaricata* Mart. & Zucc. (açaita-cavalo) e *Cedrela fissilis* Vell. (cedro) reduziu suas reservas naturais (NASCIMENTO et al., 2001). A *Araucaria angustifolia*, com sua madeira de alta qualidade para construções e com alto teor de celulose para fabricação de papel, foi, durante várias décadas, um dos produtos mais importantes na exportação brasileira. Segundo Koch e Corrêa

(2010), entre 1915 e 1960, estima-se que o Brasil exportou 18,5 milhões de m³ de madeira extraída quase que totalmente da floresta com araucária. Na década de 1970 a araucária correspondia a 90% de cerca de 1,0 milhão de m³ de madeira exportada pelo País anualmente (STEFENON et al., 2003).

O intenso desmatamento reduziu a extensa área que era coberta por essa formação fitoecológica a fragmentos esparsos, os quais geralmente encontram-se alterados e, por consequência, empobrecidos em sua composição florística original (KANIESKI, 2010). Estima-se que hoje, as florestas com araucária encontram-se drasticamente reduzidas entre 1 e 2% de sua área original (RODE et al., 2011). Essas áreas, altamente fragmentadas, geralmente são encontradas em locais de difícil acesso, em áreas particulares ou nas poucas Unidades de Conservação existentes na ecorregião da floresta com araucária no Sul do Brasil (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Ecorregião de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucária) e localização das unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável nos estados do Sul do Brasil.



Fonte: (KERSTEN et al., 2015).

1.2.2 DINÂMICA E SUCESSÃO FLORESTAL

A dinâmica e a sucessão florestal relacionam-se a distúrbios na floresta. O recurso

principal na determinação do comportamento das espécies, na dinâmica de sucessão, é a luz (MACIEL et al., 2003). Essa capacidade da espécie desenvolver-se quanto à disponibilidade de luz proporcionou a classificação de grupos ecológicos por vários autores. Budowski (1965) propôs classificar as espécies florestais em pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímaxes. As espécies pioneiras teriam um papel de recobrir rapidamente o solo; as clímaxes cresceriam à sombra das pioneiras; e as secundárias necessitariam de um estímulo para crescer. Já Lamprecht (1990) classificou as espécies arbóreas de acordo com as respectivas exigências relativas à luz em: espécies heliófilas (pioneiras): que necessitam de luz mais ou menos plena do início ao fim da vida; espécies esciófilas (tolerantes): que se regeneram na sombra do povoamento e, sob certas condições, conseguem manter-se na sombra durante toda a vida, mas, este compasso de espera, elas preservam sua capacidade de reagir ao crescimento a qualquer melhoria nas condições de luminosidade; espécies parcialmente esciófilas (intolerantes): que são capazes de regenerarem-se na sombra ou sob a luz, mas necessitam de luz plena na primeira fase, sendo a tolerância das plântulas à sombra limitada, ou seja, passados alguns anos, não havendo uma condição favorável de luminosidade, elas acabarão por morrer. Swaine e Whitmore (1988) definem pioneiras como aquelas espécies que somente regeneram em regiões de clareiras, e espécies clímax (não pioneiras) como aquelas cujas sementes germinam sob o dossel intacto e cujos juvenis são capazes de se estabelecer na sombra da floresta.

Segundo Wadsworth e Zweede (2006), a formação de clareiras através de distúrbios e a consequente morte de árvores podem atuar favoravelmente na sobrevivência das árvores, uma vez que elas aumentam a disponibilidade de nutrientes, luz e espaço necessário para o desenvolvimento das espécies, liberando-as da competição. Em contrapartida, as mudanças causadas no ambiente, devido aos distúrbios ou intervenções silviculturais, podem surtir efeitos indesejáveis. De acordo com Schneider e Schneider (2008), quando se libera árvores que cresceram na sombra, suas folhas, adaptadas à sombra, ficam expostas a uma maior intensidade luminosa e devem se ajustar a este novo ambiente, sendo que, em casos extremos, árvores sufocadas e depois liberadas podem chegar à morte, no caso de espécies incapazes de se adaptar rapidamente a essa mudança.

Nesse cenário, como as espécies arbóreas têm ritmos de crescimento e necessidades ecológicas diferentes nos diversos estágios de desenvolvimento, o conhecimento da autoecologia das espécies é muito importante no momento de se definir uma intervenção silvicultural. No mesmo sentido, Maciel et al. (2003) salientam que o conhecimento da dinâmica sucessional é fundamental na solução de problemas, como a manutenção da riqueza

de espécies e o desenvolvimento de sistemas silviculturais, visando seu manejo sustentável.

De um modo geral, após a criação de uma clareira, as espécies pioneiras crescem rápidas e vão formar o dossel, debaixo do qual se estabelecem as mudas de espécies tolerantes à sombra. Quando as espécies intolerantes começam a morrer, o dossel começa a desfazer-se, e as tolerantes são liberadas e crescem como um segundo ciclo (CARVALHO, 1999). Diante dessa dinâmica, quando se planeja uma exploração florestal o tamanho das clareiras deve ser levado em consideração (SILVA, 1989), uma vez que quando a espécie desejável é tolerante à sombra, a exploração deve minimizar a formação de clareiras muito grandes, uma vez que irão favorecer o desenvolvimento de espécies heliófilas indesejáveis (JARDIM et al., 2007).

Portanto, o nível de abertura realizado no momento de uma exploração, ou mesmo para realização de tratos silviculturais, deve ser bem planejado, haja vista que, em sítios muito perturbados, a resiliência é baixa, tomando muito tempo entre o aparecimento das espécies colonizadoras e o estabelecimento dos grupos ecológicos que apresentam espécies de importância silvicultural (MIRANDA, 1993). Assim, a intensidade de radiação solar que entra na floresta deve ser suficiente para favorecer as espécies desejáveis (JARDIM et al., 2007) e não muito grande a ponto de favorecer espécies indesejáveis de ciclo curto (pioneiras).

Além disso, o tipo de estágio em que se encontra a floresta torna-se fundamental para se pensar o tratamento silvicultural, uma vez que a luminosidade é imprescindível para os processos de dinâmica de seu crescimento. No âmbito geral, os estudos da dinâmica de populações arbóreas, segundo Vanclay (1994), têm como principal objetivo o conhecimento das taxas de mortalidade e recrutamento, as quais, quando analisadas em conjunto com as taxas de crescimento, indicam as alterações demográficas da população e os possíveis fatores que estão influenciando este processo, suas implicações para a comunidade florestal e as possíveis práticas de manejo a serem realizadas na floresta em foco.

A sucessão florestal pode ser acompanhada pelos estudos ligados a recrutamento e mortalidade da floresta, pois há uma dinâmica desigual entre os grupos ecológicos nesse processo, tanto em épocas como intensidade de ocorrência (NASCIMENTO et al., 2012). Assim, as árvores recrutadas ou ingressantes podem ser definidas como as que atingiram um diâmetro mínimo entre duas medições subsequentes, o que difere de regeneração, que Vanclay (1994) relaciona ao desenvolvimento de árvores já estabelecidas por sementes ou plântulas. Já a mortalidade é definida por Sanquetta et al. (2003) como o número de árvores que foram mensuradas inicialmente, que não foram cortadas e morreram durante o período de crescimento. Pode ser causada por diversos fatores: idade ou senilidade; competição e supressão; doenças ou pragas; condições climáticas; fogos silvestres; anelamento e

envenenamento; injúrias; corte ou abate da árvore, entre outros (SANQUETTA, 1996; ROSSI et al., 2007).

Segundo Whitmore (1989), espécies pioneiras tendem a apresentar maiores taxas de mortalidade, diminuindo à medida que a floresta evolui para o seu clímax. Adicionalmente, Silva (1989) ressalta que quando a maioria das espécies pioneiras componentes da floresta estiverem mortas e substituídas por espécies tolerantes à sombra, a mortalidade tende a estabilizar e tornar-se quase constante nas classes de diâmetro. Contudo, como o povoamento inequiâneo é caracterizado por um decréscimo na frequência de árvores à medida que os diâmetros das árvores aumentam, é esperado que as taxas de mortalidade sejam maiores nas classes de diâmetro inferiores (ROSSI et al., 2007). Os mesmos autores ressaltam ainda que biologicamente tal relacionamento é esperado, uma vez que a mortalidade relacionada com a supressão aumenta com o aumento da frequência de árvores.

Na região de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista, diversos estudos foram realizados com a finalidade de avaliar a dinâmica da floresta, tanto em áreas não exploradas como em áreas com diferentes históricos de perturbações no passado. Figueiredo Filho et al. (2010) compararam resultados sobre a dinâmica da Floresta Ombrófila Mista em vários estudos realizados no Sul do Brasil e verificaram que, em geral, a taxa de mortalidade está entre 1 e 2% e que o ingresso tem sido um pouco maior, com uma média de quase 3%. Em uma FOM no RS, Moscovich (2006) verificou taxa média anual de ingresso de 3,05%, indicando que esse alto valor se deve ao fato de a floresta encontrar-se em um processo de evolução desde um estado *seral* de floresta secundária para um estado *seral* de floresta madura, onde o ingresso é muito abundante, mas não tanto como os registrados em florestas que sofreram intervenção recente ou com pouco tempo de evolução.

1.2.2.1 Crescimento da floresta

O crescimento é entendido, segundo Vanclay (1994) e Prodan et al. (1997), como o aumento de dimensões de um ou mais indivíduos em uma floresta em determinado período de tempo, o qual é influenciado pelas características da espécie em interação com o ambiente. Tais dimensões podem ser o diâmetro, a altura, o volume, a biomassa, a área basal, etc.

Para Nowacki e Abrams (1997), a variação do crescimento de uma árvore é uma expressão da idade e de seu tamanho; de fatores ambientais relacionados com o clima e com o microclima; de distúrbios exógenos ao longo da vida do povoamento e da variação anual não explicada. Schneider e Schneider (2008) citam que os principais fatores que influem no

crescimento de uma árvore são: luz, conteúdo de clorofila, concentração de CO₂, temperatura, água e nutrientes; fatores esses dependentes da adaptação genética da espécie e da competição.

De um modo geral, as espécies intolerantes à sombra crescem mais rápido, podendo haver variação de crescimento entre espécies, assim como dentro de uma mesma espécie, considerando que pode haver diferença nos tamanhos de copa, na iluminação da copa, além da influência dos fatores genéticos (CARVALHO, 1999). Para o mesmo autor, os tratamentos silviculturais podem diminuir ou até, em alguns casos, eliminar a diferença de crescimento entre indivíduos de uma mesma espécie.

Segundo Chassot et al. (2011), o crescimento de uma floresta depende tanto da produtividade potencial, dada pela qualidade de sítio, quanto pelo grau em que se aproveita essa potencialidade expressa pelo estoqueamento da floresta. O grau de estoqueamento está intimamente relacionado com a densidade da floresta ou povoamento, a qual, para Prodan et al. (1997), refere-se às condições de concorrência, ocupação da superfície e fechamento do dossel.

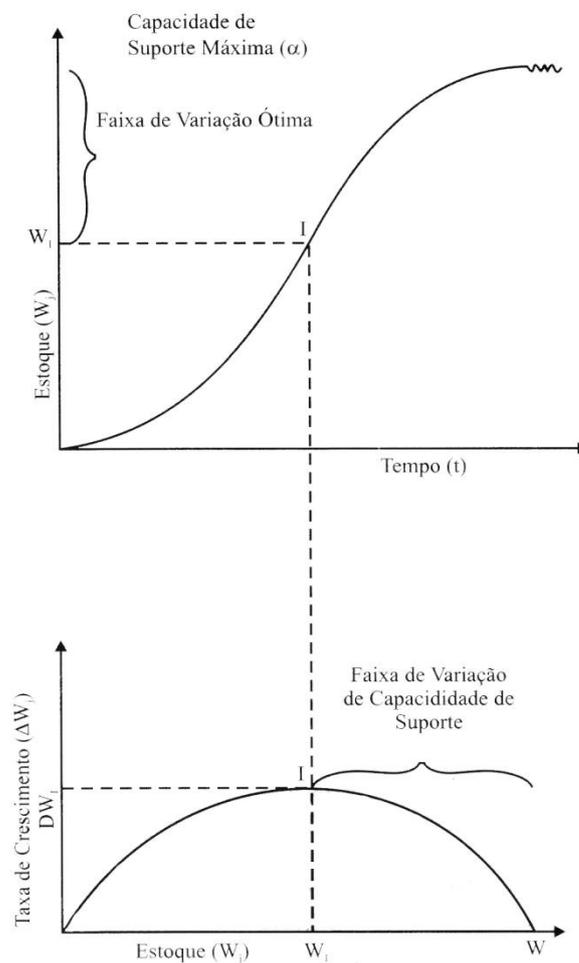
As florestas naturais possuem três estágios típicos de acordo com Assmann (1970): “reestoqueamento” (*restocking*), “produção completa” (*full production*) e “mudança da cobertura” (*canopy change*). A fase de “reestoqueamento” refere-se como fase de construção em que os estratos superior, médio e inferior contribuem com um terço cada na cobertura. No estágio de “produção completa”, o estrato superior ocupa aproximadamente 50% do teto de cobertura, estando a floresta próxima de atingir seu estoque máximo e o incremento alcança seu máximo valor. No estágio de “mudança de cobertura”, depois de alcançar seu estoque máximo, acontece uma diminuição pesada da cobertura (seja por calamidade ou exploração). Outra vez, condições favoráveis de luminosidade ocorrem, favorecendo inúmeros pontos de regeneração. O crescimento é moderado e, conseqüentemente, o incremento é pequeno.

De acordo com Imaña-Encinas et al. (2005), os parâmetros de medição do crescimento em diâmetro, altura, área basal e volume de uma árvore, apresentam comportamento semelhantes ao longo do tempo, sendo que, em forma gráfica parece a uma curva sigmoideal. Nessa curva, até o ponto de inflexão a árvore está na fase juvenil; entre o ponto de inflexão e o ponto de máxima tangência, na fase madura; após o ponto de máxima tangência, na fase senil, onde ocorre significativa redução no crescimento. Cada fase mantém um ritmo de crescimento característico da vida total da árvore e juntos eles formam a curva de crescimento.

Embora o crescimento seja o resultado de complexas interações de forças opostas: anabólicas (metabolismo construtivo, fotossíntese, absorção de nutrientes, potencial

biológico, etc.) e catabólicas (competição, respiração, estresses, limitações de recursos, metabolismo destrutivo, etc.), Odum (1988) relata que no longo prazo a tendência sigmoideal é estável e a curva de crescimento cumulativo possui duas características fundamentais: valor assintótico (α) que se refere a capacidade de suporte máxima do local; e ponto de inflexão (I), que representa o nível em que a taxa de crescimento corrente (ΔW) está no máximo (ΔW_I), sendo o ótimo teórico de produção máxima sustentável (Figura 1.2).

Figura 1.2 – Curvas teóricas de crescimento cumulativo e de taxa de crescimento corrente de uma floresta natural.



Fonte: (SOUZA; SOARES, 2013).

Segundo Souza e Soares (2013) em florestas naturais pode-se dizer que existe uma faixa de variação ótima de estoque, na qual a floresta pode colher, ou seja, apropriar-se de parte do estoque em crescimento sem comprometer a capacidade de renovação ou sustentação da floresta. Essa faixa de variação ótima é representada pela região situada entre o ponto de inflexão (I), que define o nível de estoque W_I , e a assíntota (α), representada pelo estoque

máximo (W_a) (Figura 1.2). Os autores relatam ainda que se a colheita reduzir o estoque a um nível inferior a W_I , a capacidade de renovação ou de sustentação da floresta natural, será comprometida.

1.2.3 MANEJO SUSTENTADO DE FLORESTAS NATURAIS

Um grande avanço no manejo de florestas foi dado com a introdução da ideia da sustentabilidade, formulada no início do século XVI pelo florestal Hans Carl Von Carlowitz, na qual afirmava que: as florestas deveriam fornecer produtos madeireiros e não-madeireiros às gerações atuais e às futuras, em igual quantidade e qualidade às hoje disponíveis. Para isso é preciso que periodicamente seja cortada apenas uma quantidade de madeira igual ao crescimento das árvores da floresta, proporcionando, assim, a perpetuação do estoque de madeira e da biodiversidade, o que requer longo prazo e a manutenção do equilíbrio do ecossistema, suporte básico de qualquer produção (SCHNEIDER; FINGER, 2000).

O conceito de manejo florestal sustentável mais atual e abrangente está disponível na Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006, artigo 3º, inciso VI:

"E a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal".

Segundo Gama et al. (2005) a finalidade do manejo florestal é conseguir que as florestas forneçam continuamente benefícios econômicos, ecológicos e sociais, mediante um planejamento mínimo para o aproveitamento dos recursos madeireiros e não madeireiros disponíveis. Para tanto, o manejo florestal sustentável, é um processo de gerenciamento e planejamento florestal, no sentido de analisar as melhores ações para uma resposta socioeconômica e ambiental favorável a médio e longo prazo.

Sob o contexto de sustentabilidade da produção de madeira, Sterba (2001) enfatizou três pontos fundamentais para garantir a sustentabilidade: avaliação do estoque disponível, conhecimento das taxas de crescimento e da capacidade de regeneração natural da espécie explorada. Sobre isto, Ahrens (1990 apud BRAZ, 2010) identifica ainda as seguintes informações a serem consideradas:

a) a distribuição diamétrica ideal para um povoamento: expressa pelo número de árvores em cada classe. Em adição aos objetivos da produção, a determinação da distribuição

diamétrica ideal também é influenciada pela composição de espécies e pela frequência do abate de árvores, além das características edafoclimáticas que irão afetar o crescimento;

b) a composição ideal de espécies: além dos seus efeitos sobre a posição da curva e sobre a função de distribuição diamétrica, o controle da composição de espécies é extremamente importante para atender aos objetivos da produção;

c) a periodicidade dos cortes: deve-se sempre considerar as conveniências em se minimizar os danos e distúrbios ao povoamento (principalmente no que se refere à regeneração natural) para possibilitar retornos em ciclos menos dilatados. Também se deve ter em mente que a frequência dos cortes afetará a distribuição diamétrica remanescente e futura;

d) a estratégia ideal de conversão do povoamento para uma condição regulada: uma vez que a distribuição diamétrica ideal tenha sido definida, deve-se então conceber a estratégia ou conjunto de ações silviculturais que permitam a transformação da estrutura atual da floresta em uma condição ideal, com características que possibilitem a sustentação da produção no futuro.

Além disso, no momento da exploração florestal, práticas que minimizem os danos sobre a floresta remanescente devem ser tomadas como forma de aumentar a produção de árvores para a futura colheita. Nesse sentido, a exploração de impacto reduzido (EIR) tem se mostrado muito eficiente em relação à exploração convencional.

Segundo Sabogal et al. (2000) a EIR é considerada essencial para melhorar as operações florestais e constitui um passo substancial para o manejo sustentável da floresta. A EIR consiste na implementação de uma série de diretrizes pré e pós-exploração desenhadas para proteger a regeneração avançada (mudas, varas e arvoretas), minimizar danos ao solo e prevenir danos desnecessários às espécies que não serão exploradas (PUTZ et al., 2000).

Em estudo realizado por Vidal et al. (2002), ao comparar o crescimento das árvores em três tratamentos distintos na Amazônia oriental: floresta natural, colheita de madeira com manejo (EIR) e colheita de madeira sem manejo, verificaram que o crescimento em área basal após os três anos de intervenção na área com manejo foi 44% superior ao da área sem manejo. O incremento periódico anual para todas as espécies na área com manejo foi 1,9 vezes maior que o da testemunha e 1,7 vezes maior que o da colheita sem manejo.

Apesar de a EIR servir como uma importante ferramenta para reduzir danos e melhorar a eficiência das operações florestais envolvidas, o emprego de tais técnicas por si só não é capaz de conduzir o manejo florestal à sustentabilidade (GRAAF, 2000), sem a aplicação de tratamentos silviculturais para se evitar que a estrutura da floresta seja dominada por espécies não comerciais e impedidores do crescimento (BRAZ, 2010).

1.2.3.1 Sistemas silviculturais e de manejo

Um sistema de manejo envolve múltiplas atividades inter-relacionadas, como os processos de colheita de produtos florestais madeireiros e não madeireiros, os tratamentos silviculturais e o monitoramento da floresta remanescente, visando melhorar sua qualidade e produtividade e, sobretudo, a perpetuá-la (SOUZA; SOUZA, 2005). Dentre os sistemas silviculturais aplicados a florestas nativas, que envolvem a exploração de espécies comerciais, Gómez–Pompa e Burley (1991) destacam como eficientes os que favorecem a regeneração natural ou artificial, enriquecendo a futura floresta com espécies de interesse; e os que promovem a eliminação de espécies indesejáveis.

Os sistemas silviculturais podem ser classificados em Sistemas Monocíclicos e Sistemas Policíclicos, que segundo Lamprecht (1990), são designados monocíclicos os sistemas pelos quais, em uma só operação, é abatida a totalidade do estoque de madeira comercial, tendo que o objetivo consiste na criação de florestas equiâneas destinadas a explorações e a operações de regeneração dentro de ciclos previamente estabelecidas. Já os policíclicos são os sistemas nos quais as operações são aplicadas a apenas uma parte das espécies comerciais de cada vez, objetivando a criação de uma floresta multiânea manejada, composta predominantemente por espécies comerciais, onde são feitos os cortes tanto durante a transformação, como mais tarde em intervalos regulares (ciclos de corte).

Os principais sistemas silviculturais utilizados no manejo florestal em regime de rendimento sustentável, no passado, foram: Malaio Uniforme (original), Tropical Shelterwood (original), Seletivo (original), Malaio Uniforme Modificado das Filipinas, Malaio Uniforme Modificado da Indonésia, Malaio Uniforme Modificado de Sabah, Desbaste de Liberação de Sarawak, Seletivo Modificado da Malásia Peninsular, Seletivo Modificado das Filipinas, Seletivo Modificado da Indonésia, Diâmetro Mínimo, Seletivo da Tailândia, Tropical Shelterwood de Gana, Seletivo Modificado de Gana, Melhoramento da População Natural da Costa do Marfim, Seletivo de Porto Rico, Tropical Shelterwood de Trinidad, CELOS do Suriname, Melhoramento da População Natural da Guiana Francesa e Faixas de Colheita do Peru (HIGUCHI, 1994). A descrição de cada um desses sistemas silviculturais pode ser encontrada em Silva (1989).

No Brasil, segundo Souza e Souza (2005), o sistema de corte seletivo, um sistema policíclico, é o mais recomendado porque mantém a estrutura inequiânea da floresta remanescente, uma vez que imita o processo de mortalidade natural para apropriar-se do estoque de madeira e dinamizar a sucessão florestal. Da mesma forma, para o manejo de

florestas nativas, Osmaston (1968) menciona o uso dessa prática de seleção (corte seletivo) combinada a tratamentos silviculturais, cortes de regulação e abate, o que permite manter a cobertura florestal contínua, ou seja, controlando o crescimento e o desenvolvimento de árvores em todas as classes de diâmetro.

A aplicação do método de corte seletivo está diretamente relacionada ao conhecimento da composição florística, da estrutura fitossociológica e das distribuições diamétrica e espacial das espécies, sendo que a integração desses conhecimentos é fundamental para manejar a floresta para uma estrutura balanceada e que, ao mesmo tempo, harmonize os conceitos de fitossociologia com produção sustentável de madeira (SOUZA; SOUZA, 2005).

Além disso, para Hosokawa et al. (2008), no sistema de manejo de corte seletivo, a avaliação da regeneração de espécies de valor comercial, bem como o seu ingresso em classes diamétricas comerciais, é de suma importância, já que é um indício da viabilidade técnica e econômica do regime de manejo empregado.

1.2.3.2 Tratamentos silviculturais

Os tratamentos silviculturais são intervenções aplicadas na floresta com vista a manter ou melhorar o seu valor silvicultural (LOUMAN et al., 2001), ao estimular a regeneração, o crescimento de mudas e de árvores remanescentes que irão compor as colheitas futuras (GOMES et al., 2010).

Tratamentos silviculturais, aplicados periodicamente, podem resultar em uma floresta com predominância de espécies de valor econômico e em novas colheitas com ciclo de corte duas a três vezes menores do que no caso de florestas não manejadas (OLIVEIRA, 2005). Contudo, Carvalho (2001) salienta que, para que seja mantido o equilíbrio do ecossistema florestal, causando o mínimo de agressões à comunidade tratada, alguns aspectos devem ser considerados no planejamento dos tratamentos silviculturais como: composição florística, diversidade vegetal, padrão espacial das espécies, estrutura da floresta, crescimento dos indivíduos, recrutamento, mortalidade e todo o processo dinâmico de recuperação e reestruturação da floresta tratada.

Os tratamentos silviculturais realizados para acelerar as taxas de crescimento, segundo Azevedo et al. (2008), envolvem dois tipos: i) liberação ou desbaste seletivo, que consiste na remoção de indivíduos competidores, não desejáveis, cujas copas estejam competindo por luz com as copas das árvores de espécies selecionadas para a próxima colheita; ii) refinamento ou desbaste sistemático, que consiste na redução da área basal de espécies não desejáveis,

visando diminuir a competição no povoamento de forma geral. Segundo Smith (1986), o desbaste visa reduzir a competição entre árvores por espaço, luz e nutrientes, proporcionando aumento da sobrevivência e do crescimento e o estabelecimento da regeneração natural de árvores desejáveis.

Diversos estudos realizados com a finalidade de investigar o efeito do crescimento de árvores em função da aplicação de intervenções silviculturais, confirmam um maior crescimento em áreas sob intervenções, quando comparado ao crescimento em áreas sem intervenções, no mesmo sítio (SILVA et al., 1995; HUTCHINSON; WADSWORTH, 2006, WADSWORTH; ZWEEDE, 2006; PEÑA-CLAROS et al., 2008; VILLEGAS et al., 2009; SOUZA et al., 2015; VENTUROLI et al., 2015). Esses estudos estão concentrados nas Florestas Tropicais, sendo escassos os estudos nas florestas sob domínio do Bioma Mata Atlântica na região Sul do Brasil.

Em uma floresta tropical seca, Villegas et al. (2009) estudando o efeito da exploração e aplicação de tratamentos silviculturais sobre as árvores de interesse para a próxima colheita, verificaram um aumento de 22 a 27% na taxa de incremento nessas árvores nos tratamentos com algum tipo de tratamento silvicultural adicional, comparado ao tratamento testemunha. Os autores concluem ainda que as taxas de crescimento em diâmetro das árvores de interesse aumentaram com a disponibilidade de luz, intensidade de exploração, e diminuíram com o grau de infestação de cipós.

Da mesma forma, analisando o crescimento de espécies arbóreas em relação a diferentes intervenções silviculturais (liberação de competição, corte de cipós, plantio de enriquecimento e um testemunha) em uma Floresta Estacional Semidecídua secundária em Pirenópolis, estado de Goiás, Venturoli et al. (2015) verificaram que o incremento periódico anual em diâmetro entre os tratamentos foi de 0,29 cm.ano⁻¹ no tratamento testemunha, 0,32 cm.ano⁻¹ no tratamento de liberação de desejáveis, 0,33 cm.ano⁻¹ no tratamento de liberação de desejáveis mais corte de cipós e de 0,36 cm.ano⁻¹ no tratamento de liberação de desejáveis mais corte de cipós e plantio.

Na Amazônia brasileira, Souza et al. (2015) ao avaliar os efeitos de tratamentos silviculturais sobre o crescimento de uma floresta natural de terra firme explorada usando técnicas de impacto reduzido, constatou-se que, quatro anos após a aplicação dos tratamentos silviculturais pós-exploratórios, as taxas de crescimento dos tratamentos com atividades combinadas foram superiores (10,53% a 21,05%) às observadas na floresta apenas explorada (sem tratamento adicional).

1.2.4 REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FLORESTAS NATURAIS

Segundo Davis e Johnson (1987) uma floresta regulada é aquela em que classes de idade, como classes de diâmetro, estão crescendo segundo determinadas taxas e são representadas em proporções tais que uma produção aproximadamente igual de madeira, anual ou periodicamente, segundo dimensões e qualidades desejadas, pode ser obtida de forma contínua, regular e perpétua. Dessa forma, a regulação da produção de florestas inequiâneas pode ser definida como o conjunto de procedimentos que permitem estabelecer um equilíbrio entre a intensidade de corte e o tempo necessário para o restabelecimento do volume extraído da floresta, garantindo a produção florestal de forma sustentada.

A necessidade de estabelecer a normalidade e rendimento sustentado levou o engenheiro francês Liocourt, em 1898, a formular um modelo de floresta ideal para estruturas de seleção, em esquema de regulação de cortes consistentes (LOETSCH et al., 1973 apud SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). A teoria de De Liocourt descreve que a distribuição diamétrica em florestas inequiâneas e heterogêneas tende a uma distribuição em forma de "J" invertido, na qual o número de árvores decresce na direção das classes de maior diâmetro, podendo ser descrita por uma função exponencial, como a aplicada por Meyer (1952), representada pela função de densidade $Y_j = \beta_0 \cdot e^{\beta_1 \cdot D_j}$, sendo Y_j o estimador do número de árvores por hectare na j -ésima classe de DAP; β_0 e β_1 , os coeficientes da equação; D_j , o diâmetro correspondente ao centro da j -ésima classe de DAP; e e , a constante dos logaritmos neperianos. Assim, Liocourt, Meyer e outros pesquisadores menos conhecidos, estabeleceram a base estocástica do conceito de floresta balanceada (SCHNEIDER; FINGER, 2000).

O conhecimento da distribuição diamétrica torna-se uma eficiente ferramenta para a elaboração de correspondentes planos de ordenação silvicultural e manejo florestal, pois permitem inferências sobre o comportamento do crescimento do maciço florestal (IMANÁ-ENCINAS et al., 2013). Além disso, a análise do número de árvores por unidade de área por intervalo de classe de diâmetro pode ser utilizada como um indicativo de equilíbrio ou desequilíbrio do recurso florestal. Se a floresta está em equilíbrio, as taxas de recrutamento ficam parecidas com as taxas de mortalidade e a distribuição dos diâmetros das árvores apresenta a forma de J reverso ou exponencial negativo, que pode ser quantificado pelo quociente de De Liocourt. Esse quociente fornece a relação entre o número de indivíduos existentes em uma classe de diâmetro e na classe imediatamente anterior, e, para a floresta estar em equilíbrio, deve ser relativamente constante ao longo da curva. Se constante, indica

que a floresta é capaz de render um volume estável de madeira ao longo do tempo, sem mudar sua estrutura ou volume inicial, podendo ser considerada sustentável e qualquer mudança na curva pode indicar desbalanceamento na regeneração e no crescimento (O'HARA, 2002).

Para se obter uma floresta regulada, com rendimento volumétrico sustentado ao longo do tempo, Braz (2010) ressalta que é necessário definir qual área deve ser submetida à exploração seletiva periodicamente e qual volume pode ser explorado em cada período ou ciclo de corte. Segundo Leuschner (1990), no controle pela área, a floresta é dividida pelo ciclo de corte para determinar o número de hectares a ser cortado por ano. Já o controle por volume determina diretamente o volume de exploração baseado no estoque de crescimento e incremento. Para isso, o corte deve ser igual ao incremento, uma vez que, o incremento pode ser considerado o “juro” do estoque de crescimento, e o ciclo de corte, o tempo de acumulação desse juro. Já para uma floresta cujas densidades sejam diferentes do padrão, o corte deverá ser ajustado, para que, pouco a pouco, obtenha-se a densidade desejada.

Entretanto, segundo Souza e Soares (2013), os parâmetros: distribuição diamétrica, volume do estoque em crescimento, ciclo de corte, composição florística, sortimento dos produtos madeireiros, taxas de crescimento e produção das espécies têm que ser determinados para as condições locais da floresta manejada. Para tal, devem ser instaladas parcelas permanentes para inventário florestal contínuo nas diferentes classes de floresta ou classes de estoque, sendo monitorados periodicamente o crescimento e a produção do estoque remanescente, bem como estudado o processo de sucessão natural e as alterações no ecossistema, advinda de tais intervenções.

1.2.5 MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL

Um instrumento poderoso para auxiliar o planejamento florestal são os modelos de produção. Esses modelos são técnicas utilizadas para prognosticar a dinâmica de um povoamento, e independentemente da complexidade estrutural que possam apresentar todos os modelos de crescimento e produção têm um propósito em comum, que é o de apresentar estimativas das características do povoamento de um ponto específico no tempo (AVERY; BURKHART, 1994).

Os diversos modelos de crescimento e produção para florestas naturais podem ser divididos em três grupos, sendo modelos para o povoamento total (*whole stand model*), de classes de tamanho (*size class model*) e de árvore individual (*single-tree model*). Nos modelos para o povoamento total, o crescimento e a produção são enfocados no povoamento, ou seja, o

povoamento é tomado como unidade básica para modelagem; nos modelos de classes de tamanho, empregam-se como unidades básicas classes de diâmetro, de altura, etc.; já nos modelos para árvores individuais, a árvore é a unidade básica. Os modelos para árvore individual simulam cada indivíduo com relação ao estabelecimento, crescimento e mortalidade, e a soma das estimativas de cada árvore resulta na produção do povoamento (VANCLAY, 1994).

Os principais objetivos da prognose da produção em florestas nativas, segundo Souza e Soares (2013), são: prognosticar a estrutura e produção da floresta; avaliar a sustentabilidade ambiental e econômica do manejo da floresta; definir necessidade, época e intensidade de aplicação de tratamentos silviculturais à floresta; avaliar efeitos de alternativas de manejo da floresta; prever o ciclo de colheita ou de corte; e fazer estudos de cenários.

A heterogeneidade encontrada em florestas naturais, composta por diferentes idades e espécies dificulta o emprego de modelos capazes de projetar suas estruturas ao longo do tempo. Como alternativa para projetar o crescimento de florestas nativas Enright e Ogden (1979) citam o uso de dados dendrométricos envolvendo o diâmetro das árvores.

1.2.5.1 Modelos de produção de classe de diâmetro

Dentre os modelos de crescimento, Austregésilo et al. (2004) classificam como mais comuns os modelos de distribuição diamétrica, sendo que se baseiam em funções probabilísticas de distribuição, permitindo descrever as alterações na estrutura do povoamento (número de árvores por classe de diâmetro) ao longo do tempo. Nesse tipo de modelo destacam-se: os modelos das tabelas de povoamento ou produção, nas quais se encontram o método da Razão de Movimentação e o método de Wahlenberg; e os modelos estocásticos de crescimento em diâmetro, em que se tem a Matriz de Transição (Cadeia de Markov).

Para Sanquetta et al. (1996), o uso da Matriz de Transição pode ser um valioso instrumento ao manejador florestal, pois tal modelo pode produzir simulações satisfatórias da distribuição diamétrica, sendo que o modelo pode ser utilizado para elaborar simulações do desenvolvimento futuro da floresta após exploração. Contudo, existem limitações para o uso desses modelos, sendo que, para Scolforo et al. (1997), as projeções não devem ser realizadas para períodos de tempo longos, haja visto que o desempenho dos modelos é condicionado a dois pontos básicos:

a) o incremento periódico em diâmetro das árvores da floresta, obtido nas parcelas permanentes, tem o comportamento no futuro idêntico ao obtido por ocasião das avaliações

realizadas nas parcelas permanentes e, neste caso, assume-se que apesar de mudanças em sua estrutura, a floresta continuará no futuro a apresentar o mesmo crescimento que aquele detectado por ocasião da avaliação das parcelas permanentes, sendo denominada de transição estacionária;

b) a projeção da estrutura da floresta depende somente do estado atual, não sofrendo efeito de qualquer característica passada da floresta. Esta característica ou propriedade do modelo considerado é definida como propriedade Markoviana.

Pela propriedade Markoviana, Vanclay (1994) considera que a probabilidade de movimento de uma árvore de uma classe para outra não poderia depender de outras árvores ou da área basal da floresta, o que na verdade, isso não acontece, conclui. O crescimento da floresta remanescente é alterado pelo aumento do espaço após a colheita, por diminuição da concorrência, mortalidade ou mesmo pela eliminação da árvore. Assim, a propriedade estacionária indica que os parâmetros da matriz deveriam permanecer constantes no tempo, trazendo dificuldades para reduzir a taxa de crescimento, enquanto que, por outro lado, a área basal aumenta. Dessa forma, essas suposições são insustentáveis na modelagem da dinâmica florestal, podendo a prognose ser irreal se as condições da floresta futura apresentarem grande diferença em relação às condições em que os dados foram observados.

Sobre isso, Schneider e Finger (2000) salientam que o método traz melhores resultados se o povoamento for mantido em condições semelhantes, isto é, povoamento sem manejo próximo ao clímax ou povoamentos regularmente manejados para uma área basal específica.

Mesmo havendo essas limitações, diversos estudos realizados no Brasil com objetivo de prognosticar a estrutura diamétrica em florestas inequiâneas por meio da Matriz de Transição e da Razão de Movimentação, verificaram boa acuracidade entre as predições e os valores reais das florestas, demonstrando que esses modelos podem ser usados para prever a produção futura com erros aceitáveis.

Em estudo realizado por Ebling et al. (2012), ao compararem a acuracidade da distribuição diamétrica entre esses dois métodos de projeção em FOM no RS, verificaram que o modelo da Razão de Movimentação gerou as projeções mais eficientes se comparada às projeções da Matriz de Transição. Os autores concluíram ainda que a amplitude temporal de 4 anos, associada à amplitude de classe diamétrica de 5 cm, apresentou o resultado mais acurado no estudo.

No estado do Paraná, Stepka et al. (2010) também verificaram que esses dois métodos testados apresentaram resultados satisfatórios na projeção da estrutura diamétrica em uma

FOM e com uma pequena vantagem para o método Razão de Movimentação, que apresentou valores mais próximos dos reais. Em estudo similar realizado por Dalla Lana et al. (2015), os resultados indicaram que os dois modelos testados estimaram de forma confiável o número de árvores em um fragmento de FOM no PR apenas para uma amplitude temporal de dois anos.

REFERÊNCIAS

- ASSMANN, E. **The principles of Forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970. 506p.
- AUSTREGÉSILO, S. L. et al. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Estacional Semidecidual secundária. **Revista Arvore**, v.28, n.2, p.227-232, 2004.
- AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest management**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1994, 432 p.
- AZEVEDO, C. P. de et al. Efeito de diferentes níveis de exploração e de tratamentos silviculturais sobre a dinâmica da floresta remanescente. **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 277-293, 2008.
- BACKES, A. Distribuição geográfica atual da Floresta com Araucária: condicionamento climático.. In: FONSECA, C. R. et al. (Eds.) **Floresta com Araucária. Ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Editora Holos. p. 39-44. 2009.
- BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais da Amazônia**. 2010. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- BORSOI, G. A. **Subsídios para o manejo de uma Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração natural**. 2004. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical American rain forest species in the light of sucessional processes. **Turrialba**, v. 15, n. 1, p. 40-42, 1965.
- CABRAL, D. C.; CESCO, S. Notas para uma história da exploração madeireira na mata atlântica do sul-sudeste. **Ambiente e Sociedade**, v. 11, n. 1, p. 33-48, 2008.
- CARVALHO, J. O. P. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1999, Belém. **Anais** Belém: Embrapa-CPA TU/DFID, 1999. 304 p. (Embrapa-CPATU. Documentos, 123).
- CARVALHO, J. O. P. Estrutura de matas altas sem babaçu na Floresta Nacional do Tapajós, In: J. N. M. Silva, J. O. P. Carvalho, J.A.G. Yared (eds.). **A silvicultura na Amazônia oriental: contribuições do Projeto Embrapa/DFID**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/DFID. p. 277-290. 2001.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo, PR: Embrapa Floresta. v. 1, 2003. 1039 p.
- CHASSOT, T. et al. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, v. 21, n.2, p. 303-313, 2011.

DALLA LANA, M. et al. Prognose da Estrutura Diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 71-78, 2015.

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N. **Forest management**. 3 ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 790p.

EBLING, A. A. et al. Acuracidade da distribuição diamétrica entre métodos de projeção em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, v. 42, n. 6, p. 1020-1026, 2012.

ENRIGHT, N.; OGDEN, J. Applications of Transition Matrix Models in Forest Dynamics: Araucaria in Papua New Guinea and Nothofagus in New Zealand. **Journal of Ecology**, v.4, n.1, p. 3-23, 1979.

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

GAMA, J. R. V.; BENTES-GAMA, M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Manejo sustentado para floresta de várzea na Amazônia oriental. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 719-729, 2005.

GOMES, J. M. et al. Sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em clareiras causadas pela colheita de madeira em uma floresta de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 171-178, 2010.

GÓMEZ-POMPA, A.; BURLEY, F. W. The management of natural tropical forest. In: GÓMEZ-POMPA, A.; WHITMORE, T. C.; HADLEY, M. (eds.) **Rain forest regeneration and management**. Paris: UNESCO, 1991. (Man and the Biosphere Series) 6.

GRAAF, N. R. Reduced-impact logging as part of the domestication of a neotropical rainforest. **The International Forest Review**, v. 2, n. 1, p. 40-44, 2000.

HIGUCHI, N. Utilização e manejo dos recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. **Acta Amazonica**, v. 24, n. 3/4, p. 275-288, 1994.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: UFPR, 2008. 164 p.

HUECK, K. **A floresta da América do Sul**. São Paulo: Polígono, 1972. 466 p.

HUTCHINSON, I. D.; WADSWORTH, F. H. Efectos de la liberación en un bosque secundario de Costa Rica. **Recursos Naturales y Ambiente**, n. 46-47, p. 152-157, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p. (Manuais Técnicos em Geociências, 1).

IMAÑA-ENCINAS, J.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: Universidade de Brasília, 2005. 43 p. (Comunicações técnicas florestais, 7).

IMAÑA-ENCINAS et al. Distribuição diamétrica de um fragmento de floresta atlântica no município de Santa Maria de Jetibá, ES. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 385-394, 2013.

JARDIM, F. C. S.; SERRÃO, D. R.; NEMER, T. C. Efeito de diferentes tamanhos de clareiras, sobre o crescimento e a mortalidade de espécies arbóreas, em Moju-PA. **Acta Amazônica**, v. 37, n. 1, p. 37-48, 2007.

KANIESKI, M. R. **Caracterização florística, diversidade e correlação ambiental na floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS**. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

KERSTEN, R. A.; BORGIO, M.; GALVÃO, F. Floresta Ombrófila Mista: aspectos fitogeográficos, ecológicos e métodos de estudo. In: EISENLOHR, P. V. et al. (Eds) **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso**. Vol. 2, 1ª ed. Editora UFV. Cap. 7, p. 156-182, 2015.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, Itajaí, v. 12, p. 17-44, 1960.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária: a floresta do Brasil Meridional**. 2. ed. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2010. 168 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Alemanha: Ed. GTZ. Rossdorf, 1990. 343p.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. p. 113-150.

LEUSCHNER, W. A. **Forest regulation, harvest scheduling, and planning techniques**. New York, John Wiley & Sons, 1990. 281p.

LONGHI, S. J. et al. Classificação e caracterização de estágios sucessionais em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista na FLONA de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 113-125, 2006.

LOUMAN, B.; DAVID, Q.; MARGARITA, N. **Silvicultura de Bosques Latifoliados Húmidos com ênfases em América Central**. CATIE. Turrialba: Costa Rica; 2001.

MACIEL, M. N. M. et al. Classificação ecológica das espécies arbóreas. **Revista acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 1, n. 2, p. 69-78, 2003.

MEYER, H. A. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. **Journal of Forestry**, v.50, p. 85-92, 1952.

MIRANDA, E. M. **Efectos del aprovechamiento de um bosque humedo tropical sobre el microambiente y su influencia em la regeneration de sitios perturbados**. 1993. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidad de Costa Rica, 1993.

MOSCOVICH, F.A. **Estudo da dinâmica de crescimento em uma Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS**. 2006. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Estrutura e padrões de distribuição

espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 105-119, 2001.

NASCIMENTO, R. G. M. et al. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 209-219, 2012.

NOWACKI, G. J.; ABRAMS, M. D. Radial-growth averaging criteria for reconstruction disturbance histories from Presettlement-Origin Oaks. **Ecological Monographs**, v. 67, n. 2, p. 225-249, 1997.

ODUM, E. P. 1988. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Guanabara. 434p.

OLIVEIRA, L. C. **Efeito da exploração da madeira e de diferentes intensidades de desbastes sobre a dinâmica da vegetação de uma área de 136ha na Floresta Nacional do Tapajós**. 2005. 183 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

ORELLANA, H. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de floresta de araucária**. 2014. 154 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OSMASTON, F. C. **The management of forests**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute; Oxford: George Allen and Unwin, 1968.

O'HARA, K. L. The historical development of uneven-aged silviculture in North America. **Forestry**, v.75, n.4, p. 339-346, 2002.

PEÑA-CLAROS, M. et al. Regeneration of commercial tree species following silvicultural treatments in a moist tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 225, p. 1283-1293, 2008.

PRODAN, M. et al. **Mensura Forestal**. San José: GTZ, 1997. 561 p.

PUTZ, F. E.; DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. Why poor logging practices persist in the tropics. **Conservation Biology**, v. 14, n. 4, p. 951-956, 2000.

RODE, R. et al. Grupos florísticos e espécies discriminantes em povoamento de *Araucaria angustifolia* e uma Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 319-327, 2011.

ROSSI, L. M. B. et al. Modelagem de mortalidade em florestas naturais. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 275-291, 2007.

ROSSOT, M. A. D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da Floresta com Araucária? **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.55, p.75-85, 2007.

SABOGAL, C. et al. **Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia brasileira**. Belém: Projeto manejo florestal sustentável em escala comercial na Amazônia brasileira, 2000. 24p.

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUPEF, 1996. 49 p. (Série Didática, n. 8).

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; EISFELD, R. L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 101-112, 2003.

SANQUETTA, C. R. et al. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 65-78, 1996.

SAWCZUK, A. R. et al. Alterações na estrutura e na diversidade florística no período 2002-2008 de uma Floresta Ombrófila Mista Montana do Centro-sul do Paraná, Brasil. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 1-10, 2012.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequidêneas heterogêneas**. Santa Maria: Imprensa Universitária/UFSM, 2000. 195p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2. Ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566p.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELO, J. M. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In: SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. Cap. 5. p. 189-245.

SILVA, J. N. M. **The behaviour of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging**. 1989. 302 p. Thesis (PhD) - University of Oxford, Oxford. 1989.

SILVA, J. N. M. et al. Growth and yield of a tropical rainforest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.71, p. 267-274, 1995.

SMITH, D. M. **The practice of silviculture**. 8. ed. New York: John Wiley, 1986. 527p.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2013, 322p.

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L. Emprego do método BDq de seleção após a exploração florestal em floresta ombrófila densa de terra firme, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 617-625, 2005.

SOUZA, D. V. et al. Crescimento de espécies arbóreas em uma floresta natural de terra firme após a colheita de madeira e tratamentos silviculturais, no município de Paragominas, Pará, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 873-883, 2015.

STEFENON, V. M.; NODARI, R. O.; REIS, M. S. Padronização de protocolo AFLP e sua capacidade informativa para análise da diversidade genética em *Araucaria angustifolia*. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 163-171, 2003.

STEPKA, T. F. et al. Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista com os métodos razão de movimentos e matriz de transição. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 327-335, 2010.

STERBA, H. Using permanent sampling of individual trees as source of information for forest management. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2001, Santa Maria. **Anais** Santa Maria: UFSM, 2001, p.19-37.

SWAINE, M. D.; WHITMORE, T. C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, v. 75, n. 1-2, p. 81-86, 1988.

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

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

VENTUROLI, F.; FRANCO, A. C.; FAGG, C. W. Tree diameter growth following silvicultural treatments in a semi-deciduous secondary forest in Central Brazil. **Cerne**, v. 21, n.1, p. 117-123, 2015.

VIDAL, E.; VIANA, V. M.; BATISTA, J. L. F. Crescimento de floresta tropical três anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia oriental. **Scientia Forestalis**, n. 61, p. 133-143, 2002.

VILLEGAS, Z. et al. Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 971-977, 2009.

WADSWORTH, F. H.; ZWEEDE, J. C. Liberation: Acceptable production of tropical forest timber. **Forest Ecology and Management**, v. 233, n. 1, p. 45-51, 2006.

WHITMORE, T. C. Canopy gaps and the two major groups of forest tree. **Ecology**, v. 70, n. 3, p. 536-538, 1989.

CAPÍTULO II – INTERVENÇÕES DE MANEJO COMO ALTERNATIVA DE REESTRUTURAÇÃO DA PRODUÇÃO DE UMA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA SECUNDÁRIA

RESUMO

As florestas com araucária alteradas pela exploração do passado necessitam de intervenções de manejo periódicas visando sua recuperação e condução a uma estrutura produtiva futura. O objetivo do presente estudo foi avaliar a recuperação da floresta remanescente, após treze anos da aplicação de diferentes intensidades de cortes seletivos, com extração de indivíduos de espécies folhosas de alta densidade, em uma área de Floresta Ombrófila Mista secundária em Nova Prata, RS. Os tratamentos que receberam intervenções de manejo foram: T1 - corte seletivo leve (redução de 20-30% da área basal por classe de DAP); T2 - corte seletivo moderado (redução de 40-50% da área basal por classe de DAP); além de uma área testemunha T0 – sem intervenção de manejo. Os dados foram provenientes de quatro ocasiões de medição, ou seja, inventário pré-exploratório (2001) e três inventários de monitoramento (2006, 2010 e 2015), sendo esses aos quatro, oito e treze anos após aplicação dos cortes seletivos, onde remediou-se todos os indivíduos com $DAP \geq 10$ cm, presentes em cada tratamento. Foram avaliadas as alterações na riqueza e diversidade de espécies, na estrutura e dinâmica do extrato arbóreo em cada tratamento de manejo, além do incremento diamétrico para o grupo de espécies de valor comercial e tempo de recuperação do estoque em volume comercial inicial da floresta por intensidade de corte seletivo, com a finalidade de propor ciclos de cortes periódicos para a reestruturação dessa floresta. As espécies de valor comercial foram separadas em grupos da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e das folhosas de valor comercial. Os incrementos periódicos anuais em diâmetro percentual obtido nesses grupos foram comparados entre os tratamentos e entre períodos de monitoramento da floresta pelo teste Tukey-Kramer ao nível $\alpha = 5\%$. Após treze anos da aplicação das intensidades de cortes seletivos, os resultados obtidos indicam aumento da riqueza e da diversidade de espécies com a aplicação das intervenções. A abertura do dossel pelos cortes seletivos elevou o número de ingressos de *Araucaria angustifolia* e de folhosas de valor comercial nos tratamentos com intervenções de manejo. Porém, no tratamento testemunha não houve o surgimento de novos indivíduos de araucária, inclusive com tendência de ser substituída por espécies folhosas. A densidade total de indivíduos mostrou boa capacidade de resiliência, independente da intensidade dos cortes seletivos, com o tratamento com corte seletivo leve já recuperando totalmente seus parâmetros iniciais (número de árvores, área basal e volume comercial por hectare). O incremento em diâmetro, área basal e volume comercial nos tratamentos que receberam intervenções de manejo apresentaram valores superiores ao da área testemunha, indicando o efeito positivo que os cortes seletivos proporcionaram para o desenvolvimento e crescimento da floresta. Para as espécies de valor comercial, o grupo da *Araucaria angustifolia* apresentou valores de incremento periódico anual em diâmetro no período entre quatro e oito anos de $0,62 \text{ cm.ano}^{-1}$ para o T1 e $0,45 \text{ cm.ano}^{-1}$ para o T2; no período de oito a treze anos após os cortes seletivos de $0,80 \text{ cm.ano}^{-1}$ para o T1 e $0,40 \text{ cm.ano}^{-1}$ para o T2, superiores aos do tratamento que não recebeu cortes seletivos (T0), com valor de $0,25 \text{ cm.ano}^{-1}$ e $0,31 \text{ cm.ano}^{-1}$ nesses períodos, respectivamente. Já para as espécies folhosas de valor comercial, apesar dos valores obtidos do incremento periódico anual em diâmetro serem 30% superiores ao da área testemunha, com valores médios de $0,30 \text{ cm.ano}^{-1}$, não se constatou diferenças significativas nos períodos de avaliação. Quanto ao tempo de recuperação do estoque inicial da floresta, concluiu-se que intervenções periódicas em intervalos de 10 anos com redução de 20-30% da área basal total por classe de DAP apresentam maior efetividade para a condução da floresta a uma estrutura produtiva.

Palavras-chave: Floresta com Araucária. Condução da Floresta. Ciclo de Corte.

2.1 INTRODUÇÃO

A exploração florestal foi uma importante alavanca para o desenvolvimento econômico do Sul do Brasil desde o início do século XX, com intensidade crescente nas décadas de 1950 a 1970, tendo a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (araucária; pinheiro-brasileiro) como a espécie de maior valor econômico madeireiro do país (GUERRA et al., 2002). Contudo, no Rio Grande do Sul, a exploração da Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como floresta com araucária, deu-se de forma desordenada e, juntamente com o avanço das fronteiras agrícolas, resultou em uma redução drástica dos grandes maciços florestais, os quais pareciam inesgotáveis.

Estima-se que hoje, as florestas com araucária encontram-se drasticamente reduzidas entre 1 e 2% de sua área original (RODE et al., 2011). Diante disso, com o intuito de conservação dessa tipologia florestal, a legislação brasileira, a partir da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente N° 278/2001, determinou a suspensão de autorizações para corte ou exploração de espécies ameaçadas de extinção – entre elas a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Ocotea porosa* (Nees) Barroso, *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer e *Ocotea catharinensis* Mez – e ficou vedado todo e qualquer aproveitamento comercial dessas espécies até que sejam estabelecidos critérios científicos que garantam a sustentabilidade futura dessas espécies quando manejadas.

No entanto, o que se observa é que a proibição integral ao uso não é sinônimo de conservação, uma vez que, ao ser declarado sua restrição ao corte e ter sua utilização restringida, a *Araucaria angustifolia* e, conseqüentemente a floresta nativa, passou a ser considerada indesejável aos proprietários rurais, sendo vista como um empecilho ao aumento da área produtiva na propriedade.

Além disso, em muitas áreas altamente fragmentadas, o processo de degradação foi tão acentuado que o abandono da área pela recuperação via regeneração natural é muito pouco provável, havendo a necessidade de intervenções de manejo para a reabilitação dessas florestas. Um fato observado em locais submetidos à intensa exploração das araucárias comerciais no passado é a acentuada dominância de espécies folhosas, formando uma cobertura densa que faz com que a araucária não encontre condições favoráveis para se regenerar, ou até mesmo, apresentando indivíduos no subdossel da floresta com crescimento estagnado, de pequenas dimensões e suscetíveis à mortalidade natural se nenhuma condição de luz for proporcionada. Inúmeros trabalhos já relataram baixa capacidade de regeneração dessa espécie sob floresta desenvolvida (SOUZA et al., 2008; PALUDO et al., 2009;

CALLEGARO; LONGHI, 2013, BECKERT et al., 2014; EBLING et al., 2014).

Na Floresta Ombrófila Mista, a dominância das araucárias em relação às angiospermas pode ser um indício da ocorrência do Modelo de Lozenge ou estrutura de *cohort* (SOUZA, 2007; EBLING; PÉLLICO NETTO, 2015), onde as gimnospermas (araucárias) iniciaram o processo de sucessão florestal e as angiospermas (folhosas) se estabelecem em um estrato inferior impedindo a regeneração das coníferas, sendo que, no futuro, tenderiam a sucumbir após a morte dos indivíduos emergentes localizados no estrato superior. Logo, como a *Araucaria angustifolia* é uma espécie com característica ecológica pioneira de vida longa, seu ingresso no dossel superior fica condicionado à formação de alguma clareira na floresta, originária de algum distúrbio natural ou intervenção antrópica.

Dessa forma, devido à intensa exploração dessa conífera no sul do Brasil, muitas áreas passaram a ser dominadas por espécies de folhosas, necessitando de intervenções para que a *Araucaria angustifolia* tenha condições de voltar a ter destaque na estrutura da floresta. Logo, o manejo florestal deve ser entendido não somente com a finalidade de produção, mas também como um elemento decisivo capaz de perpetuar a sobrevivência dessa espécie, contribuindo para estimular sua regeneração natural e diminuindo as taxas de mortalidade natural na floresta. Através de cortes seletivos periódicos, respeitando-se a capacidade de restauração da floresta, pode-se também aumentar as taxas de crescimento de espécies de interesse conduzindo a floresta para uma estrutura produtiva.

Para que o manejo florestal da araucária possa ser permitido no futuro, Rossot (2007) salienta a necessidade de estudos que efetivem fundamentos técnico-científicos capazes de embasar a elaboração de instrumentos legais reguladores do uso do recurso florestal e de nortear políticas de incentivo a essa atividade. Vários trabalhos realizados nos domínios da floresta com araucária na região Sul do Brasil têm sido publicados, com temas importantes, tais como composição florística e estrutural (HIGUCHI et al., 2012; EBLING et al., 2014), estimativa de biomassa (MÜLLER et al., 2014), dinâmica florestal (MOSCOVICH, 2006; FIGUEIREDO FILHO et al., 2010), regeneração natural (SOUZA et al., 2008; CHAMI et al., 2011), projeção da estrutura diamétrica (STEPKA et al., 2010; EBLING et al., 2012; DALLA LANA et al., 2015), regulação da produção (HESS et al., 2010; HESS, 2012), modelagem do crescimento de árvores individuais (CHASSOT et al., 2011; ORELLANA, 2014; COSTA et al., 2015) entre outros, que poderiam fornecer uma abordagem preliminar para o uso sustentável dessas florestas.

Porém, tem-se a falta de estudos que retratam o comportamento da vegetação remanescente após intervenções controladas de manejo para realmente confirmar o benefício

dessa prática para a reestruturação e/ou uso sustentável da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil. Dessa forma, o presente estudo pretende suprir essa lacuna ao apresentar os resultados de 13 anos de inventário contínuo de uma Floresta Ombrófila Mista secundária submetida a diferentes níveis de intervenções de manejo na região da encosta superior do nordeste do Rio Grande do Sul.

2.1.1 OBJETIVOS

2.1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente capítulo foi avaliar e determinar um método de seleção, capaz de conduzir uma floresta degradada pela intensa exploração seletiva de *Araucaria angustifolia* no passado, em uma floresta com estrutura balanceada e produtiva no futuro.

2.1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, o trabalho visa avaliar a recuperação da floresta remanescente, após treze anos da aplicação de diferentes intensidades de cortes seletivos de indivíduos de espécies folhosas de alta densidade nessa floresta, quanto aos seguintes aspectos:

- a) Mudanças ocorridas na diversidade e na estrutura da floresta nos tratamentos com diferentes intensidades de cortes seletivos em diferentes períodos de análise pós-manejo;
- b) alterações na dinâmica de crescimento em cada tratamento de intensidade de manejo;
- c) surgimento/estabelecimento de espécies de valor comercial em cada tratamento de intensidade de manejo, com destaque para a *Araucaria angustifolia*.

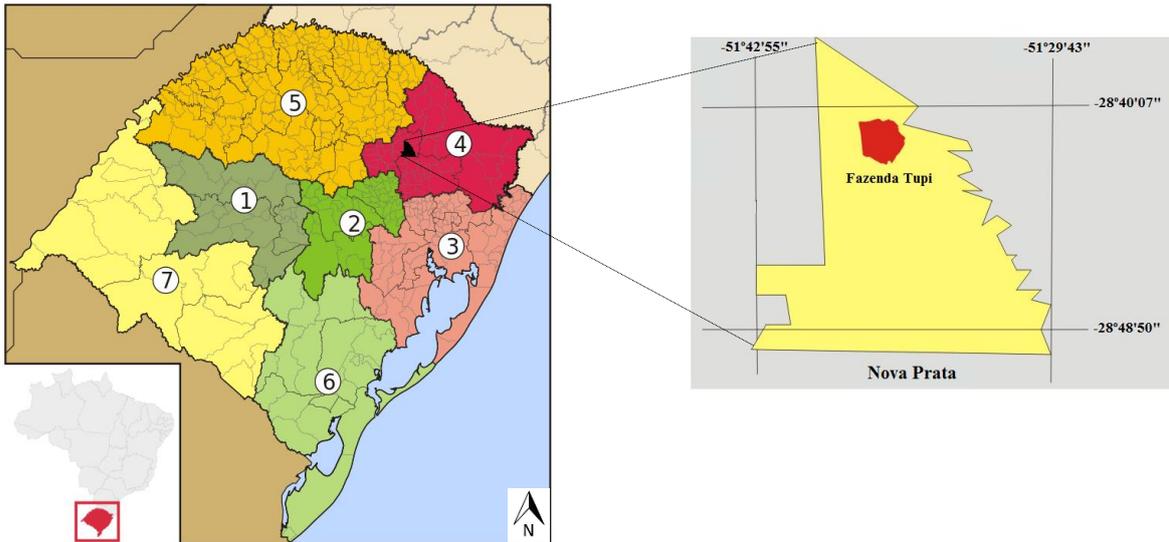
2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa foi desenvolvida em uma área de manejo experimental que está situada na Fazenda Tupi, pertencente à Paludo Agropecuária S.A., empresa do grupo VIPAL, localizada no distrito de Rio Branco, município de Nova Prata, mesorregião nordeste do Rio

Grande do Sul, entre as coordenadas 28°40' e 28°43' S e 51°38' e 51°36' O, estando a uma altitude média de 662 metros (Figura 2.1). A área total da Fazenda Tupi é de 962,3 ha, sendo 81,5 % ocupados com Floresta Ombrófila Mista.

Figura 2.1 – Localização da área de estudo no município de Nova Prata e na mesorregião nordeste do RS.



Em que: 1 = Mesorregião do Centro Ocidental Rio-grandense; 2 = Mesorregião do Centro Oriental Rio-grandense; 3 = Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre; 4 = Mesorregião do Nordeste Rio-grandense; 5 = Mesorregião do Noroeste Rio-grandense; 6 = Mesorregião do Sudeste Rio-grandense; 7 = Mesorregião do Sudoeste Rio-grandense.

Fonte: O autor.

O clima da região de estudo, de acordo com a classificação climática de Köppen é do tipo “Cfa” - Subtropical úmido com verão quente, com temperatura média anual entre 16-18 °C e chuvas distribuídas em todos os meses do ano, com precipitação anual em torno de 1900 mm (ALVARES et al., 2013).

A unidade de relevo que ocorre na região é do tipo Planalto das Araucárias, situado na parte intermediária da serra e as declividades médias do local não ultrapassam 30% (HERRMANN; ROSA, 1990). Segundo Streck et al. (2008) nessa região são encontrados os derrames basálticos nas cotas mais baixas, formando as bases e encostas dos morros, enquanto os derrames riolíticos aparecem nas cotas mais altas, geralmente acima de 700 a 800 metros de altitude. Segundo o mesmo autor, os solos ocorrentes são do tipo Argissolos Bruno-Acinzentados, Neossolos Litólicos ou Regolíticos Distróficos, Cambissolos Húmicos, além de Nitossolos Brunos.

Baseando-se na classificação proposta pelo IBGE (2012), a tipologia vegetal

característica da área de estudo é a Floresta Ombrófila Mista Montana. O caráter “*ombrófilo*” deste tipo de vegetação refere-se ao clima, ou seja, formação florestal situada numa região com alta pluviosidade, onde ocorrem chuvas bem distribuídas ao longo do ano. O caráter “*misto*” dá-se pela mistura de floras com origens distintas: temperada (austro-brasileira) e tropical (afro-brasileira). Já o caráter “*montano*” deve-se ao fato da floresta localizar-se entre 400 e 1.000 m de altitude.

O histórico da exploração madeireira na Fazenda Tupi deu-se na década de 70, onde teve início uma exploração intensiva da floresta, culminando com a extração indiscriminada da *Araucaria angustifolia* ocorrida em meados da década de 80, quando foi abatido grande parte dos indivíduos de maior diâmetro presentes na propriedade. Essa exploração modificou a estrutura da floresta, tanto pela ampla subtração das araucárias como pelos danos causados às árvores remanescentes.

2.2.2 ESTRUTURA AMOSTRAL E VARIÁVEIS LEVANTADAS

A estrutura amostral do presente estudo se refere a uma área de manejo experimental da floresta com araucária e teve como base o experimento realizado por Borsoi (2004) e adaptado por Longhi (2011). O primeiro autor testou diferentes intervenções de manejo na floresta em unidades de 0,5 ha cada. Tais intervenções foram realizadas no ano de 2002 e consistiram em rebaixar em cinco níveis percentuais a curva de distribuição de frequência ajustada em relação à área basal. As intensidades das intervenções nos tratamentos foram: Tratamento 1 = redução da curva de distribuição de frequência em 20% do total da área basal, por classe de DAP; Tratamento 2 = redução da curva de distribuição de frequência em 30% do total da área basal, por classe de DAP; Tratamento 3 = redução da curva de distribuição de frequência em 40% do total da área basal, por classe de DAP; Tratamento 4 = redução da curva de distribuição de frequência em 50% do total da área basal, por classe de DAP; Tratamento 5 = redução da curva de distribuição de frequência em 60% do total da área basal, por classe de DAP.

A avaliação da floresta remanescente após oito anos da aplicação dos cortes seletivos foi realizada em trabalho desenvolvido por Longhi (2011), sendo que alguns tratamentos foram agrupados buscando-se obter maior variação e maior área amostral entre os mesmos, obtendo-se, assim, três intensidades de intervenções: corte seletivo leve, corte seletivo médio e corte seletivo pesado. Esses, correspondem aos seguintes tratamentos de Borsoi (2004): tratamento 1 (corte seletivo leve); tratamento 2 e tratamento 3 (corte seletivo médio);

tratamento 4 e tratamento 5 (corte seletivo pesado). Nessa avaliação, Longhi (2011) observou que cortes seletivos com redução acima de 50% da área basal total, não demonstram recuperação satisfatória, apresentando dano substancial à floresta ao reduzir sua capacidade produtiva e sendo de difícil controle biológico sobre a vegetação.

Dessa forma, para o presente estudo, os tratamentos foram readequados sendo desconsiderado o tratamento de maior redução da área basal proposto por Borsoi (2004). Logo, foram considerados dois níveis de intervenções de manejo, sendo esses denominados de corte seletivo leve e corte seletivo moderado, além de uma área testemunha (sem intervenção de manejo), conforme especificado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Intensidades dos cortes seletivos para o manejo aplicado na Floresta Ombrófila Mista da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	Descrição	Área amostral	Estratégia de Manejo
T0	Testemunha	1,0 ha	Área sem aplicação de corte seletivo.
T1	Corte Seletivo Leve	1,0 ha	Rebaixamento da curva de distribuição de frequência ajustada, com a extração de 20-30% da área basal, por classe de DAP.
T2	Corte Seletivo Moderado	1,0 ha	Rebaixamento da curva de distribuição de frequência ajustada, com a extração de 40-50% da área basal máxima, por classe de DAP.

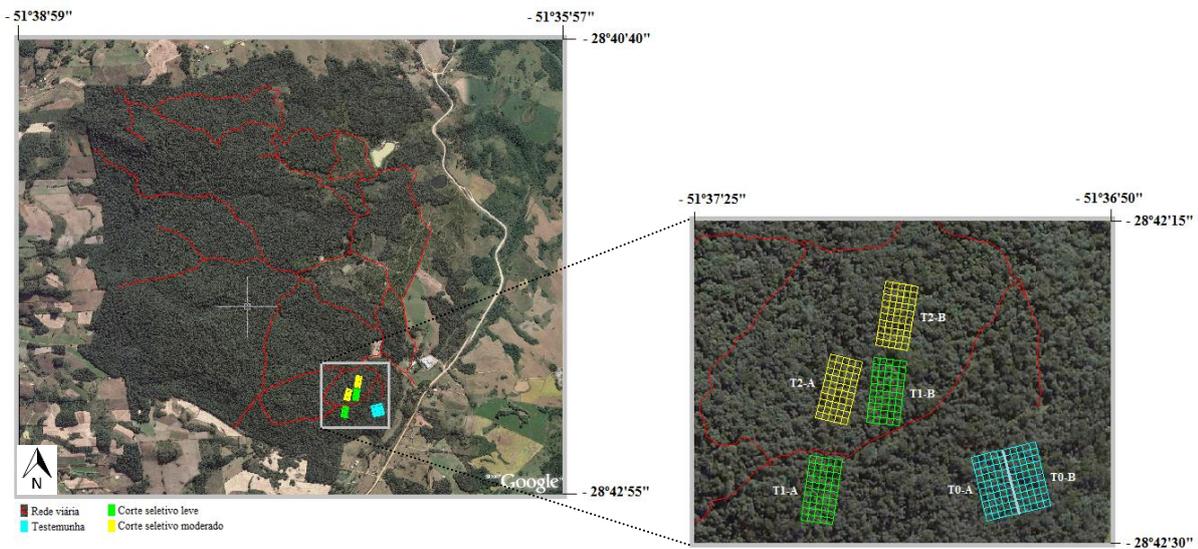
Fonte: Adaptação de Borsoi (2004) e Longhi (2011).

Os tratamentos foram compostos por duas parcelas permanentes de 50x100 m (0,5 ha) cada, totalizando, assim, 3,0 ha de área amostral. Cada parcela foi dividida em 5 faixas de 10 m x 100 m, que, por sua vez, foram subdivididas em subparcelas de 10 m x 10 m, para melhor controle espacial dos indivíduos no interior da unidade. A localização das parcelas constituintes de cada tratamento de manejo aplicado na Fazenda Tupi pode ser observada na Figura 2.2.

As intervenções de manejo ocorreram no ano de 2002 e segundo Borsoi (2004), para a extração das árvores, foi dada preferência para as espécies folhosas com indivíduos defeituosos, danificados e de maior densidade absoluta, respeitando-se os critérios estabelecidos em cada tratamento. O corte das árvores teve como regra o direcionamento da queda a fim de causar os menores impactos possíveis sobre os indivíduos remanescentes. Para isso, realizou-se a limpeza das árvores selecionadas, quanto aos cipós e, em seguida, orientou-

se o corte, de maneira que a queda da árvore atingisse o menor número de indivíduos, tanto de adultos quanto da regeneração natural. Esse método de seleção foi escolhido para que na próxima intervenção seja possível obter indivíduos com fustes mais regulares, com melhores condições de sanidade, com copas bem distribuídas e, por consequência, tornar a floresta produtiva e com uma distribuição regular de espécies.

Figura 2.2 – Localização das unidades amostrais constituintes de cada tratamento de manejo aplicados na Floresta Ombrófila Mista da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



Fonte: Adaptação de Longhi (2011).

Diante desse método de seleção aplicado na floresta, o presente estudo equipara o manejo florestal efetuado a um tratamento silvicultural realizado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, tendo como principal finalidade a condução da floresta a uma estrutura produtiva no futuro, uma vez que a mesma se encontra altamente descaracterizada de sua estrutura original devido à intensa exploração das araucárias de grandes dimensões realizada na década de 80. Dessa forma, com a redução de espécies folhosas de alta densidade, espera-se um efeito positivo para a *Araucaria angustifolia* quanto ao seu crescimento e desenvolvimento na floresta.

A obtenção dos dados para as análises das alterações estruturais e da dinâmica de crescimento da floresta após os cortes seletivos foi proveniente de diferentes períodos de monitoramento desses tratamentos (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Atividades realizadas nas parcelas permanentes para estudo de intervenções de manejo na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Data medição	Tempo (t)	Atividade	Estudo
Dez 2000 – Jan 01	1 ano AE	Inventário Pré-corte	Borsoi (2004)
Dez 2001 – Jan 02	0	Exploração	Borsoi (2004)
Jan – Fev 2006	04 anos DE	1º Inventário de monitoramento	Hack (2007)
Jan – Fev 2010	08 anos DE	2º Inventário de monitoramento	Longhi (2011)
Jan – Fev 2015	13 anos DE	3º Inventário de monitoramento	Presente estudo

Em que: AE = antes da exploração; DE = depois da exploração.

Fonte: O autor.

Para o presente estudo (13 anos após as intervenções de manejo), o inventário de monitoramento realizado em cada tratamento seguiu a mesma metodologia de medição das parcelas permanentes utilizada nos inventários anteriores. Para tanto, remediou-se todas as árvores com CAP (circunferência à altura do peito) $\geq 31,4$ cm (DAP ≥ 10 cm) presentes na parcela, as quais já se encontravam identificadas e numeradas com etiqueta de alumínio fixadas com prego a 1,25 metros da base da árvore, além de apresentarem uma faixa amarela em torno de 2 cm de largura na altura do ponto de medição (1,30 m), com a finalidade de se evitar erros de medição subsequente da CAP.

Cada indivíduo presente na parcela teve medido a CAP, a altura comercial e total, e as coordenadas X e Y de seu posicionamento dentro da subunidade. Na obtenção da altura comercial considerou-se a altura entre o nível do solo e a porção superior utilizável do tronco, sendo esta determinada por presença de bifurcação, galhos de grande porte ou tortuosidade acentuada. Utilizou-se o Hipsômetro Digital Vertex IV para determinação dessa variável.

Os indivíduos que não constavam no estoque de crescimento, mas que atingiram o CAP mínimo de 31,4 cm no ano da remedição, foram recrutados ao estoque do estrato arbóreo, receberam uma etiqueta de alumínio com número sequencial, sendo identificados botanicamente e medidas todas as variáveis descritas anteriormente. A identificação botânica foi inicialmente realizada *in loco*, bem como utilizando as informações encontradas nas bibliografias especializadas sobre o assunto. A nomenclatura das espécies seguiu a proposta do Angiosperm Phylogeny Group (APG III, 2009).

2.2.3 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA DO MANEJO

A condução da floresta com araucária da Fazenda Tupi para uma estrutura produtiva

no futuro deve seguir os preceitos de perpetuação do estoque de madeira e da manutenção do equilíbrio ecológico da floresta. Dessa forma, faz-se necessário verificar o comportamento da floresta com o passar do tempo após a realização dos cortes seletivos de indivíduos de espécies folhosas com alta densidade absoluta, para conhecer as alterações na estrutura horizontal, florística, diversidade de espécies, dinâmica florestal e na estrutura paramétrica da floresta. Além disso, esses resultados fornecem informações básicas sobre o comportamento de determinada espécie frente aos cortes seletivos, sendo de grande importância para o planejamento de futuras intervenções de manejo a serem executadas na área.

2.2.3.1 Estrutura fitossociológica

A estrutura horizontal entre os diferentes tratamentos de manejo foi caracterizada para a ocasião anterior às intervenções de manejo (2001) e, aos quatro e aos treze anos após as intervenções (2006 e 2015, respectivamente). Essa caracterização teve como finalidade avaliar as mudanças ocorridas na floresta em relação a composição de espécies e sua participação no valor de importância na comunidade, principalmente em relação à *Araucaria angustifolia*, a qual se encontra em fase de reabilitação na floresta.

Dessa forma, para cada período anteriormente descrito, foram estimados os parâmetros fitossociológicos tradicionalmente utilizados: densidade, dominância, frequência e valor de importância (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974). As fórmulas para os cálculos dos parâmetros estão apresentadas na Tabela 2.3, sendo os dados processados para cada um dos períodos de análise pelo software Mata Nativa 2 (CIENTEC, 2006) e após, tabulados em planilha eletrônica no software Microsoft Excel®.

Tabela 2.3 – Fórmulas utilizadas para estimativa dos parâmetros fitossociológicos para cada espécie amostrada nos tratamentos de manejo. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Parâmetro	Abreviação	Fórmula	Unidade
Densidade absoluta	DA	$ni \cdot ha^{-1}$	n/ha
Densidade relativa	DR	$DA/N \cdot ha^{-1} \times 100$	%
Dominância absoluta	DoA	$g_i \cdot ha^{-1}$	m ² /ha
Dominância relativa	DoR	$(DoA/G \cdot ha^{-1}) \times 100$	%
Valor de Importância	VI	$DR + DoR + FR$	%

Em que: ni = número total de indivíduos amostrados de cada espécie; N = número total de indivíduos amostrados; g_i = área basal de cada espécie; G = área basal total das espécies encontradas por unidade de área; $FR = (FA/\sum FA) \times 100$, em % (sendo FA a % parcelas com registro da espécie).

Fonte: (LONGHI, 2011).

2.2.3.2 Diversidade de espécies

Para avaliar as mudanças na diversidade de espécies nos diferentes tratamentos de manejo aplicados na floresta e nos diferentes períodos de análise, foram aplicados os seguintes índices: índice de diversidade de Shannon (H') (SHANNON, 1948), índice de equabilidade de Pielou (J) (PIELOU, 1966) e quociente de mistura de Jentsch (QM) (LAMPRECHT, 1964). A síntese do postulado de cada índice é apresentada a seguir:

a) *índice de diversidade de Shannon (H')* – é originado da teoria da informação. Fornece a ideia do grau de incerteza em prever qual seria a espécie pertencente a um indivíduo da população, se retirado aleatoriamente (LAMPRECHT, 1990). É expresso pela fórmula:

$$H' = -\sum P_i \times \ln P_i$$

Em que: P_i =probabilidade de importância de cada espécie (n_i/N); n_i =número de indivíduos de cada espécie; N =número total de indivíduos amostrados; \ln =logaritmo neperiano.

Quanto mais espécies existirem e mais homogênea for sua distribuição, maior será a diversidade, e, assim, maior o valor desse índice. Os valores do índice de diversidade de Shannon geralmente situam-se entre 1,50 e 3,50 para a Floresta Ombrófila Mista (DURIGAN, 1999).

b) *índice de equabilidade de Pielou (J')* – é derivado do índice de diversidade de Shannon e permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes (PIELOU, 1966). Seu valor apresenta uma amplitude de 0 (uniformidade mínima) a 1 (uniformidade máxima), sendo expresso pela seguinte razão:

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Em que: H' =índice de diversidade de Shannon; $H'_{\max}=\ln(s)$; s =número de espécies amostradas.

c) *Quociente de Mistura de Jentsch (QM)* – indica o número médio de indivíduos para cada espécie amostrada na comunidade (LAMPRECHT, 1964). É expresso pela seguinte razão:

$$QM = S/N$$

Em que: S = número de espécies amostradas; N = número total de indivíduos amostrados.

Para a comparação da diversidade entre os tratamentos de manejo em cada período de monitoramento da floresta, aplicou-se o teste estatístico proposto por Hutcheson (1970), no qual os tratamentos de manejo foram comparados dois a dois, a fim de comprovar a semelhança ou não da diversidade, entre a área testemunha e para as que receberam intervenções de manejo. Para essa análise utilizou-se os valores gerados do índice de Shannon (H'), sendo o cálculo do valor do teste- t de *Hutcheson* obtido pela seguinte expressão:

$$t_{calc.} = \frac{H'_1 - H'_2}{\sqrt{\alpha^2 H'_1 + \alpha^2 H'_2}},$$

tal que a variância de H' foi calculada com:

$$\alpha^2 H' = \frac{\sum \left(\frac{ni}{N} \right) \left[\ln \left(\frac{ni}{N} \right) \right]^2 - \left\{ \sum \left(\frac{ni}{N} \right) \left[\ln \left(\frac{ni}{N} \right) \right] \right\}^2}{N} + \frac{S-1}{2N^2}$$

Para encontrar os graus de liberdade (GL), utilizou-se a seguinte expressão:

$$GL = \frac{(\alpha^2 H'_1 + \alpha^2 H'_2)^2}{\frac{(\alpha^2 H'_1)^2}{N_1} + \frac{(\alpha^2 H'_2)^2}{N_2}}$$

Em que: H'_1 = índice de Shannon para o tratamento de manejo 1; H'_2 = índice de Shannon para o tratamento de manejo 2; ni = número de indivíduos da espécie i ; N = número total de indivíduos; S = número total de espécies; \ln = logaritmo na base natural; $\alpha^2 H'$ = variância de H' .

Dessa forma, obteve-se o valor tabelado de $t_{(\alpha; GL)}$ para comparar com $t_{calc.}$ Quando o valor calculado foi maior que o tabelado, aceitou-se a hipótese alternativa de que os tratamentos possuem índices de Shannon estatisticamente diferentes para um nível $\alpha = 1\%$ de probabilidade.

2.2.3.3 Recrutamento e mortalidade

As taxas de recrutamento e de mortalidade foram calculadas para cada tratamento de

manejo aplicado à floresta, considerando-se dois períodos de monitoramento, com a finalidade de verificar efeitos das intervenções de manejo em longo prazo nessas taxas. Os períodos considerados foram:

Período 1 – intervalo entre quatro e oito anos após os cortes seletivos (2006-2010);

Período 2 – intervalo entre oito e treze anos após os cortes seletivos (2010-2015).

Para o cálculo das taxas anuais de recrutamento e mortalidade, utilizaram-se as seguintes fórmulas:

$$TAR = \frac{R}{N \cdot n} \cdot 100$$

$$TAM = \frac{M}{N \cdot n} \cdot 100$$

Em que: TAR = taxa anual média de recrutamento, em percentagem; TAM = taxa anual média de mortalidade, em percentagem; R = número de árvores recrutadas no período i ; M = número de árvores que morreram no período i ; N = número de árvores vivas no início do período i ; n = intervalo entre as medições; i = período de análise (2006 a 2010 e 2010 a 2015).

No cômputo das árvores mortas e recrutadas, definiu-se como morta a árvore viva com DAP $\geq 10,0$ cm na ocasião do inventário de 2006 e que estava morta no levantamento de 2010, para o período 1, ou a árvore viva com DAP $\geq 10,0$ cm na ocasião do inventário de 2010 e que estava morta no levantamento de 2015, para o período 2. Já para as recrutadas considerou-se como ingresso toda árvore viva que não foi amostrada no levantamento de 2006 e que, no inventário de 2010, apresentava DAP $\geq 10,0$ cm, para o período 1, ou toda árvore viva que não foi amostrada no levantamento de 2010 e que, no inventário de 2015, apresentava DAP $\geq 10,0$ cm, para o período 2.

2.2.3.4 Estrutura diamétrica

A capacidade de recuperação da distribuição diamétrica da floresta após a aplicação de diferentes intensidades de cortes seletivos de indivíduos de espécies folhosas de alta densidade absoluta, foi verificada pelas alterações da densidade de indivíduos e da área basal por classe de DAP com o passar do tempo. Para tanto, consideraram-se quatro ocasiões de monitoramento da floresta, ou seja, um ano antes das intervenções de manejo (2001), quatro, oito e treze anos após as intervenções (2006, 2010 e 2015, respectivamente).

A análise da estrutura diamétrica de cada tratamento consistiu na elaboração de

histogramas, cujo intervalo de classe definido foi de 10 cm. A escolha dessa amplitude entre cada classe diamétrica deu-se pelo fato de ser a mais utilizada por pesquisadores em estudos abordando a estrutura de florestas com araucária no Sul do Brasil, podendo-se citar os trabalhos desenvolvidos por Schaaf et al. (2006), Figueiredo Filho et al. (2010), Vibrans et al. (2011), além de outros, podendo-se assim realizar comparações entre esses estudos.

2.2.4 ANÁLISE DE INCREMENTOS

Em cada tratamento de manejo aplicado na floresta foi quantificado o incremento periódico anual (IPA) absoluto e relativo, em diâmetro, área basal e em volume, para cada indivíduo nos dois períodos de análise (2006-2010 e 2010-2015) e, após, os valores foram somados para se obter o incremento total da variável para cada tratamento. O IPA absoluto e relativo foi obtido pelas fórmulas:

$$IPA = \frac{Y_{(m+n)} - Y_{(m)}}{n}$$

$$IPA\% = \frac{Y_{(m+n)} - Y_{(m)}}{Y_{(m)}} \cdot \frac{100}{n}$$

Em que: IPA = incremento periódico anual absoluto; IPA% = incremento periódico anual relativo; $Y_{(m+n)}$ = valor da variável no final do período; $Y_{(m)}$ = valor da variável no início do período; n = período de tempo.

Para a determinação do crescimento em volume comercial com casca, primeiramente foram obtidos os volumes individuais para cada indivíduo utilizando-se a equação volumétrica de Schumacher-Hall, descrita da seguinte forma:

$$\log V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(DAP) + \beta_2 \cdot \log(hc)$$

Em que: log = logaritmo de base 10; V = volume com casca por árvore, em m³; DAP = diâmetro à altura do peito com casca, em cm; hc = altura comercial, em m.

Os coeficientes (β_0 , β_1 e β_2) já foram definidos para espécies folhosas e para *Araucaria angustifolia* no Inventário de Florestas Nativas do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1983), como segue:

a) Para folhosas: $\beta_0 = -3,95275$; $\beta_1 = 2,04254$ e $\beta_2 = 0,61461$; $R^2_{Aj} = 0,9670$;

b) Para *Araucaria angustifolia*: $\beta_0 = -4,29736$; $\beta_1 = 2,18419$ e $\beta_2 = 0,68504$; $R^2_{Aj} = 0,9847$.

A análise do incremento foi realizada para o conjunto de todas as espécies em cada tratamento de manejo e também para dois grupos de espécies de valor comercial, sendo um grupo constituído apenas pela conífera *Araucaria angustifolia* e o outro grupo formado por espécies de folhosas (angiospermas) de valor comercial. As espécies constituintes do grupo das folhosas de valor comercial foram: *Cedrela fissilis* Vell. (Cedro), *Cinnamomum amoenum* (Nees) Kosterm. (Canela), *Cordia americana* (L.) Gottshling & J.E.Mill. (Guajuvira), *Luehea divaricata* Mart. & Zucc. (Açoita-cavalo), *Nectandra lanceolata* Nees (Canela-amarela), *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez (Canela-preta), *Ocotea puberula* (Rich.) Nees (Canela-guaicá), *Ocotea pulchella* (Nees) Mez (Canela-lageana), *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (Angico-vermelho), *Prunus myrtifolia* (L.) Urb. (Pessegueiro-do-mato) e *Handroanthus albus* (Cham.) Mattos (Ipê-ouro).

As taxas de crescimento para cada grupo de espécies de valor comercial foram comparadas entre os diferentes tratamentos de manejo e para os dois períodos de análises. Para tanto, utilizou-se o incremento periódico anual em diâmetro relativo ao invés do incremento absoluto, uma vez que a capacidade da árvore em ganhar incremento em diâmetro ou em área basal está relacionada ao seu diâmetro inicial.

Para essa análise considerou-se um delineamento inteiramente casualizado com diferente número de observações (desbalanceado), sendo as árvores presentes em cada intensidade de corte seletivo, as repetições. Em cada período analisado (2006-2010 e 2010-2015) os dados resultantes do incremento periódico anual em diâmetro percentual foram submetidos à análise de variância e as médias discriminadas pelo Tukey-Kramer a 5% de probabilidade.

A normalidade e homocedasticidade para a variável resposta “incremento periódico anual em diâmetro percentual” foi testada em cada período de análise para garantir a aplicação de testes de significância baseados na distribuição *F*. Para tal, utilizou-se o teste de Bartlett para verificação da homocedasticidade e o teste de Shapiro-Wilk para a normalidade. Quando necessário, para cumprir com os pressupostos, foi utilizado o método proposto por Box e Cox (1964) para estabilizar a variância por meio de uma potência lambda (λ) estimada por máxima verossimilhança. Segundo Schneider et al. (2009), a transformação Box-Cox identifica automaticamente uma transformação a partir de uma família de transformações $Y' = Y^\lambda$ de potência de Y , sendo que $Y^{(\lambda)} = (Y^\lambda - 1)/\lambda$ para tal $\lambda \neq 0$ e $Y^{(\lambda)} = \ln(Y)$ para $\lambda = 0$.

Com a finalidade de verificar o comportamento do incremento para a floresta em geral entre as classes de diâmetro em cada tratamento de manejo e nos diferentes períodos de análise, utilizou-se gráfico *box plot* que incluiu uma breve análise da média (ANOM) com os

limites de diferença superior e inferior calculados com nível de significância $\alpha = 0,05$, da mesma forma como utilizado por Longhi (2011). Como o número de observações é desbalanceado em cada classe de diâmetro, os limites de decisão foram calculados da seguinte forma para cada tratamento e período de avaliação:

$$\text{Limite Inferior (LI)} = \bar{\bar{X}} - h(\alpha; k, n_1, \dots, n_k, \nu) \cdot \sqrt{MSE} \cdot \sqrt{\frac{N - n_i}{N \cdot n_i}}$$

$$\text{Limite Superior (LS)} = \bar{\bar{X}} + h(\alpha; k, n_1, \dots, n_k, \nu) \cdot \sqrt{MSE} \cdot \sqrt{\frac{N - n_i}{N \cdot n_i}}$$

Em que: Quadrado Médio do Erro (QME) = $MSE = \frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + \dots + (n_k - 1) \cdot s_k^2}{n_1 + \dots + n_k - k}$; $\bar{\bar{X}}$ = média ponderada de k grupos; k = número de grupos; α = nível de significância (95%); ν = graus de liberdade associado ao QME; n_i = tamanho da amostra de cada grupo; N = tamanho da amostra total;

2.2.5 DETERMINAÇÃO DO CICLO DE CORTE

A determinação do tempo de recuperação do estoque inicial (ciclo de corte) para o tratamento com corte seletivo leve e para o tratamento com corte seletivo moderado foi realizada assumindo-se que a projeção do estoque remanescente fundamenta-se no pressuposto de que os crescimentos anuais volumétricos de uma árvore ou povoamento se acumulam de forma similar a lei de juros compostos. Dessa forma, a ideia básica é a de que a floresta possa repor o volume que foi cortado durante determinado período de tempo, garantindo a sustentabilidade de sua produção. As expressões algébricas usadas para estimar o tempo de recuperação do estoque (ciclo de corte), extraídas de Schneider e Schneider (2008) e utilizadas por Longhi (2011), estão descritas abaixo:

$$VT_j = VR_j \cdot (1 + i_j)^{cc_j}$$

Onde tem-se então que:

$$cc_j = \frac{\ln(VT_j) - \ln(VR_j)}{\ln(1 + i_j)}$$

Em que: VT_j = volume do estoque total ou final na j -ésima tratamento de manejo (m^3/ha); VR_j = volume de estoque remanescente na j -ésima tratamento de manejo (m^3/ha); i_j = taxa de crescimento anual na j -ésima tratamento de manejo (%); cc_j = ciclo de corte na j -ésima tratamento de manejo (anos); ln = logaritmo neperiano.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA DA FLORESTA

2.3.1.1 Alterações na riqueza e diversidade de espécies pós-corte

Para o período compreendido entre um ano antes e treze anos após a aplicação dos tratamentos de manejo, com reduções em níveis percentuais da curva de distribuição de frequência em relação à área basal, foram identificadas a ocorrência, para o total da área amostral, de 73 espécies arbóreas, sendo 71 nativas e 2 exóticas, distribuídas em 53 gêneros e 34 famílias botânicas (Tabela 2.4). Esses valores são próximos aos observados por Figueiredo Filho et al. (2010), que ao comparar vários trabalhos já realizados na região Sul do Brasil, relatam que no sistema Floresta Ombrófila Mista ocorrem, em média, 655 árvores por hectare, representadas por 88 espécies, com 59 gêneros e 35 famílias botânicas.

Tabela 2.4 – Composição florística e classificação ecológica das espécies ocorrentes em cada tratamento de manejo aplicado na floresta da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

(continua)

Família	Nome Científico	GE	T0		T1		T2	
			2001	2015	2001	2015	2001	2015
Anacardiaceae	<i>Lithraea brasiliensis</i> Marchand	Pi	x	x	x	x	x	x
	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Pi	x	x			x	
Annonaceae	<i>Annona rugulosa</i> (Schltdl.) H.Rainer	Si				x	x	
Aquifoliaceae	<i>Ilex brevicuspis</i> Reissek	Si	x	x	x	x	x	x
	<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	Si	x	x	x	x	x	x
	<i>Ilex theezans</i> Mart. ex Reissek	Si	x	x	x	x	x	x
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Pi*	x	x	x	x	x	x
Areaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Si	x	x	x	x		
Asteraceae	<i>Dasyphyllum spinescens</i> (Less.) Cabrera	Pi				x		
	<i>Dasyphyllum tomentosum</i> (Spreng.) Cabrera	Pi	x	x		x	x	
	<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén ex Malme	Pi			x	x		
Bignoniaceae	<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	St	x	x			x	x
Boraginaceae	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottshling & J.E.Mill.	Si				x		
Cannabaceae	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	Pi				x		x
Cardiopteridaceae	<i>Citronella gongonha</i> (Mart.) R.A.Howard	St	x					
	<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) Howard	St					x	x
Cunoniaceae	<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	Si			x	x		
Dicksoniaceae	<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.	Cl					x	
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea monosperma</i> Vell.	St			x	x	x	x
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	Pi	x	x	x	x	x	x

Tabela 2.4 – Composição florística e classificação ecológica das espécies ocorrentes em cada tratamento de manejo aplicado na floresta da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

(continuação)

Família	Nome Científico	GE	T0		T1		T2	
			2001	2015	2001	2015	2001	2015
Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Pi	x		x	x	x	x
	<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B. Sm. & Downs	Si	x	x	x	x	x	x
Fabaceae	<i>Inga vera</i> Willd.	Si						x
	<i>Machaerium paraguariense</i> Hassl.	Si					x	x
	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	Si	x	x	x	x	x	x
Lauraceae	<i>Cinnamomum amoenum</i> (Nees) Kosterm.	St				x		
	<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez	Cl	x					
	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	St			x	x		x
	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	St	x	x	x	x	x	x
	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	St			x	x	x	x
	<i>Ocotea pulchella</i> (Nees) Mez	St	x	x	x	x	x	x
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	St	x	x	x	x	x	x
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	St	x	x	x	x	x	x
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	St	x	x	x	x	x	x
	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O.Berg	St	x	x	x	x	x	x
	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Cl	x	x		x	x	x
	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	Si	x	x				x
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Si	x	x	x		x	x
	<i>Myrceugenia cucullata</i> D. Legrand	Cl				x		
	<i>Myrceugenia miersiana</i> (Gardner) D. Legrand & Kausel	Cl	x	x	x	x	x	x
	<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	St	x	x	x	x	x	x
	<i>Myrcia oblongata</i> DC.	St	x	x	x	x		
	<i>Myrcia oligantha</i> O.Berg	St	x	x				
	<i>Myrcianthes gigantea</i> (D. Legrand) D. Legrand	St	x	x			x	x
	<i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D. Legrand	St	x	x				
	<i>Myrciaria delicatula</i> (DC.) O.Berg	St	x	x	x	x	x	x
	<i>Myrciaria floribunda</i> (West ex Willd.) O. Berg	St	x	x	x	x	x	x
	<i>Myrciaria tenella</i> (DC.) O. Berg	St			x		x	
	<i>Myrrhinium atropurpureum</i> Schott	St	x	x			x	x
<i>Siphoneugena reitzii</i> D. Legrand	St	x	x					
Oleaceae	<i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton	Ex.		x				
Picramniaceae	<i>Picramnia parvifolia</i> Engl.	St	x	x				
Polygonaceae	<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn.	St	x	x		x		
Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br.	Si				x	x	x
	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Si	x					
Proteaceae	<i>Roupala brasiliensis</i> Klotzsch	St	x	x	x	x		
Quillajaceae	<i>Quillaja brasiliensis</i> (A.St.-Hil. & Tul.) Mart.	Pi	x	x				
Rhamnaceae	<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	Ex.	x	x				x
Rosaceae	<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	Si	x	x	x	x	x	x

Tabela 2.4 – Composição florística e classificação ecológica das espécies ocorrentes em cada tratamento de manejo aplicado na floresta da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

(conclusão)

Família	Nome Científico	GE	T0		T1		T2	
			2001	2015	2001	2015	2001	2015
Rutaceae	<i>Zanthoxylum kleinii</i> (R.S.Cowan) P.G.Waterman	Si	x	x	x	x	x	x
	<i>Zanthoxylum petiolare</i> A. St.-Hil. & Tul.	Si	x	x			x	x
	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Si	x	x	x	x	x	x
Salicaceae	<i>Banara tomentosa</i> Clos	St	x	x	x	x		
	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Si	x	x	x	x	x	x
	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Si			x	x		
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk.	Si	x	x	x	x	x	x
	<i>Allophylus guaraniticus</i> (A. St.-Hil.) Radlk.	St			x		x	
	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	St	x	x	x	x	x	x
	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	St	x	x	x	x	x	x
Solanaceae	<i>Solanum compressum</i> L.B. Sm. & Downs	Pi				x		
	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	Pi			x	x		x
Styracaceae	<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	St	x	x	x	x		
Symplocaceae	<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl) Benth.	Si	x					x

Em que: GE = Grupo Ecológico; T0 = Testemunha; T1 = Corte Seletivo Leve; T2 = Corte Seletivo Moderado; 2001 = um ano antes da exploração; 2015 = 13 anos após exploração; Pi = Pioneira; Si = Secundária Inicial; St = Secundária Tardia; Cl = Climática; Ex. = Exótica; * = de vida longa.

Fonte: O autor.

No momento anterior aos cortes seletivos (2001), o tratamento sem intervenção de manejo apresentava os maiores valores em número de espécies (51) e famílias botânicas (22). Porém, treze anos após a aplicação dos níveis de redução da área basal na floresta, o tratamento com corte seletivo leve apresentou a maior riqueza florística, com 49 espécies, 38 gêneros e 25 famílias botânicas, superando o tratamento sem intervenção de manejo, onde foi relatada a ocorrência de 47 espécies nessa ocasião.

Em termos do balanço do número de espécies em cada tratamento de manejo, verificou-se que na área sem aplicação de corte seletivo (T0) houve redução de quatro espécies e perda da representatividade de duas famílias. Já para os tratamentos que receberam intervenções de manejo, verificou-se balanço positivo para o surgimento de novas espécies após treze anos da realização dos cortes seletivos, demonstrando que a exploração da forma como foi realizada além de não afetar negativamente a riqueza florística do local, proporcionou o estabelecimento de novas espécies que não ocorriam antes na área.

Para o tratamento com corte seletivo leve (T1) observou-se o ingresso de 11 novas espécies e desaparecimento de outras três, resultando em um saldo positivo de oito espécies.

Já para o tratamento com corte seletivo moderado (T2) foi verificado o surgimento de sete novas espécies e desaparecimento de seis, ou seja, saldo positivo de uma nova espécie, resultando em 44 espécies, 35 gêneros e 18 famílias botânicas após treze anos da realização dos cortes seletivos.

Os resultados do presente estudo evidenciam o benefício que a realização de cortes seletivos, com a retirada preferencialmente de espécies de folhosas com alta densidade, proporciona no aumento da riqueza florística dessas florestas com araucária, as quais se encontram alteradas em sua composição original devido à intensa exploração da *Araucaria angustifolia* sofrida no passado. Da mesma forma como verificado para a riqueza de espécies, os índices de diversidade de Shannon (H'), equabilidade de Pielou (J') e quociente de mistura de Jentsch (QM), obtiveram os maiores valores com o passar do tempo para os tratamentos submetidos a cortes seletivos (Tabela 2.5), indicando aumento da diversidade nessas áreas com intervenção de manejo.

Tabela 2.5 – Índices de diversidade florística entre os tratamentos de manejo para cada ocasião de monitoramento da floresta da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	Ocasião de monitoramento			
	1 ano AE	4 anos DE	8 anos DE	13 anos DE
Índice de diversidade de Shannon (H')				
T0 - Testemunha	3,03	2,99	2,98	3,03
T1 - Corte seletivo leve	2,44	2,80	2,87	2,88
T2 - Corte seletivo moderado	2,37	2,62	2,74	2,87
Índice de equabilidade de Pielou (J')				
T0 - Testemunha	0,77	0,77	0,78	0,79
T1 - Corte seletivo leve	0,66	0,73	0,73	0,73
T2 - Corte seletivo moderado	0,63	0,70	0,71	0,74
Quociente de Mistura de Jentsch (QM)				
T0 - Testemunha	1:15,4	1:15,0	1:15,3	1:14,8
T1 - Corte seletivo leve	1:15,4	1:12,1	1:12,5	1:13,1
T2 - Corte seletivo moderado	1:14,6	1:10,1	1:10,3	1:11,1

Em que: AE = antes da exploração; DE = depois da exploração.

Fonte: O autor.

Na ocasião anterior a aplicação dos tratamentos de manejo, o índice de diversidade de Shannon apresentava alta diversidade florística, assumindo valor de 3,03 nat.ind⁻¹ para a área referente ao tratamento testemunha (T0) e média diversidade para áreas referentes aos tratamentos T1 e T2, com diversidade próxima a 2,4 nat.ind⁻¹. Após a realização dos cortes

seletivos consoante com o nível de redução estipulado para cada tratamento de manejo, verificou-se que, com a retirada preferencial de indivíduos de espécies de maior densidade absoluta, associado com o aumento da incidência de luz proporcionada pelos cortes seletivos e, conseqüente aporte de novas espécies nas áreas submetidas a manejo, constatou-se aumento no índice de diversidade de Shannon, assumindo valor próximo a 2,9 nat.ind⁻¹ na ocasião de treze anos após o manejo, indicando alta diversidade nessas áreas. Valores próximos aos verificados no presente estudo já foram relatados em áreas de FOM com diferentes históricos de exploração na região Sul do Brasil (SONEGO et al., 2007; KANIESKI et al., 2010; MOGNON et al., 2012), considerando-se o mesmo limite de inclusão de indivíduos no estoque arbóreo.

Para a comparação da diversidade entre os tratamentos de manejo em cada um dos períodos de monitoramento, foi aplicado o teste *t* de *Hutchenson* para o índice de diversidade de Shannon (Tabela 2.6). Para a ocasião anterior aos cortes seletivos, a diversidade entre as áreas apresentava diferenças estatísticas, sendo o tratamento testemunha (T0) apresentando a maior diversidade em relação às demais áreas (T1 e T2). Quatro anos após aplicação dos tratamentos de manejo, apenas o tratamento com corte seletivo moderado (T2) diferiu, estatisticamente, dos demais. Após oito anos da aplicação dos cortes seletivos, todos os tratamentos apresentavam a mesma diversidade pelo teste *t* de *Hutchenson*, fato que se manteve inalterado também após treze anos da realização dos cortes seletivos.

Tabela 2.6 – Significância do teste *t* de *Hutchenson* para os Índices de diversidade de Shannon (H') entre os tratamentos para cada ocasião de monitoramento da floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Trat	1 ano AE			4 anos DE			8 anos DE			13 anos DE		
	H'	T1	T2	H'	T1	T2	H'	T1	T2	H'	T1	T2
T0	3,03	3,68 **	4,14 **	2,99	1,09 ns	2,03 *	2,98	0,64 ns	1,32 ns	3,03	0,88 ns	0,89 ns
T1	2,44		0,44 ns	2,80		0,94 ns	2,87		0,70 ns	2,88		0,06 ns
T2	2,37			2,62			2,74			2,87		

Em que: AE = antes da exploração; DE = depois da exploração; H' = índice de diversidade de Shannon; T0 – tratamento sem intervenção de manejo; T1 = tratamento com corte seletivo leve; T2 = tratamento com corte seletivo moderado; ** = significativo a 1%; * = significativo a 5%; ns = não significativo.

Fonte: O autor.

Vale salientar que a condição do manejo aplicado, com o corte seletivo preferencialmente de espécies folhosas com alta densidade absoluta, pode ter sido o fator principal para o aumento desse índice nos tratamentos que receberam intervenções de manejo,

uma vez que o mesmo manifesta a importância relativa de cada espécie na composição florística. Dessa forma, quanto maior for a homogeneidade da densidade relativa e o número de espécies, maior será o valor do índice de diversidade de Shannon (H').

Os demais índices avaliados apresentaram o mesmo comportamento de aumento em seu valor após a realização dos cortes seletivos, como pode ser constatado na Tabela 2.5. Pelo quociente de mistura de Jentsch (QM) observou-se que na ocasião anterior à aplicação dos tratamentos de manejo, a proporção entre espécie e número de indivíduos possuía valores muito próximos entre as áreas, cerca de 15 indivíduos para cada espécie. O manejo realizado na floresta, tendo os tratamentos submetidos a níveis de redução da densidade de indivíduos de espécies folhosas com alta densidade absoluta, proporcionou um maior quociente de mistura de espécies nessas áreas após treze anos da realização dos cortes seletivos, atingindo valores em torno de 13 indivíduos para cada espécie no tratamento com corte seletivo leve (T1) e de 11 indivíduos para cada espécie no tratamento com corte seletivo moderado (T2).

Da mesma forma, para a proporção da diversidade observada em relação à máxima diversidade esperada, medida pelo índice de equabilidade de Pielou (J'), observou-se os maiores ganhos para esse índice no tratamento com corte seletivo moderado, com valores variando de 0,63 antes da exploração para 0,74 após treze anos das intervenções de manejo, denotando média a alta uniformidade (Tabela 2.5). Em uma floresta com araucária na FLONA de São Francisco de Paula, Kanieski et al. (2010) ao analisar a diversidade florística em 10 conglomerados de 1 ha em diferentes ambientes e históricos de exploração no passado, verificou valores bem próximos ao do presente estudo, com o índice de equabilidade de Pielou (J') variando entre 0,68 para a parcela menos uniforme, até 0,84 para a mais uniforme. Os autores atribuíram alta uniformidade na composição das parcelas.

2.3.1.2 Mudanças na estrutura fitossociológica pós-corte

A estrutura fitossociológica foi avaliada em relação às mudanças nos parâmetros da estrutura horizontal em cada tratamento de manejo para cada período de monitoramento da floresta, ou seja, para o momento anterior aos cortes seletivos e para as ocasiões de quatro e treze anos após as intervenções de manejo. Os resultados estão descritos na Tabela 2.7 para o tratamento testemunha (T0), na Tabela 2.8 para o tratamento com corte seletivo leve (T1) e na Tabela 2.9 para o tratamento com corte seletivo moderado (T2).

Tabela 2.7 – Parâmetros fitossociológicos para o tratamento testemunha (T0), em cada ocasião de monitoramento da floresta, para as espécies com valor de importância maior que 1% no ano de 2015. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Nome Científico	2001						2006						2015					
	P	DA	DR	DoA	DoR	VI%	P	DA	DR	DoA	DoR	VI%	P	DA	DR	DoA	DoR	VI%
<i>Matayba elaeagnoides</i>	1	122	15,52	4,48	14,10	13,78	1	112	15,60	4,52	14,60	14,22	1	107	15,42	4,85	14,62	14,19
<i>Zanthoxylum kleinii</i>	2	67	8,52	4,01	12,60	9,95	2	64	8,91	4,24	13,72	10,57	2	60	8,65	4,65	14,01	10,38
<i>Myrciaria floribunda</i>	4	88	11,20	1,58	4,97	8,18	3	88	12,26	1,66	5,38	8,84	3	80	11,53	1,71	5,14	8,52
<i>Araucaria angustifolia</i>	6	22	2,80	4,35	13,66	6,60	6	21	2,92	4,56	14,75	7,01	4	21	3,03	5,02	15,14	7,20
<i>Erythroxylum deciduum</i>	3	72	9,16	2,16	6,80	8,29	4	61	8,50	2,09	6,74	7,98	5	50	7,20	1,95	5,88	7,05
<i>Lithraea brasiliensis</i>	5	55	7,00	3,31	10,42	7,66	5	47	6,55	3,23	10,43	7,44	6	40	5,76	3,14	9,46	6,69
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	7	40	5,09	1,56	4,90	5,31	7	37	5,15	1,63	5,27	5,52	7	35	5,04	1,86	5,59	5,50
<i>Cupania vernalis</i>	9	39	4,96	1,06	3,32	4,37	8	36	5,01	1,06	3,41	4,52	8	40	5,76	1,25	3,78	5,07
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	10	34	4,33	0,67	2,10	3,69	10	36	5,01	0,76	2,44	4,26	9	40	5,76	0,90	2,70	4,64
<i>Myrcia guianensis</i>	8	46	5,85	1,14	3,59	4,94	9	38	5,29	1,01	3,25	4,43	10	37	5,33	1,04	3,14	4,44
<i>Casearia decandra</i>	13	20	2,54	0,31	0,98	2,23	11	25	3,48	0,37	1,20	2,94	11	29	4,18	0,48	1,43	3,35
<i>Myrciaria delicatula</i>	11	25	3,18	0,43	1,34	2,81	12	20	2,79	0,31	1,01	2,45	12	21	3,03	0,32	0,98	2,61
<i>Myrcianthes gigantea</i>	12	15	1,91	0,84	2,65	2,32	13	13	1,81	0,85	2,74	2,31	13	11	1,59	0,87	2,63	2,15
<i>Parapiptadenia rigida</i>	14	13	1,65	0,94	2,94	2,15	16	11	1,53	0,41	1,34	1,48	14	12	1,73	0,55	1,66	1,74
<i>Ruprechtia laxiflora</i>	16	12	1,53	0,38	1,18	1,52	14	12	1,67	0,41	1,33	1,66	15	12	1,73	0,48	1,45	1,73
<i>Ilex theezans</i>	15	11	1,40	0,59	1,87	1,65	15	10	1,39	0,56	1,81	1,66	16	9	1,30	0,56	1,70	1,54
<i>Sebastiania commersoniana</i>	18	12	1,53	0,18	0,56	1,25	17	11	1,53	0,18	0,58	1,23	17	11	1,59	0,19	0,59	1,26
<i>Ocotea pulchella</i>	17	5	0,64	0,72	2,27	1,28	18	5	0,70	0,58	1,88	1,12	18	5	0,72	0,65	1,94	1,16
Demais espécies		88	11,20	3,10	9,78	12,00		71	9,94	2,51	8,14	10,36		74	10,65	2,71	8,18	10,78
TOTAL		786	100	31,80	100	100		718	100	30,93	100	100		694	100	33,18	100	100

Em que: DA = Densidade absoluta (n° ind.ha⁻¹); DR = densidade relativa (%); DoA = Dominância absoluta (m².ha⁻¹); DoR = dominância relativa (%); VI% = Valor de importância (%); P = Posição no ranking de maior VI.

Fonte: O autor.

Tabela 2.8 – Parâmetros fitossociológicos para o tratamento corte seletivo leve (T1), em cada ocasião de monitoramento da floresta, para as espécies com valor de importância maior que 1% no ano de 2015. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Nome Científico	2001 (-1 ano)						2006 (+4 anos)						2015 (+13 anos)					
	P	DA	DR	DoA	DoR	VI%	P	DA	DR	DoA	DoR	VI%	P	DA	DR	DoA	DoR	VI%
<i>Matayba elaeagnoides</i>	1	271	42,88	10,59	39,77	34,66	1	171	30,70	6,69	28,61	25,86	1	183	27,44	7,88	27,14	23,53
<i>Cupania vernalis</i>	2	70	11,08	1,75	6,59	9,75	2	71	12,75	1,92	8,22	11,02	2	88	13,19	2,60	8,95	11,18
<i>Araucaria angustifolia</i>	4	17	2,69	2,12	7,98	4,96	3	24	4,31	2,59	11,08	6,76	3	41	6,15	3,58	12,32	7,98
<i>Myrciaria floribunda</i>	7	26	4,11	0,40	1,49	3,80	5	33	5,92	0,51	2,20	5,02	4	41	6,15	0,71	2,45	5,43
<i>Luehea divaricata</i>	6	14	2,22	1,69	6,34	3,82	6	16	2,87	1,87	8,01	4,74	5	21	3,15	2,20	7,59	4,75
<i>Casearia decandra</i>	3	37	5,85	0,74	2,80	5,43	4	33	5,92	0,63	2,70	5,10	6	34	5,10	0,69	2,38	4,69
<i>Ilex paraguariensis</i>	8	15	2,37	1,31	4,94	3,66	7	17	3,05	1,28	5,49	4,22	7	26	3,90	1,60	5,52	4,60
<i>Ocotea pulchella</i>	9	10	1,58	1,24	4,64	2,95	8	10	1,80	1,36	5,79	3,39	8	10	1,50	1,53	5,27	2,99
<i>Solanum mauritianum</i>	13	15	2,37	0,21	0,78	2,11	11	19	3,41	0,36	1,52	2,67	9	23	3,45	0,60	2,07	2,93
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	11	14	2,22	0,31	1,16	2,18	12	15	2,69	0,36	1,52	2,52	10	19	2,85	0,49	1,68	2,68
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	26	3	0,47	0,05	0,19	0,48	18	8	1,44	0,12	0,50	1,25	11	20	3,00	0,36	1,23	2,58
<i>Cedrela fissilis</i>	12	9	1,42	0,87	3,28	2,18	13	8	1,44	0,94	4,02	2,42	12	9	1,35	1,13	3,89	2,33
<i>Lithraea brasiliensis</i>	10	14	2,22	0,45	1,71	2,45	10	14	2,51	0,54	2,29	2,71	13	13	1,95	0,62	2,14	2,24
<i>Myrceugenia miersiana</i>	14	13	2,06	0,13	0,48	1,90	17	9	1,62	0,09	0,40	1,36	14	14	2,10	0,15	0,51	1,82
<i>Ilex theezans</i>	5	17	2,69	1,91	7,17	4,69	9	10	1,80	0,99	4,24	2,87	15	7	1,05	0,79	2,71	1,76
<i>Erythroxylum deciduum</i>	16	8	1,27	0,39	1,46	1,61	14	10	1,80	0,51	2,17	2,18	16	9	1,35	0,53	1,82	1,72
<i>Myrciaria delicatula</i>	15	12	1,90	0,26	0,96	1,66	15	9	1,62	0,19	0,81	1,49	17	12	1,80	0,26	0,89	1,70
<i>Ocotea puberula</i>	25	2	0,32	0,21	0,79	0,55	24	4	0,72	0,28	1,18	0,89	18	10	1,50	0,36	1,23	1,42
<i>Styrax leprosus</i>	17	8	1,27	0,19	0,73	1,19	16	9	1,62	0,21	0,88	1,43	19	8	1,20	0,22	0,75	1,16
<i>Zanthoxylum kleinii</i>	18	6	0,95	0,20	0,74	1,09	19	6	1,08	0,24	1,03	1,22	20	6	0,90	0,34	1,18	1,13
<i>Lamanonia ternata</i>	20	4	0,63	0,23	0,87	0,85	22	4	0,72	0,24	1,04	0,93	21	6	0,90	0,31	1,06	1,09
Demais espécies		47	7,46	1,37	5,15	8,05		57	10,26	1,47	6,31	9,98		67	10,05	2,09	7,19	10,28
TOTAL		632	100	26,62	100	100		557	100	23,39	100	100		667	100,0	29,02	100	100

Em que: DA = Densidade absoluta (nº ind.ha⁻¹); DR = densidade relativa (%); DoA = Dominância absoluta (m².ha⁻¹); DoR = dominância relativa (%); VI% = Valor de importância (%); P = Posição no ranking de maior VI; () = Tempo decorrido em relação aos cortes seletivos.

Tabela 2.9 – Parâmetros fitossociológicos para o tratamento corte seletivo moderado (T2), em cada ocasião de monitoramento da floresta, para as espécies com valor de importância maior que 1% no ano de 2015. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Nome Científico	2001 (-1 ano)						2006 (+4 anos)						2015 (+13 anos)					
	P	DA	DR	DoA	DoR	VI%	P	DA	DR	DoA	DoR	VI%	P	DA	DR	DoA	DoR	VI%
<i>Matayba elaeagnoides</i>	1	298	46,35	14,22	49,13	40,29	1	165	37,16	7,95	39,04	34,05	1	164	30,20	8,87	36,43	29,20
<i>Araucaria angustifolia</i>	3	23	3,58	2,80	9,66	5,91	2	23	5,18	3,19	15,66	8,63	2	30	5,52	3,84	15,79	8,73
<i>Myrciaria floribunda</i>	5	35	5,44	0,53	1,82	4,89	4	37	8,33	0,53	2,59	6,70	3	56	10,31	0,84	3,44	7,74
<i>Erythroxylum deciduum</i>	2	52	8,09	2,09	7,22	7,75	3	37	8,33	1,61	7,91	8,05	4	32	5,89	1,55	6,35	5,96
<i>Casearia decandra</i>	16	9	1,40	0,18	0,62	1,47	7	13	2,93	0,20	1,00	2,68	5	29	5,34	0,42	1,71	4,65
<i>Lithraea brasiliensis</i>	4	36	5,60	1,51	5,21	5,63	5	22	4,95	1,05	5,16	5,06	6	17	3,13	1,13	4,63	3,69
<i>Nectandra megapotamica</i>	8	14	2,18	0,42	1,46	2,27	8	12	2,70	0,43	2,11	2,66	7	20	3,68	0,69	2,85	3,37
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	6	21	3,27	0,36	1,23	3,09	6	16	3,60	0,31	1,50	3,18	8	20	3,68	0,41	1,68	3,24
<i>Ilex paraguariensis</i>	31	2	0,31	0,04	0,14	0,33	24	4	0,90	0,08	0,37	0,74	9	16	2,95	0,31	1,27	2,51
<i>Cupania vernalis</i>	23	6	0,93	0,09	0,32	0,86	16	7	1,58	0,12	0,59	1,35	10	13	2,39	0,22	0,91	2,12
<i>Sebastiania commersoniana</i>	13	9	1,40	0,39	1,33	1,62	11	9	2,03	0,39	1,93	2,16	11	10	1,84	0,48	1,96	2,03
<i>Ilex theezans</i>	7	11	1,71	0,99	3,40	2,67	9	7	1,58	0,63	3,08	2,29	12	7	1,29	0,66	2,72	1,93
<i>Ocotea pulchella</i>	10	9	1,40	0,70	2,40	1,97	12	9	2,03	0,37	1,82	2,13	13	9	1,66	0,45	1,87	1,86
<i>Eugenia uniflora</i>	15	10	1,56	0,25	0,85	1,60	17	6	1,35	0,16	0,80	1,35	14	10	1,84	0,22	0,90	1,77
<i>Allophylus edulis</i>	17	9	1,40	0,18	0,61	1,38	14	8	1,80	0,17	0,83	1,61	15	11	2,03	0,18	0,75	1,69
<i>Zanthoxylum kleinii</i>	11	9	1,40	0,53	1,82	1,87	10	8	1,80	0,47	2,33	2,22	16	7	1,29	0,47	1,92	1,67
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	18	6	0,93	0,42	1,45	1,32	13	6	1,35	0,47	2,30	1,85	17	6	1,10	0,56	2,29	1,64
<i>Prunus myrtifolia</i>	22	5	0,78	0,15	0,51	0,87	18	6	1,35	0,17	0,81	1,35	18	8	1,47	0,25	1,01	1,51
<i>Myrciaria delicatula</i>	14	11	1,71	0,21	0,73	1,61	15	8	1,80	0,14	0,67	1,46	19	11	2,03	0,18	0,73	1,51
<i>Cedrela fissilis</i>	19	4	0,62	0,51	1,77	1,15	20	4	0,90	0,24	1,18	1,12	20	4	0,74	0,29	1,17	0,98
Demais espécies		64	10,03	2,40	8,32	11,48		37	8,41	1,69	8,35	9,38		63	11,54	2,34	9,59	12,21
TOTAL		643	100	28,94	100	100		444	100	20,36	100	100		543	100	24,34	100	100

Em que: DA = Densidade absoluta (n° ind.ha⁻¹); DR = densidade relativa (%); DoA = Dominância absoluta (m².ha⁻¹); DoR = dominância relativa (%); VI% = Valor de importância (%); P = Posição no ranking de maior VI; () = Tempo decorrido em relação aos cortes seletivos.

Fonte: O autor.

Na ocasião anterior aos cortes seletivos (2001), verificou-se que na floresta com araucária da Fazenda Tupi, a espécie *Matayba elaeagnoides* (camboatá-branco) encontrava-se na primeira posição do ranking de maior valor de importância (VI%), apresentando também os maiores valores de densidade e dominância. Já a *Araucaria angustifolia*, espécie característica da Floresta Ombrófila Mista, a qual é relatada por diversos autores, entre eles Longhi (1980) e Reitz et al. (1983), como de presença constante e dominante nessa fisionomia, não constava nas primeiras posições do ranking de maior valor de importância (VI) nas áreas avaliadas, apresentando densidade média próximo a 20 ind.ha⁻¹, considerando-se a floresta como um todo.

Essa baixa densidade observada e o fato da *Araucaria angustifolia* não constar como a principal espécie dominante na área de estudo corrobora com o estágio secundário que se encontra a floresta, a qual, na ocasião anterior à aplicação dos tratamentos de manejo (2001), se mostrou totalmente descaracterizada de sua estrutura original devido, principalmente, ao histórico de exploração ocorrida na década de 80 com o corte de quase a totalidade das araucárias comerciais. Essa exploração predatória favoreceu a dominância de espécies de folhosas na área, principalmente *Matayba elaeagnoides*, que devido sua alta densidade observada e com características de possuir copa densa, baixa e alargada, mostra-se como um limitador ao desenvolvimento e estabelecimento da *Araucaria angustifolia* no interior da floresta, devido à alta condição de sombreamento a qual é imposta.

Assim, os resultados demonstram que a floresta com araucária da Fazenda Tupi pode ser considerada como uma “floresta de recuperação/transformação”, sendo seu manejo fundamentado na finalidade de conduzir essa floresta a uma estrutura produtiva no futuro, com uma distribuição regular de espécies e com dominância da *Araucaria angustifolia*, espécie de maior importância ecológico-econômica dessa fisionomia. Sendo assim, considerando-se a posição desfavorável que a *Araucaria angustifolia* ocupava na estrutura horizontal da floresta no ano de 2001, a redução da densidade de indivíduos de espécies de folhosas de alta densidade realizada no ano de 2002 como uma alternativa de manejo é justificada, principalmente, visando acelerar a recuperação da floresta frente à elevada exploração madeireira do passado.

Dessa forma, treze anos após a aplicação das intervenções de manejo com diferentes níveis de redução da densidade de indivíduos de espécies folhosas, a preferência pela retirada de indivíduos de alta densidade absoluta e baixo interesse comercial no momento da realização dos cortes seletivos (p. ex. no presente estudo: *Matayba elaeagnoides*), buscando-se, principalmente, o favorecimento de espécies de maior valor econômico/ecológico, como a

Araucaria angustifolia, apresentou resultados altamente satisfatórios. A floresta remanescente demonstrou capacidade de reestruturação nos parâmetros analisados para os tratamentos submetidos a intervenções de manejo em comparação ao tratamento testemunha (T0).

A espécie *Matayba elaeagnoides* foi a que obteve maior taxa de corte devido possuir os maiores valores de densidade e dominância absoluta na área. Apesar disso, treze anos após a aplicação dos cortes seletivos, ainda se mostrava como espécie mais importante na floresta em estudo para ambos os tratamentos de manejo (Tabela 2.8 e Tabela 2.9). No entanto, observou-se decréscimo no VI na ordem de 32,1% para o tratamento com corte seletivo leve e na ordem de 27,5% no tratamento com corte seletivo moderado, em relação à ocasião anterior as intervenções de manejo. Para o tratamento testemunha (T0), apesar da redução da densidade observada entre os períodos analisados, resultante da mortalidade natural, essa espécie manteve-se como a mais importante do dossel, com VI na ordem de 14% nas ocasiões de monitoramento (Tabela 2.7).

A *Araucaria angustifolia*, após o regime de manejo, obteve o maior acréscimo no índice de valor de importância nos tratamentos que receberam cortes seletivos em relação ao tratamento testemunha (T0). Após treze anos da realização dos cortes seletivos esse índice assumiu valores de 7,98% (terceira posição no ranking de VI) e 8,73% (segunda posição no ranking de VI) para o tratamento com corte seletivo leve e corte seletivo moderado, respectivamente, sendo ambos superiores ao tratamento testemunha, com VI = 7,20% e terceira posição no ranking de maior VI. Contudo, os valores encontrados ainda são baixos quando comparados com diversos estudos que utilizaram o mesmo nível de inclusão de indivíduos na amostragem ($DAP \geq 10$ cm), entre eles os trabalhos conduzidos por Sonego et al. (2007) e Herrera et al. (2009), que encontraram para a estrutura horizontal da Floresta Ombrófila Mista valores acima de 30% para o VI da *Araucaria angustifolia*.

No geral, as espécies ocorrentes no tratamento testemunha (T0) apresentaram poucas alterações no ranking de maior VI durante o período de estudo. Porém, merece destaque as espécies *Erythroxylum deciduum* (cocão) e *Lithraea brasiliensis* (aroeira-vermelha) por apresentarem maior mortalidade de indivíduos, refletindo na diminuição da densidade absoluta da floresta no período total de avaliação. Essas espécies correspondem juntas a 40% do decréscimo da densidade total na floresta nesse período, com perda de 92 ind.ha⁻¹ (Tabela 2.7). Esse fato pode ser explicado pelas características ecológicas dessas espécies, uma vez que são classificadas como espécies pioneiras e, assim, devido ao atual estágio sucessional em que se encontra a floresta, as mesmas serão substituídas gradativamente por espécies de grupo ecológico de estágio mais avançado (secundárias iniciais/tardias ou clímax) com o

desenvolvimento da floresta, ou, simplesmente perder espaço devido à competição natural em que essa floresta se encontra, ocasionando a sucumbência dos indivíduos que estão nos estratos inferiores, quer seja por falta de luz ou de nutrientes.

Para esse mesmo tratamento de manejo (T0), foi verificada perda de 1 ind.ha⁻¹ de *Araucaria angustifolia* no período analisado, confirmando a dificuldade que essa espécie apresenta em se desenvolver sob o dossel de florestas com alta densidade de indivíduos. De acordo com Lingner et al. (2007), a falta de luz, associada ao adensamento do dossel da floresta, faz com que a araucária não encontre condições favoráveis para se regenerar e, em decorrência da competição com as espécies folhosas, poucos indivíduos da regeneração atingem grandes dimensões.

Os resultados demonstram a necessidade de intervenções de manejo para melhor estruturação dos parâmetros fitossociológicos da floresta, com diminuição da participação de espécies folhosas de elevada densidade, principalmente *Matayba elaeagnoides* no presente estudo, e aumento na participação da *Araucaria angustifolia* nos tratamentos que receberam intervenções de manejo. Entretanto, somente com a realização de intervenções sucessivas se alcançará o objetivo de condução da floresta a uma estrutura com distribuição regular de espécies.

2.3.1.3 Recrutamento e mortalidade pós-corte

A efetivação da transformação da floresta com araucária da Fazenda Tupi para uma estrutura produtiva só é possível se o manejo aplicado na floresta proporcione o ingresso de um número adequado de espécies de valor comercial para futuro aproveitamento. No mesmo sentido, Silva (1989) salienta que é imprescindível que uma determinada quantidade de regeneração de espécies comerciais ingresse na floresta e que pelo menos um número razoável dessas árvores permaneça na floresta até o tamanho de abate a cada ciclo de corte. Dessa forma, na Tabela 2.10 estão descritas, para cada tratamento de manejo, as taxas anuais média de recrutamento para os períodos compreendidos entre quatro e oito anos (2006-2010) e oito e treze anos (2010-2015) após os cortes seletivos, juntamente com o número de indivíduos recrutados no referido período para o total da floresta e para as espécies de valor comercial.

Tabela 2.10 – Taxa anual média de recrutamento para os diferentes tratamentos de manejo e períodos de monitoramento da floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	2006-2010		2010-2015	
	Nº ind.	TAR	Nº ind.	TAR
T0 - Testemunha	20 (0)	0,70%	18 (3)	0,51%
T1 – Corte seletivo leve	92 (14)	4,13%	71 (20)	2,26%
T2 – Corte seletivo moderado	55 (9)	3,10%	79 (18)	3,25%

Em que: TAR = taxa anual média de recrutamento para a floresta; 2006-2010 = período entre quatro e oito anos após os cortes seletivos; 2010-2015 = período entre oito e treze anos após os cortes seletivos; () = número de indivíduos de espécies de valor comercial ingressas no período.

Fonte: O autor.

Os diferentes tratamentos de manejo aplicados à floresta da Fazenda Tupi proporcionaram elevadas taxas de ingresso após a realização dos cortes seletivos, mostrando-se muito superiores às taxas observadas para o tratamento sem intervenção de manejo (T0). Além disso, pode-se inferir que o corte de indivíduos de espécies com alta densidade e baixo valor comercial, como alternativa de manejo, proporcionou o surgimento de um número aceitável de indivíduos com interesse comercial para ambos os tratamentos de manejo.

Para o período entre quatro e oito anos após os cortes seletivos, o tratamento com corte seletivo leve (T1) mostrou maior recrutamento com taxa anual de 4,13% e com a inclusão de 14 ind.ha⁻¹ de espécies com interesse comercial. Já para o período entre oito e treze anos após a aplicação do manejo, observou-se decréscimo na taxa de ingresso (2,26%), principalmente devido à floresta já ter repostado grande parte do estoque que foi extraído na ocasião dos cortes seletivo. Contudo, o número de ingressos de indivíduos de espécies com interesse comercial manteve-se elevado, apresentando 20 ind.ha⁻¹ nesse período.

Já para o tratamento com corte seletivo moderado (T2), observou-se altas taxas de ingresso para ambos os períodos, sendo as maiores taxas ocorrendo no período entre oito e treze anos após os cortes seletivos, com taxa anual de 3,25% e ingresso de 18 ind.ha⁻¹ de espécies com valor comercial. O aumento da taxa de ingressos entre os períodos analisados indica que a floresta ainda está se recuperando do nível de exploração a qual foi submetida, uma vez que, como a intensidade de corte para esse tratamento foi maior, o tempo necessário para a floresta repor novos indivíduos até atingir seu máximo estoque, também será maior. Para Vasconcelos et al. (2009), em florestas submetidas a manejo, logo após a abertura da clareira, decorrente da exploração, o processo dinâmico desse ambiente torna-se acelerado nos primeiros anos, principalmente, devido a mudanças bruscas em termos de quantidade e qualidade de luz, espaço, processo de regeneração de clareiras, competição e mortalidade

causadas por danos decorrentes da exploração.

O tratamento sem intervenção de manejo (T0), devido à alta densidade de indivíduos verificada e, assim, provavelmente estando a floresta com seu estoque máximo, apresentou taxa de recrutamento abaixo de 1% e recrutamento de apenas três indivíduos de espécies comerciais durante todo o período de monitoramento da floresta (2001-2015). Comparando-se com as taxas de mortalidade (Tabela 2.11), verificou-se que as mesmas se encontram ligeiramente superiores às de recrutamento para o referido tratamento de manejo, podendo-se inferir que essa floresta se encontra em um estágio mais avançado de desenvolvimento, com o desenvolvimento constante de indivíduos de grandes dimensões e menor participação de indivíduos nas classes inferiores devido à concorrência acirrada.

Tabela 2.11 – Taxa anual média de mortalidade para os diferentes tratamentos de manejo e períodos de monitoramento da floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	2006-2010		2010-2015	
	Nº ind.	TAM	Nº ind.	TAM
T0 - Testemunha	33 (1)	1,15%	28 (0)	0,80%
T1 – Corte seletivo leve	22 (1)	0,99%	31 (1)	0,99%
T2 – Corte seletivo moderado	13 (0)	0,73%	22 (3)	0,91%

Em que: TAM = taxa anual média de mortalidade para a floresta; 2006-2010 = período entre quatro e oito anos após os cortes seletivos; 2010-2015 = período entre oito e treze anos após os cortes seletivos; () = número de indivíduos de espécies de valor comercial mortas no período.

Fonte: O autor.

Para os tratamentos com intervenções de manejo (T1 e T2), verificou-se que as intensidades com que foram aplicados os cortes seletivos não influíram na mortalidade de indivíduos na floresta em nenhum dos períodos analisados, uma vez que apresentaram taxas de mortalidade próximas a da testemunha, com valores abaixo de 1%. Os resultados do presente estudo estão em consonância com os valores médios observados por Figueiredo Filho et al. (2010) que ao comparar diversos estudos em florestas com araucária na região Sul do Brasil, verificaram taxa média anual de mortalidade entre 1% e 2% e que o ingresso geralmente apresenta-se com valor maior, com taxas próximas a 3%.

Nos tratamentos onde foram aplicadas as intervenções de manejo, observou-se que mais de 90% do número de indivíduos de espécies de valor comercial que ingressaram na floresta permaneceram vivas no final do período de monitoramento. De acordo com a proposta das intervenções realizadas, tendo como finalidade a condução da floresta a uma estrutura produtiva, esses resultados mostram-se altamente positivos para o manejo florestal.

2.3.1.4 Evolução da estrutura diamétrica pós-corte

A evolução da estrutura diamétrica da densidade de indivíduos e da área basal por hectare está representada pela Figura 2.3 para os diferentes tratamentos de manejo, em que as barras se referem às frequências observadas do número de indivíduos por hectare e as linhas se relacionam com o eixo y secundário e representam a área basal por hectare por classe de diâmetro em cada ocasião de monitoramento da floresta.

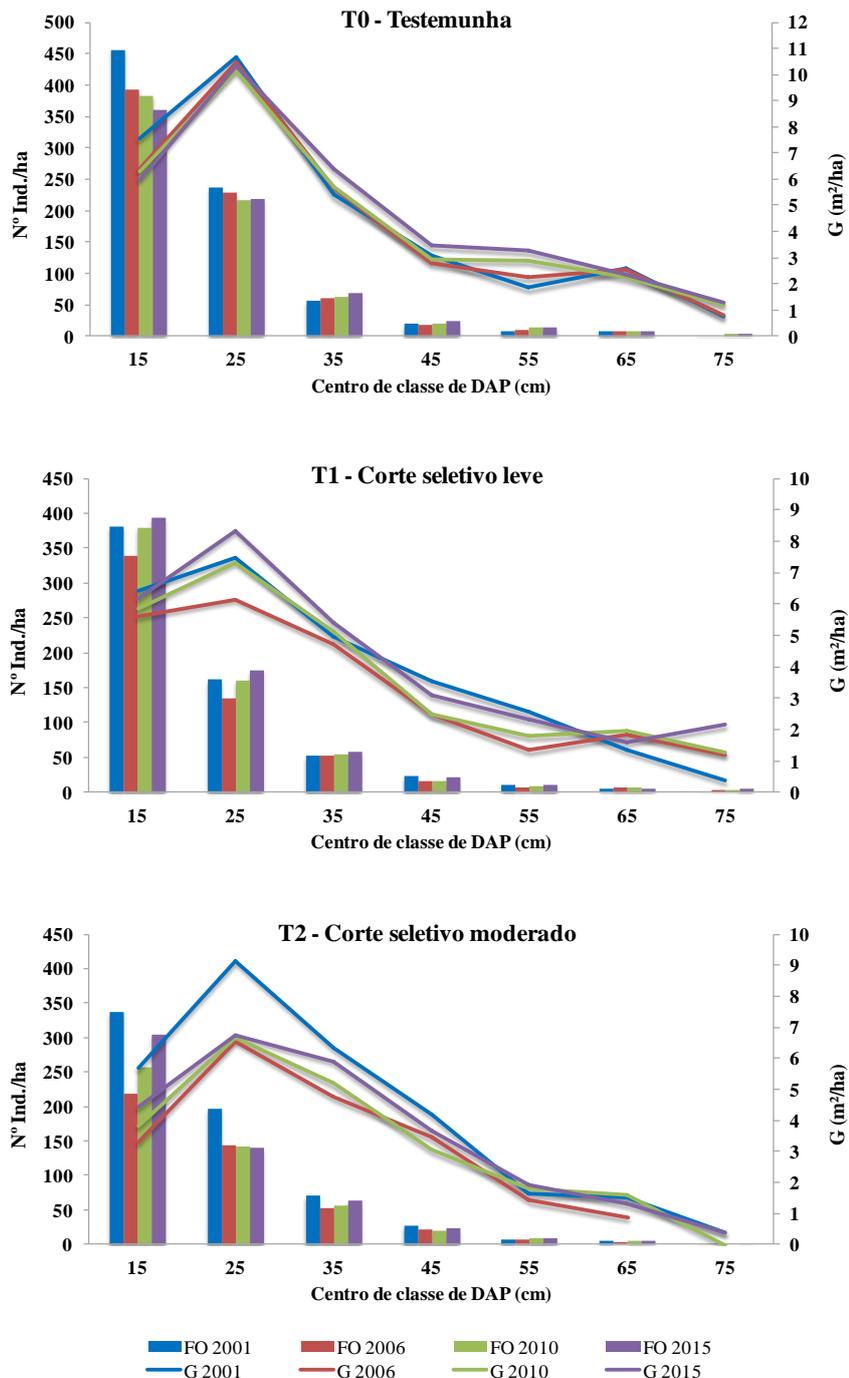
Pode-se constatar que a realização de cortes seletivos, com a proposta de redução em níveis percentuais da curva de distribuição da frequência ajustada em relação à área basal, por classe de DAP, proporcionou que a floresta em estudo mantivesse a distribuição em formato J-invertido, característica típica de florestas multiâneas e heterogêneas, com maior concentração de indivíduos nas classes inferiores de diâmetro.

No tratamento sem intervenção de manejo (T0), a distribuição do número de árvores e da área basal por classe de diâmetro demonstrou que a floresta, de forma lenta e gradual, está se desenvolvendo com o aporte de indivíduos e área basal nas classes de maior diâmetro. Esse crescimento é devido, principalmente, pela migração dos indivíduos das classes diamétricas inferiores em direção às superiores, uma vez que foi observado um contínuo e elevado decréscimo de indivíduos nas duas primeiras classes diamétricas no período de monitoramento (2001-2015). Esse fato reflete o elevado grau de competição que essa floresta se encontra, com dificuldade de recrutamento de novos indivíduos e necessidade de práticas de manejo como forma de acelerar a dinâmica florestal e conduzir o desenvolvimento da floresta. A dominância da espécie *Matayba elaeagnoides*, com sua copa formando um denso dossel, impede a entrada de taxas de luminosidade favoráveis ao desenvolvimento de indivíduos que se encontram abaixo do dossel superior.

Já para os tratamentos que receberam intervenções de manejo (T1 e T2), os níveis de reduções, com cortes seletivos de indivíduos de espécies folhosas de alta densidade (principalmente de *Matayaba elaeagnoides*), proporcionaram uma maior dinâmica, principalmente para as primeiras classes de diâmetro, onde teve elevado e crescente número de indivíduos recrutados. Esse aspecto é muito importante para o manejo da floresta com o objetivo de transformação da mesma a uma estrutura produtiva no futuro, uma vez que a redução de indivíduos de espécies de alta densidade absoluta e de baixo interesse comercial, proporciona o maior recrutamento de novos indivíduos, muitas vezes, de espécies de interesse de aproveitamento futuro. Logo, intervenções de manejo, realizadas em ciclos periódicos, respeitando-se a capacidade de recuperação da floresta, mostra-se como uma técnica

necessária para as florestas com araucária da região Sul do Brasil e que se encontram alteradas em sua estrutura original devido à intensa exploração sofrida no passado.

Figura 2.3 – Evolução da estrutura diamétrica da densidade absoluta e área basal por hectare para cada tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



Em que: FO = frequência observada; G = área basal; 2001 = 1 ano antes do corte seletivo; 2006, 2010, 2015 = 4, 8 e 13 anos após os cortes seletivos, respectivamente.

Fonte: O autor.

Em relação à evolução da distribuição diamétrica da floresta com o passar do tempo após os cortes seletivos, apenas o tratamento com corte seletivo leve (T1) conseguiu recuperar a estrutura diamétrica da densidade e área basal em relação à condição inicial (2001), após treze anos da aplicação das intervenções de manejo. Vale salientar que oito anos após os cortes seletivos esse tratamento já demonstrava boa capacidade de recuperação de sua densidade inicial para as classes inferiores de diâmetro, porém ainda apresentando déficit nas superiores.

Apesar do tratamento com corte seletivo moderado ainda não ter conseguido se recuperar do maior nível de intervenção ao qual foi submetido, pode-se inferir que o mesmo apresenta sinais de recuperação da densidade e área basal inicial, principalmente nas classes superiores de diâmetro. Para as menores classes diamétricas, o maior nível de corte seletivo aplicado nesse tratamento de manejo pode ter causado maiores danos nos estratos inferiores da floresta, demandando maior tempo para que os indivíduos chamados de “reposição” atinjam dimensão suficiente para entrar no estoque de crescimento, ou mesmo migrar para a classe superior, como observado na segunda classe de diâmetro. Nessa classe, apesar da migração de indivíduos para classes superiores, observou-se baixa reposição de indivíduos, principalmente pelo fato na primeira classe de diâmetro ainda estar se reestruturando do maior nível de corte ao qual foi submetido.

2.3.2 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA FLORESTA PÓS-CORTE

2.3.2.1 Floresta em geral

A evolução dos parâmetros dendrométricos e das taxas de incremento para cada um dos tratamentos de manejo aplicados na floresta com araucária da Fazenda Tupi, demonstram que treze anos após as intervenções de manejo aplicadas na floresta, o tratamento com corte seletivo leve apresentou densidade de 667 ind.ha^{-1} , área basal de $29,02 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ e volume comercial de $165,21 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, dados que, ao serem comparados com a ocasião anterior às intervenções (2001), comprovam a completa recuperação da floresta frente aos cortes seletivos e, ainda, com acréscimo de 35 ind.ha^{-1} na densidade absoluta, $2,4 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ na área basal e $17,66 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ em volume comercial com casca (Tabela 2.12). Já para o tratamento com corte seletivo moderado, verificou-se que a floresta remanescente se encontra em processo de reestoqueamento, com taxas de crescimento elevadas, porém ainda apresentando déficit de 100 ind.ha^{-1} na densidade absoluta, $6,92 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ em área basal e $22,23 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ em

volume comercial com casca em relação ao momento anterior as intervenções.

Tabela 2.12 - Variáveis dendrométricas para os diferentes tratamentos de manejo aplicados na floresta nos inventários das ocasiões de 2001, 2006 e 2010. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Variável	Monitoramento				IPA		
	2001	2006	2010	2015	2006-10	2010-15	2006-15
T0 - Testemunha (sem intervenção)							
Nº ind./ha	786	718	704	694			
DAP (cm)	Mínimo	10,0	10,0	10,0	10,0		
	Médio	20,4	21,0	21,4	22,0	0,15	0,16
	Máximo	70,9	72,5	73,9	77,5		
G (m ² .ha ⁻¹)	31,80	30,93	31,54	33,18	0,15	0,33	0,25
Vc _{c/c} (m ³ .ha ⁻¹)	176,14	172,11	177,25	188,19	1,29	2,19	1,79
T1 – Corte Seletivo Leve (redução de 20-30% da G)							
Nº ind./ha	632	557	627	667			
DAP (cm)	Mínimo	10,0	10,0	10,0	10,0		
	Médio	20,7	20,5	20,3	20,8	0,30	0,31
	Máximo	70,0	72,9	75,1	76,5		
G (m ² .ha ⁻¹)	26,62	23,39	25,93	29,02	0,64	0,62	0,63
Vc _{c/c} (m ³ .ha ⁻¹)	147,55	132,05	146,78	165,21	3,68	3,69	3,68
T2 – Corte Seletivo Moderado (redução de 40-50% da G)							
Nº ind./ha	643	444	486	543			
DAP (cm)	Mínimo	10,0	10,0	10,0	10,0		
	Médio	21,2	21,8	21,5	21,1	0,26	0,26
	Máximo	70,0	63,3	66,5	70,1		
G (m ² .ha ⁻¹)	28,94	20,36	22,02	24,34	0,41	0,46	0,44
Vc _{c/c} (m ³ .ha ⁻¹)	166,13	119,22	129,75	143,90	2,63	2,83	2,74

Em que: 2001 = 1 ano antes das intervenções; 2006 = 4 anos após as intervenções; 2010 = 8 anos após as intervenções; 2015 = 13 anos após as intervenções; G = área basal; Vc_{c/c} = volume comercial com casca; IPA = incremento periódico anual (DAP em cm.ano⁻¹; G em m².ha.ano⁻¹; Vc_{c/c} em m³.ha.ano⁻¹).

Fonte: o autor.

Em relação ao incremento periódico anual das variáveis dendrométricas analisadas, observa-se o efeito positivo que a realização de cortes seletivos de indivíduos de espécies folhosas de alta densidade proporcionou no incremento médio das árvores remanescentes. Os maiores incrementos absolutos foram observados no tratamento com corte seletivo leve, para ambos os períodos estudados, com valores próximos a 0,6 m².ha⁻¹.ano⁻¹ em área basal, 3,68 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ em volume comercial e 0,30 cm.ano⁻¹ em diâmetro.

O tratamento com corte seletivo moderado, apesar de demonstrar valores de incremento inferiores ao tratamento com corte seletivo leve, apresentou contínuo aumento do

incremento em área basal e volume comercial entre os períodos analisados. Essa constatação indica que a floresta apresenta alta capacidade de recuperação e devido ao contínuo recrutamento de novos indivíduos, maiores taxas de crescimento deverão ser obtidas no futuro.

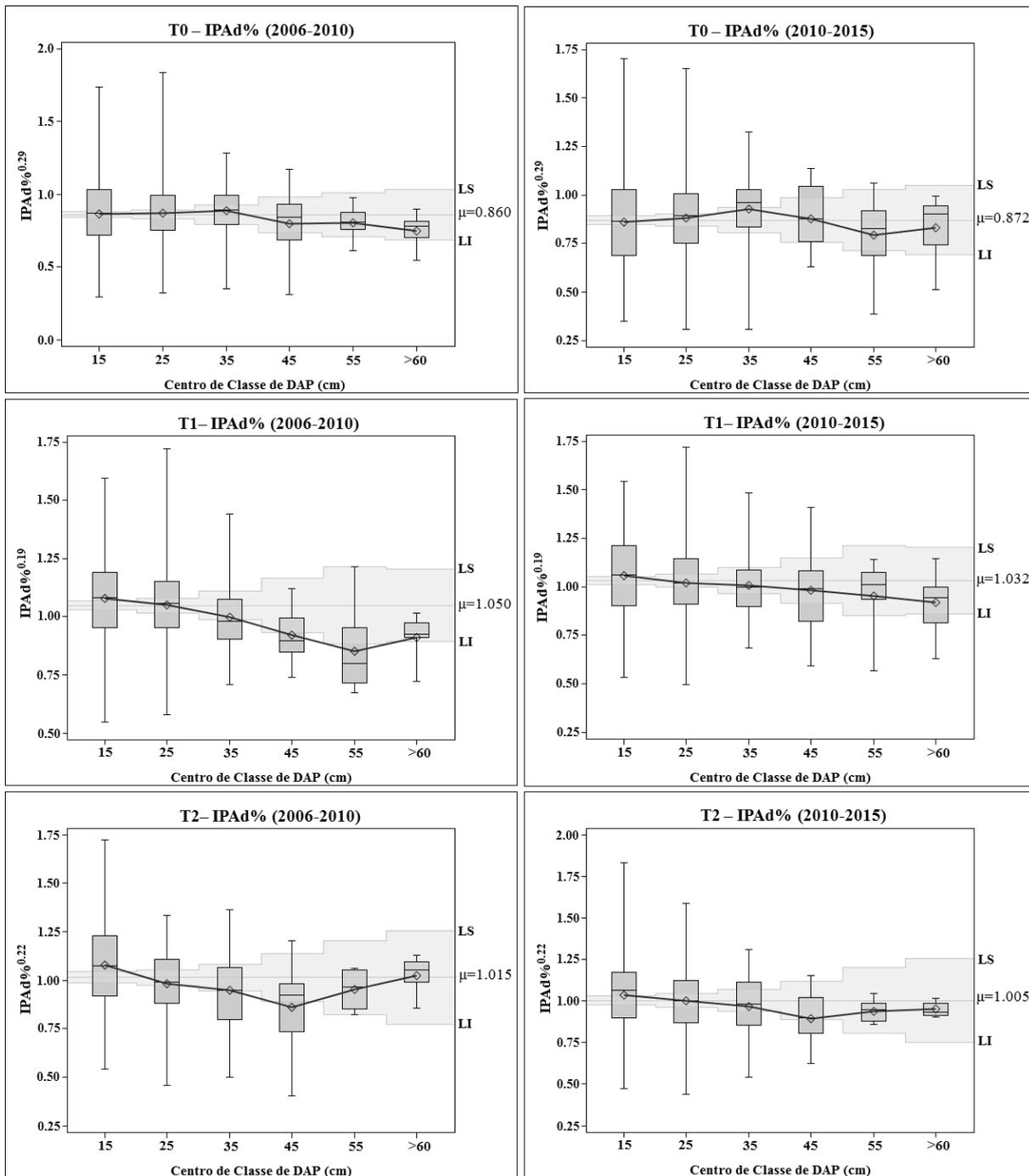
Para o tratamento sem intervenção de manejo (T0) verificou-se decréscimo de 92 ind.ha⁻¹ e aumento de apenas 1,38 m².ha⁻¹ na área basal em relação a primeira medição realizada em 2001. Além disso, apresentou as menores taxas de incremento, assumindo os valores de 0,16 cm.ano⁻¹ em diâmetro, 0,25 m².ha⁻¹.ano⁻¹ em área basal e 1,79 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ em volume comercial para um período de monitoramento de nove anos (2006-2015). Esses baixos valores de incremento observados nessa área sem intervenção de manejo, reforça o que já foi destacado em relação ao elevado grau de concorrência em que se encontra a floresta, uma vez que, a alta densidade de árvores reflete na menor disponibilidade de recursos (luz, nutrientes, entre outros), principalmente nos estratos inferiores da floresta, ocasionando, assim, baixas taxas de crescimento e altas taxas de mortalidade devido a maior competição entre os indivíduos.

Isso pode ser verificado na análise da média do incremento periódico anual em diâmetro percentual IPAd% por classe de DAP demonstrada na Figura 2.4 para cada tratamento de manejo, sendo que para cada período de análise foi representado por um gráfico *box plot*, que incluiu uma breve análise da média (ANOM) com os limites de diferença superior e inferior calculados com nível de significância $\alpha = 0,05$. Observou-se que no tratamento sem intervenção de manejo (T0), a média ponderada do incremento periódico em diâmetro percentual apresentou uma pequena variação entre as classes diamétricas, não havendo diferenças entre as mesmas em nenhum dos dois períodos. Essa pequena variação pode estar associada ao elevado grau de competição em que se encontra a floresta em geral, estando de certa forma estagnada ou não tendo condições favoráveis para desenvolver seu crescimento máximo.

Para os tratamentos que receberam cortes seletivos, no período compreendido entre quatro e oito anos após as intervenções (2006-2010), o IPAd% apresentou as maiores taxas na primeira classe de diâmetro, diferindo estatisticamente das demais classes. Esse fato pode ser explicado pela liberação de árvores durante a realização dos cortes seletivos, proporcionando, assim, condições favoráveis para o crescimento das árvores. Além disso, esse maior incremento nas classes iniciais pode estar atribuído às características ecológicas das espécies presentes, uma vez que, devido ao aumento da intensidade de luz proporcionada pelos cortes seletivos, espera-se que indivíduos de espécies de ciclo curto e de rápido crescimento

(pioneiras e secundárias iniciais) apresentem uma rápida resposta ao crescimento. As menores taxas de incremento foram observadas nas classes intermediárias/superiores ($40\text{cm} \leq \text{DAP} \leq 60\text{cm}$ para o T1 e $40\text{cm} \leq \text{DAP} \leq 50\text{cm}$ para o T2).

Figura 2.4 – Comportamento do incremento periódico anual em diâmetro relativo por classe de diâmetro, em cada tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



Fonte: O autor.

No período entre oito e treze anos após as intervenções de manejo (2010-2015), os tratamentos que receberam cortes seletivos continuaram apresentando as maiores taxas em IPAd% em relação ao tratamento sem intervenção de manejo. Para o tratamento com corte seletivo leve (T1), o IPAd% não diferiu estatisticamente entre as classes, tendendo a uma diminuição com o aumento do diâmetro das árvores. Por outro lado, para o tratamento com corte seletivo moderado (T2), constatou-se o mesmo comportamento observado no primeiro período, ou seja, maior incremento na primeira classe de diâmetro, diferindo estatisticamente das demais classes, tendo a classe de $40 \leq \text{DAP} \leq 50$ cm os menores valores de IPAd%.

Os menores valores de IPAd% para o tratamento sem intervenção de manejo (T0) ressalta que mesmo intervenções de baixa intensidade resultam em maiores taxas de incrementos quando comparadas às da área não explorada, confirmando, assim, a grande importância de se realizar aberturas controladas na floresta, como forma de aumentar as taxas de crescimento das árvores remanescentes, conduzindo-a a uma estrutura mais produtiva.

2.3.2.2 Crescimento da *Araucaria angustifolia*

As mudanças ocorridas com o passar do tempo nas variáveis de densidade absoluta, diâmetro médio, altura média e área basal em cada tratamento de manejo aplicado na floresta em relação à *Araucaria angustifolia* estão descritas na Tabela 2.13. Na ocasião anterior a aplicação dos tratamentos de manejo na floresta (2001), a densidade de *Araucaria angustifolia* mostrava-se semelhante entre os tratamentos, apresentando valores de 22 ind.ha⁻¹ no T0 (testemunha), 17 ind.ha⁻¹ no tratamento com corte seletivo leve (T1) e 23 ind.ha⁻¹ no tratamento com corte seletivo moderado (T2). Porém, o tratamento sem intervenção (T0) apresentava os maiores valores em altura média e diâmetro médio, inferindo que os indivíduos de *Araucaria angustifolia* presentes nesse tratamento possuíam maiores dimensões.

Treze anos após a realização do manejo na floresta, constatou-se que a redução da densidade de indivíduos de espécies folhosas com alta densidade absoluta, apresentou efeito positivo para o surgimento de novos indivíduos de *Araucaria angustifolia* na floresta. Em todo o período de monitoramento (2001-2015) houve um saldo positivo de 24 ind.ha⁻¹ no tratamento com corte seletivo leve e 7 ind.ha⁻¹ no tratamento com corte seletivo moderado. Destes, o maior número de ingressos foi observado no período compreendido entre oito e treze anos após a realização dos cortes seletivos em ambos os tratamentos, com valores absolutos de 12 ind.ha⁻¹ e 6 ind.ha⁻¹ para o T1 e T2, respectivamente. Esses indivíduos

recrutamentos, por serem de pequenas dimensões, contribuíram no decréscimo das variáveis diâmetro médio e altura média nesses tratamentos de manejo.

Tabela 2.13 – Densidade absoluta, diâmetro médio, altura média e área basal para a *Araucaria angustifolia* em cada ocasião de medição e em tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	Variável	Ocasião de monitoramento			
		2001	2006	2010	2015
T0 Testemunha	Nº ind.ha ⁻¹	22	21	21	21
	DAP médio (cm)	48,3	51,1	52,1	53,6
	h média (m)	19,0	19,6	20,1	20,6
	G (m ² .ha ⁻¹)	4,34	4,56	4,73	5,02
T1 Corte seletivo leve	Nº ind.ha ⁻¹	17	24	29	41
	DAP médio (cm)	34,9	31,3	29,9	27,2
	h média (m)	18,5	16,0	15,5	15,0
	G (m ² .ha ⁻¹)	2,12	2,59	2,91	3,57
T2 Corte seletivo moderado	Nº ind.ha ⁻¹	23	23	24	30
	DAP médio (cm)	35,9	38,4	38,9	35,1
	h média (m)	19,3	18,8	18,4	17,4
	G (m ² .ha ⁻¹)	2,80	3,19	3,47	3,84

Em que: h = altura total; G = área basal; 2001 = 1 ano antes da intervenção de manejo; 2006, 2010, 2015 = 4, 8 e 13 anos após a intervenção de manejo.

Fonte: O autor.

Já no tratamento testemunha (T0) verificou-se déficit de 1 ind.ha⁻¹ no período analisado, não sendo registrado nenhum ingresso de araucária. Essa observação reforça o baixo potencial que indivíduos de *Araucaria angustifolia* presentes no subdossel de florestas com alta densidade de indivíduos possuem em se desenvolver e alcançar classes de vegetação adulta, sendo naturalmente substituída pelo avanço das espécies latifoliadas. Isto já foi referenciado em vários trabalhos relatando a baixa capacidade de regeneração da araucária sob floresta desenvolvida (SOUZA et al., 2008; PALUDO et al., 2009; CALLEGARO; LONGHI, 2013, RIBEIRO et al., 2013; BECKERT et al., 2014; EBLING et al., 2014).

Uma hipótese para a distribuição da *Araucaria angustifolia* é a formação de unidades demográficas por um grupo de árvores recrutadas em um mesmo intervalo de tempo, constituindo *cohorts*. Segundo Ogden e Stewart (1995), o conhecimento atual sobre a história de vida e modo de regeneração das florestas com domínio de grandes coníferas do hemisfério sul foi resumida no modelo conceitual de Lozenge. De acordo com esse modelo, também

conhecido como “estrutura de *cohorts*”, um grupo de coníferas (*cohort*) de grande tamanho e exigentes de luz (pioneiras) estabelecem-se após distúrbios severos. Esses são seguidos por *cohorts* de espécies de angiospermas (folhosas) que dominam o sub-bosque da floresta e suprimem o recrutamento das coníferas, estando esse restrito apenas à formação de clareiras pela queda de árvores. Segundo Souza (2007), se aplicável para as coníferas da América do Sul, este modelo caracterizaria a *Araucaria angustifolia* como uma espécie pioneira de longa duração, com populações dominadas por adultos e, dependente de distúrbios para a regeneração eficaz e manutenção em longo prazo.

Ao estudarem o crescimento, mortalidade e recrutamento em duas Florestas com Araucária no estado do Paraná com diferentes históricos de exploração, Sanquetta et al. (2003) verificaram altas taxas de ingresso de *Araucaria angustifolia* na área que sofreu sistematicamente raleamentos de subdossel para manejo de erva-mate e também corte seletivo de madeira. Os mesmos autores não verificaram esse comportamento na outra floresta, a qual vinha sendo mantida intacta praticamente por mais de 25 anos, devido à densidade ser elevada e a competição mais acirrada.

Diante desses fatos, o aumento da densidade de *Araucaria angustifolia* nos tratamentos em que ocorreram cortes seletivos no presente estudo indicou que a abertura do dossel, independente da intensidade dos cortes seletivos, com o aumento da disponibilidade de luz, beneficiou o ingresso de indivíduos que se encontravam no subdossel da floresta e apresentaram crescimento suficiente para entrar na classe de vegetação adulta. Logo, pode-se dizer que esses indivíduos formam um *cohort* e, assim que a floresta preencher todos os espaços ocasionados pela exploração seletiva, às oportunidades de recrutamento irão diminuir até que um novo evento de perturbação comece o ciclo novamente.

Em relação ao crescimento das árvores de araucária nos tratamentos que receberam intervenções de manejo, evidenciou-se a resposta positiva do incremento periódico anual em diâmetro (IPAd) com a aplicação dos cortes seletivos, uma vez que, ambos tratamentos apresentaram valores superiores ao tratamento testemunha (T0), o qual obteve os menores incrementos, assumindo valores de $0,25 \text{ cm.ano}^{-1}$ no período 1 e de $0,31 \text{ cm.ano}^{-1}$ no período 2 (Tabela 2.14). Valores próximos aos encontrados no presente estudo para a área sem intervenção de manejo já foram observados em outras áreas sem histórico de exploração recente, podendo-se citar o trabalho desenvolvido por Beckert et al. (2014) que verificaram incremento periódico anual médio de $0,33 \text{ cm.ano}^{-1}$ para a *Araucaria angustifolia* e concluíram que as baixas taxas de incremento foram devidas à intensa competição e à pouca disponibilidade de luz nos estratos inferiores.

Tabela 2.14 – Incremento periódico anual em diâmetro para a *Araucaria angustifolia* por tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	Variável	Período de Monitoramento	
		1 (2006-2010)	2 (2010-2015)
T0 Controle	N	21	21
	IPAd (cm)	0,25	0,31
	IPAd%	0,52 b	0,60 c
T1 Corte seletivo leve	N	24	29
	IPAd (cm)	0,62	0,80
	IPAd%	3,14 a	4,03 a
T2 Corte seletivo moderado	N	23	24
	IPAd (cm)	0,45	0,40
	IPAd%	1,57 a	1,35 b

Em que: N = número de observações; IPAd = incremento periódico anual em diâmetro; IPAd% = incremento periódico anual em diâmetro percentual; (2006-2010) = período entre quatro e oito anos após os cortes seletivos; (2010-2015) = período entre oito e treze anos após os cortes seletivos; Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ao nível de significância $\alpha = 0,05$.

Fonte: O autor.

Com a realização de cortes seletivos, principalmente de *Matayba elaeagnoides*, maiores foram as taxas de luminosidade que alcançaram o sub-bosque da floresta, o que contribuiu significativamente para o crescimento dos indivíduos de *Araucaria angustifolia*. Para o tratamento com corte seletivo leve (T1) observou-se a maior taxa de incremento em diâmetro, assumindo valores de 0,62 cm.ano⁻¹ e 0,80 cm.ano⁻¹ para os períodos 1 e 2, respectivamente (Tabela 2.14). A elevada taxa de crescimento em diâmetro da *Araucaria angustifolia* no tratamento T1 para o período compreendido entre 8 e 13 anos após as intervenções de manejo é atribuída, em grande parte, ao maior número de indivíduos que ingressaram na remedição do ano de 2010 (8 anos após os cortes seletivos) e, apresentaram elevado incremento, devido, principalmente, às condições favoráveis que a redução da densidade de espécies folhosas proporcionou aos indivíduos que estavam no estrato inferior da floresta.

Estes resultados são corroborados por Nogueira (1989) que ao estudar árvores remanescentes de *Araucaria angustifolia* em uma área de corte há 20 anos e comparar o incremento radial antes e após a reação devido aos cortes, para três tipos de copas, verificou nitidamente uma grande diferença entre os incrementos, sendo que, após a reação causada pelos cortes seletivos, o incremento radial foi mais que o dobro do incremento encontrado antes da reação, para todos os tipos de copa. O autor salienta ainda que esse fato é o resultado de algum tratamento efetuado à floresta, atribuído à abertura das copas, proporcionada pelo

corte seletivo, o qual melhorou significativamente as condições de crescimento, dando por resultado maior incremento em diâmetro.

Para a comparação das taxas de incremento entre os tratamentos utilizou-se o incremento periódico anual em diâmetro percentual (IPAd%). Após a transformação de *Box-Cox* acusar um valor de lambda com o zero contido dentro do intervalo de confiança para ambos os períodos de análise, assumiu-se, assim, a transformação logarítmica como a melhor a ser empregada para cumprir com os pressupostos da análise de variância, conforme descrito por Box Cox (1964) e Schneider et al. (2009). Logo, pelo teste de Tukey-Kramer verificou-se diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade para o crescimento médio em diâmetro percentual da *Araucaria angustifolia*, tanto para o período 1 ($F=14,82$; $\text{Prob}>F<0,0001$), como também para o período 2 ($F=26,39$; $\text{Prob}>F<0,0001$), sendo que o tratamento sem intervenção de manejo (T0) apresentou as menores taxas. Esse resultado indica que o crescimento da araucária foi influenciado positivamente em decorrência das intervenções de manejo realizadas, independente da intensidade dos cortes seletivos.

2.3.2.3 Crescimento das espécies folhosas de valor comercial

A redução da densidade de espécies folhosas de alta densidade absoluta e sem valor comercial, como sendo uma alternativa de condução da floresta a uma estrutura produtiva no futuro, deve também favorecer o crescimento e desenvolvimento de espécies folhosas com valor comercial na floresta, tornando a mesma com uma estrutura altamente produtiva e independente da araucária como única fonte madeireira. Sendo assim, as mudanças ocorridas em relação à ocasião anterior aos cortes seletivos (2001) e após a realização dos mesmos, para as variáveis de densidade absoluta, diâmetro médio, altura média e área basal referente ao grupo de espécies folhosas de valor comercial em cada tratamento de manejo aplicado na floresta, estão descritas na Tabela 2.15.

Verificou-se que em ambos os tratamentos que receberam intervenções de manejo e para a área sem intervenção, o número de indivíduos de espécies folhosas de valor comercial foi maior em relação à ocasião anterior aos cortes seletivos (2001). Os maiores aportes de novos indivíduos deram-se para os tratamentos T1 e T2, respectivamente. Contudo, em ambos os níveis de intervenção, treze anos após a realização de cortes seletivos, constatou-se queda na entrada de novos indivíduos de valor comercial, indicando que melhores resultados são obtidos em curto prazo (até 8 anos após as intervenções) quando se deseja aumento de espécies de valor comercial na floresta.

Tabela 2.15 – Densidade absoluta, diâmetro médio, altura média e área basal para o grupo de espécie de folhosas de valor comercial em cada ocasião de medição e em tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	Variável	Ocasão de monitoramento			
		2001	2006	2010	2015
T0 Testemunha	Nº ind.ha ⁻¹	21	27	27	27
	DAP médio (cm)	26,6	25,9	27,0	28,5
	h média (m)	17,0	16,2	16,4	16,7
	G (m ² .ha ⁻¹)	1,41	1,88	2,02	2,22
T1 Corte seletivo leve	Nº ind.ha ⁻¹	42	53	62	61
	DAP médio (cm)	31,5	29,1	28,1	30,1
	h média (m)	17,4	16,1	15,6	16,0
	G (m ² .ha ⁻¹)	4,23	4,82	5,36	5,76
T2 Corte seletivo moderado	Nº ind.ha ⁻¹	32	39	49	46
	DAP médio (cm)	21,6	21,7	21,0	23,3
	h média (m)	15,2	15,1	14,1	15,3
	G (m ² .ha ⁻¹)	1,40	1,74	2,06	2,31

Em que: h = altura total; G = área basal; 2001 = 1 ano antes da intervenção de manejo; 2006, 2010, 2015 = 4, 8 e 13 anos após a intervenção de manejo.

Fonte: O autor.

O elevado número de indivíduos recrutados até o período de oito anos após os cortes seletivos proporcionou o decréscimo nas variáveis dendrométricas altura média e diâmetro médio com o passar do tempo, uma vez que maior foi o número de indivíduos de pequenas dimensões que entrou no estoque de crescimento. Contudo, 13 anos após as intervenções de manejo, as espécies de folhosas de valor comercial já apresentaram acréscimo na média dessas variáveis dendrométricas, decorrente, principalmente, do crescimento dos indivíduos recrutados até oito anos após os cortes seletivos. Apesar dos baixos valores observados de área basal no período avaliado, espera-se um considerado acréscimo nessa variável no futuro, devido, principalmente, ao maior número de indivíduos de espécies folhosas que compõem a floresta após a aplicação dos tratamentos.

A análise do incremento periódico anual em diâmetro das espécies folhosas de valor comercial, entre os tratamentos de manejo e entre os diferentes períodos de monitoramento da floresta, demonstrou que para os tratamentos que receberam cortes seletivos (T1 e T2) as taxas de incremento apresentam valores absolutos superiores a área sem intervenção de manejo (T0) em ambos os períodos de análise (Tabela 2.16). Essa constatação revela que os tratamentos aplicados na floresta contribuíram para um aumento da taxa de crescimento da

vegetação remanescente.

Tabela 2.16 – Incremento periódico anual em diâmetro para o grupo das espécies folhosas de valor comercial por tratamento de manejo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	Variável	Período de Monitoramento	
		1 (2006-2010)	2 (2010-2015)
T0 Testemunha	N	27	26
	IPAd (cm)	0,29	0,31
	IPAd%	1,33	1,34
T1 Corte seletivo leve	N	52	60
	IPAd (cm)	0,47	0,47
	IPAd%	2,41	2,48
T2 Corte seletivo moderado	N	38	45
	IPAd (cm)	0,46	0,43
	IPAd%	2,90	2,61

Em que: N = número de observações; IPAd = incremento periódico anual médio em diâmetro; IPAd% = incremento periódico anual médio em diâmetro percentual; (2006-2010) = período entre quatro e oito anos após os cortes seletivos; (2010-2015) = período entre oito e treze anos após os cortes seletivos.

Fonte: O autor.

Para a comparação das taxas de incremento das espécies folhosas de valor comercial entre os tratamentos, utilizou-se o incremento periódico anual em diâmetro percentual (IPAd%). Devido à existência de heterogeneidade e não normalidade dos dados, após a transformação de *Box-Cox* acusar um valor de lambda com o zero contido dentro do intervalo de confiança em ambos períodos de análise, assumiu-se, assim, a transformação logarítmica como a melhor a ser empregada para cumprir com os pressupostos da análise de variância. A análise de variância mostrou não haver diferenças significativas para a variável lnIPAd% entre os tratamentos de manejo, tanto para o período 1 ($F=1,53$; $\text{Prob}>F=0,22$), como para o período 2 ($F=1,87$; $\text{Prob}>F=0,16$).

2.3.3 DETERMINAÇÃO DO TEMPO ENTRE INTERVENÇÕES DE MANEJO

A determinação do tempo entre intervenções de manejo visando à condução da floresta com araucária em estudo para uma estrutura produtiva no futuro é de suma importância para a eficácia do manejo realizado como forma de permitir que a floresta recupere o volume extraído antes de uma nova intervenção (resiliência). Sendo assim, primeiramente foi determinado o incremento periódico anual em volume absoluto e relativo

para cada uma das intensidades de corte e para os grupos de espécies de valor comercial (Tabela 2.17).

Tabela 2.17 – Incremento periódico anual em volume absoluto e relativo para cada intensidade de corte aplicada na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	Vc 2006 (m ³ .ha ⁻¹)	Vc 2010 (m ³ .ha ⁻¹)	Vc 2015 (m ³ .ha ⁻¹)	IPAv (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	IPAv%
T1 – Corte seletivo leve					
Floresta	132,05	146,78	165,21	3,68	2,79
<i>Araucaria angustifolia</i>	23,25	25,90	31,13	0,87	3,76
Folhosas de valor comercial	27,88	31,24	35,65	0,86	3,10
T2 – Corte seletivo moderado					
Floresta	119,22	129,75	143,90	2,74	2,30
<i>Araucaria angustifolia</i>	27,45	30,20	33,64	0,69	2,50
Folhosas de valor comercial	10,13	11,96	14,47	0,48	4,76

Em que: Vc 2006= volume comercial com casca quatro anos após as intervenções; Vc 2010= volume comercial com casca oito anos após as intervenções; Vc 2015= volume comercial com casca treze anos após as intervenções; IPAv = incremento periódico anual em volume entre os inventários de 2006 e 2015; IPAv% = incremento periódico anual em volume percentual entre os inventários de 2006 e 2015.

Fonte: O autor.

Analisando-se os valores obtidos para o incremento periódico anual em volume percentual (IPAv%) para toda a floresta e somente para os grupos de espécies de valor comercial (*Araucaria angustifolia* e folhosas de valor comercial), verificou-se as maiores taxas quando são considerados as espécies comerciais em separado para ambos os níveis de intervenções realizados na floresta. O tratamento com corte seletivo leve proporcionou um IPAv% de 2,79% a.a, enquanto o tratamento com corte seletivo moderado o IPAv% foi de 2,30% a.a para a floresta em geral. As menores taxas de crescimento da floresta foram verificadas no tratamento com maior nível de intervenção (T2) e pode estar atribuído à dificuldade de recuperação da floresta, uma vez que, para Braz (2010), extrações elevadas podem causar um dano substancial ao povoamento reduzindo, assim, sua capacidade produtiva.

Sendo assim, considerando-se o pressuposto de que os crescimentos anuais volumétricos da floresta se acumulam de forma similar a lei de juros compostos, sendo o incremento o “juro” do estoque de crescimento e o ciclo de corte o tempo de acumulação desse juro, foi possível determinar o tempo necessário para a recuperação do estoque comercial inicial (ciclo de corte) para cada intensidade de corte seletivo aplicado na floresta

com araucária em estudo (Tabela 2.18). Para o cálculo, considerou-se o incremento periódico anual relativo para toda a floresta obtido em cada tratamento de manejo.

Tabela 2.18 – Tempo entre intervenções de manejo para cada intensidade de corte aplicada na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Tratamento	V_o (m ³ .ha ⁻¹)	V_{rem} (m ³ .ha ⁻¹)	Corte (m ³ .ha ⁻¹)	IC %	cc (anos)
T1 – Corte seletivo leve	147,55	111,76	35,79	24,26	10,1
T2 – Corte seletivo moderado	166,13	104,52	61,62	37,09	20,4

Em que: V_o=volume comercial com casca inicial existente antes da exploração; V_{rem}=volume comercial com casca remanescente logo após as explorações; IC=intensidade de corte; cc=ciclo de corte.

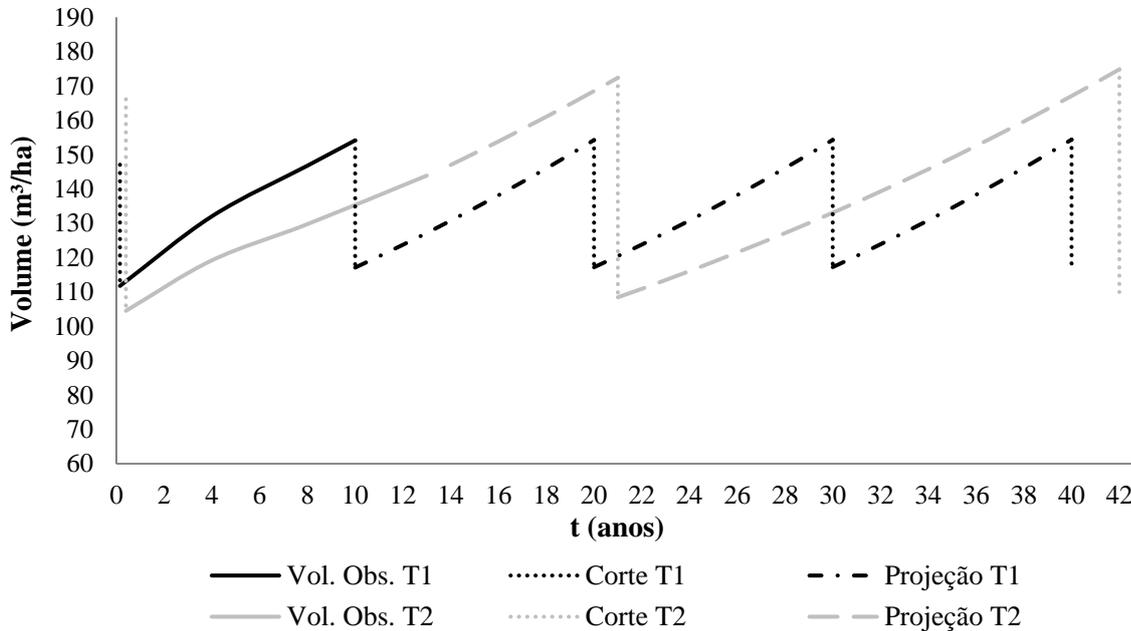
Fonte: O autor.

O tratamento com corte seletivo leve obteve uma redução em relação ao volume comercial de 24% (35,79 m³.ha⁻¹), resultando em um tempo de recuperação desse volume comercial de cerca de 10 anos. Da mesma forma, o tratamento com corte seletivo moderado apresentou uma redução de 37% em seu volume comercial, ou seja, extração de 61,62 m³.ha⁻¹, o que irá necessitar um tempo de 20-21 anos para a total recuperação do estoque em volume comercial inicial.

Considerando-se um período de duas vezes o ciclo de corte de maior tempo (\approx 21 anos), foi, então, projetado para um horizonte de planejamento de 42 anos, os cortes e o crescimento do estoque em volume comercial da floresta remanescente no decorrer do tempo, de acordo com cada intensidade e ciclo de corte determinado (Figura 2.5). As linhas pontilhadas na vertical indicam a ocasião e o volume a ser extraído. Já as linhas tracejadas demonstram a recuperação do volume no decorrer do ciclo de corte.

Para o período de projeção realizado (42 anos), é possível a realização de quatro intervenções para o tratamento com corte seletivo leve e de duas intervenções para o tratamento com corte seletivo moderado. Considerando-se a finalidade principal do manejo, nesse primeiro momento, como sendo de condução da floresta a uma estrutura balanceada e produtiva, o tratamento com corte seletivo leve, com ciclo de cortes em menor espaço de tempo, possui a vantagem de se obter um maior controle e manipulação da floresta com os cortes sucessivos, conduzindo-se a composição de espécies de interesse na busca de uma produção sustentada de madeira no futuro, sem comprometer a capacidade de recuperação do recurso florestal.

Figura 2.5 – Projeção do tempo entre intervenções de manejo em um horizonte de planejamento de 42 anos para cada intensidade de corte seletivo aplicado na floresta com araucária da Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



Em que: T0 = testemunha; T1 = corte seletivo leve; T2 = corte seletivo moderado.

Fonte: O autor.

Diante dessas projeções, após a floresta apresentar uma estrutura adequada, tendo a *Araucaria angustifolia* alta densidade e dominância na floresta, o planejamento deve ser voltado para a produção e aproveitamento dessa espécie, mediante um modelo de uso do recurso natural capaz de aliar conservação da biodiversidade e produção contínua de madeira. Para tanto, um modelo proposto de uso sustentável da floresta com araucária está demonstrado no Capítulo IV da presente tese.

2.4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo, treze anos após a aplicação de diferentes níveis de redução de indivíduos de espécies folhosas de alta densidade absoluta, permitem concluir que intervenções periódicas em intervalos de 10 anos com redução de 20-30% da área basal total por classe de DAP, além de recuperar totalmente o volume de madeira extraído, apresentam maior efetividade para a condução da floresta a uma estrutura produtiva no futuro, pois o controle sobre a vegetação (manutenção espécies desejáveis) é facilitada em ciclos de cortes menos dilatados.

Com a aplicação desse plano de ordenamento da condução da floresta pode-se concluir que a redução de espécies de folhosas de alta densidade proporcionou:

a) Elevar a diversidade de espécies na floresta, avaliada pelos índices de diversidade, melhorando, assim, a composição de espécies;

b) elevar o número de ingressos de *Araucaria angustifolia* e de folhosas de valor comercial. Porém no tratamento sem intervenção de manejo não houve o surgimento de novos indivíduos de araucária, inclusive com tendência de ser substituída por espécies folhosas;

c) aumentar as taxas de crescimento das espécies folhosas de valor comercial e principalmente da *Araucaria angustifolia* em relação ao tratamento sem intervenção de manejo;

d) obter uma boa recuperação da estrutura diamétrica da floresta, com a garantia de manutenção do número de indivíduos inicial e do estoque comercial inicial (anterior aos cortes).

RECOMENDAÇÕES:

Recomenda-se uma profunda revisão e conseqüente alteração na legislação florestal que restringe o manejo florestal sustentável nos domínios da Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucária) no Sul do Brasil. A legislação, da forma como se encontra atualmente, além de desestimular os proprietários rurais a preservar suas florestas por força de vontade, não garante a perpetuidade da *Araucaria angustifolia* na floresta, como demonstrado nos resultados encontrados no presente estudo.

REFERÊNCIAS

- ALVARES C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- APG III. The Angiosperm Phylogeny Group III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of higher plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, n. 2, p.105-121, 2009.
- BECKERT, S. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014.
- BORSOI, G. A. **Subsídios para o manejo de uma Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração natural**. 2004. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Inventário Florestal Nacional: Florestas Nativas do Rio Grande do Sul**. Brasília: Edit. Gráfica Brasileira Ltda., FATEC, 1983. 345p.
- BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais da Amazônia**. 2010. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- CALLEGARO, R. M.; LONGHI, S. J. Grupos florísticos em uma Floresta Ombrófila Mista, Nova Prata, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 641-647, 2013.
- CHAMI, L. B. et al. Mecanismos de regeneração natural em diferentes ambientes de remanescente de Floresta Ombrófila Mista, São Francisco de Paula, RS. **Ciência Rural**, v. 41, n.2, p. 251-259, 2011.
- CHASSOT, T. et al. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, v. 21, n.2, p. 303-313, 2011.
- CIENTEC. Consultoria e Desenvolvimento de Sistemas. **Software Mata Nativa 2: Sistema para Análise Fitossociológica, Elaboração de Inventários e Planos de Manejo de Florestas Nativas**. Viçosa - MG: Cientec, 2006.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta ineqüânea. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 239-245, 2015.
- DALLA LANA, M. et al. Prognose da Estrutura Diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 71-78, 2015.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo-PR**. 1999. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

EBLING, A. A. et al. Acuracidade da distribuição diamétrica entre métodos de projeção em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, v. 42, n. 6, p. 1020-1026, 2012.

EBLING, A. A. et al. Alterações florísticas e estruturais em floresta com araucária no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 1, p. 1-27, 2014.

EBLING, A. A.; PÉLLICO NETTO, S. Modelagem de ocorrência de coortes na estrutura diamétrica da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 251-257, 2015.

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

GUERRA, M. P. et al. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: Ed. SENAC São Paulo, 2002. p. 85-102.

HACK, C. **Respostas da vegetação remanescente e da regeneração natural em Floresta Ombrófila Mista cinco anos após intervenções de manejo**. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

HERMANN, M. L. P.; ROSA, R. O. Relevô. In: IBGE. **Geografia do Brasil - Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 55-111.

HERRERA, H. A. R. et al. Análise florística e fitossociológica do componente arbóreo da Floresta Ombrófila Mista presente na reserva florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC – Brasil. **Floresta**, v. 39, n. 3, p. 485-500, 2009.

HESS, A. F. et al. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010.

HESS, A. F. Manejo de *Araucaria angustifolia* pelo quociente de Liocourt em propriedade rural no Município de Painel, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 227-232, 2012.

HIGUCHI, P. et al. Floristic composition and phytogeography of the tree component of *Araucaria* Forest fragments in southern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 35, n. 2, p. 145-157, 2012.

HUTCHESON, K. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. **Journal of Theoretical Biology**, v. 29, n. 1, p. 151-154, 1970.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p. (Manuais Técnicos em Geociências, 1).

KANIESKI, M. R.; ARAUJO, A. C. B.; LONGHI, S. J. Quantificação da diversidade em Floresta Ombrófila Mista por meio de diferentes Índices Alfa. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 88, p. 567-577, 2010.

LAMPRECHT, H. Ensayo sobre la estructura florística de la parte sur - oriental del bosque universitario “El Caimital”, Estado Barinas. **Revista Forestal Venezolana**, v. 7, n. 10-11, p. 77-119, 1964.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Alemanha: Ed. GTZ. Rossdorf, 1990. 343p.

LINGNER, D. V. et al. Caracterização da estrutura e da dinâmica de um remanescente de Floresta com Araucária no Planalto Catarinense. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 55, p. 55-66, 2007.

LONGHI, R. V. **Manejo experimental de uma Floresta Ombrófila Mista secundária no Rio Grande do Sul**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no sul do Brasil**. 1980. 198f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

MOGNON, F. et al. Uma década de dinâmica florística e fitossociológica em Floresta Ombrófila Mista Montana no Sul do Paraná. **Revista de estudos ambientais**, v.14, n.1, p. 43-59, 2012.

MOSCOVICH, F. A. **Estudo da dinâmica de crescimento em uma Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS**. 2006. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 574p.

MÜLLER, A. L. et al. Crescimento e acúmulo de biomassa em Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 221-231, 2014.

NOGUEIRA, A. C. **Reação do crescimento radial da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em florestas naturais que sofreram corte seletivo**. 1989. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

OGDEN, J.; STEWART, G. H. Community dynamics of the New Zealand conifers. In: ENRIGHT, N.; HILL, R. S. **Ecology of the Southern Conifers**. Smithsonian Institution Press, Washington, 1995, p. 81-119.

ORELLANA, H. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de floresta de araucária**. 2014. 154 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PALUDO, G. F. et al. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de

Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) em Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1109-1121, 2009.

PIELOU, E. C. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. **Journal Theoretical Biology**, Ottawa, v. 10, n. 2, p. 370-383, 1966.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto Madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, Itajaí, n. 34-35, p. 1-525, 1983.

RIBEIRO, T. M. et al. Fitossociologia de uma Floresta Secundária com *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze na Estação Ecológica de Bananal, Bananal-SP. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p. 159-172, 2013.

RODE, R. et al. Grupos florísticos e espécies discriminantes em povoamento de *Araucaria angustifolia* e uma Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 319-327, 2011.

ROSSOT, M. A. D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da Floresta com Araucária? **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.55, p.75-85, 2007.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; EISFELD, R. L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 101-112, 2003.

SCHAAF, L. B. et al. Alteração na estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista no período entre 1979-2000. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 283-295, 2006.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2. Ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. Ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 2009. 236p.

SHANNON, C. E. A. Mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, Murray Hill, v.27, p.379-423, 1948.

SILVA, J. N. M. **The behaviour of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging**. 1989. 302 p. Thesis (PhD) - University of Oxford, Oxford. 1989.

SONEGO, R. C.; BACKES, A.; SOUZA, A. F. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. **Acta Botanica Brasilica**, v.21, n.4, p. 943-955, 2007.

SOUZA, A. F. Ecological interpretation of multiple population size structures in trees: The case of *Araucaria angustifolia* in South America. **Austral Ecology**, v. 32, n. 5, p. 524-533, 2007.

SOUZA, A. F. et al. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v. 34, n. 2, p. 221-232, 2008.

STEPKA, T. F. et al. Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista com os métodos razão de movimentos e matriz de transição. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 327-335, 2010.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M. V. N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 71-80, 2009.

VIBRANS, A. C. et al. Structure of mixed ombrophyllous forests with *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) under external stress in Southern Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, v.59, n.3, p. 1371-1387, 2011.

CAPÍTULO III – PROJEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA EM UMA FLORESTA COM ARAUCÁRIA EXPLORADA SELETIVAMENTE NO SUL DO BRASIL

RESUMO

O manejo da floresta com araucária, para ser fundamentado, deve fornecer uma previsão confiável do tempo de recuperação de seu estoque, sendo os métodos de projeções em classes diamétricas muito utilizados para tal finalidade. O presente estudo teve como objetivo avaliar a acuracidade das projeções das frequências por classe de diâmetro em uma floresta com araucária após exploração seletiva de madeira, sendo testados os métodos da Matriz de Transição e Razão de Movimentação, aplicados em duas amplitudes de classes diamétricas (5 e 10 cm). Os dados utilizados no presente estudo são oriundos de duas parcelas permanentes de 50 x 100 m que passaram por corte seletivo de intensidade leve (redução de 20-30% da área basal) no ano de 2002 e foram monitoradas nos anos de 2006, 2010 e 2015, aos quatro, oito e treze anos após as intervenções de manejo, respectivamente. A eficiência das projeções de frequência por classe diamétrica foi verificada comparando-se os valores projetados e observados, adotando-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 95% de probabilidade. Os métodos de projeções se mostraram eficientes para descrever a estrutura futura da floresta após os cortes seletivos para ambas as amplitudes de classes diamétricas testadas, sendo que o método da Razão de Movimentação com amplitude diamétrica de 10 cm apresentou as projeções mais acuradas se comparada com as descritas pela Matriz de Transição. Por meio desse método foi possível projetar as produções por classe de diâmetro da floresta em estudo, a qual demonstrou potencial futuro para a execução de um plano de manejo com bases sustentáveis.

Palavras-chave: Matriz de Transição. Razão de Movimentação. Floresta Ombrófila Mista.

3.1 INTRODUÇÃO

Nas florestas nativas dominadas pela *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, tipologia florestal conhecida como Floresta Ombrófila Mista (FOM), de grande ocorrência na região Sul do Brasil, atualmente possui seu manejo restritivo para proteger os últimos remanescentes que restaram da exploração desordenada do passado. Contudo, segundo Nutto (2001) a restrição no uso de um recurso natural raramente é aceita pela população quando existe a necessidade de seu uso como matéria prima ou como fonte de rendimento, sendo que a proteção via proibição, significa uma desvalorização do bem que, em muitos casos, tem como consequência a perda de interesse em sua conservação. Logo, para que a Floresta Ombrófila Mista seja efetivamente preservada, não basta apenas o enrijecimento das leis ambientais, sendo necessária a elaboração de alternativas de manejo que permitam conservar e utilizar racionalmente esses recursos.

O manejo florestal só estará fundamentado se contiver uma previsão de quanto do volume que foi extraído poderá ser recuperado pela floresta no período definido pelo ciclo de corte (BRAZ et al., 2012). Para definir o ciclo de corte de uma floresta natural, ou mesmo para prescrições adequadas de tratamentos silviculturais, ou indicar se a floresta está respondendo ou não aos tratamentos silviculturais, Teixeira et al. (2007) citam o entendimento do comportamento das taxas de crescimento, recrutamento e mortalidade, em condições naturais ou sob manejo, como informações importantes para definir quanto tempo uma espécie ou um grupo de espécies demora em atingir uma determinada dimensão. Essa capacidade de recuperação da floresta pode ser estimada mediante modelos de crescimento e produção florestal.

Segundo Daniel e Burkhart (1988), os modelos de crescimento podem ser divididos em três categorias: modelos de povoamento total, modelos de distribuição por classe de tamanho e modelos de árvores individuais. Os modelos de distribuição diamétrica são os mais comuns e baseados em funções probabilísticas de distribuição, permitindo descrever as alterações na estrutura do povoamento ao longo do tempo (AUSTRAGÉSILO et al., 2004). Dentre esses, os modelos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação têm trazido informações suficientes para o manejo de florestas naturais inequidâneas, sem a complexidade ligada aos modelos de árvores individuais e, ao contrário dos modelos clássicos usados em florestas plantadas, não se apoia em variáveis de difícil acesso como idade e índice de sítio.

O modelo da Razão de Movimentação é baseado na teoria de projeção das tabelas de povoamento aplicado às florestas naturais, em que o incremento diamétrico médio é a variável

mais usual para gerar as estimativas (EBLING et al., 2012). Nesse modelo, assume-se que as árvores estão distribuídas uniformemente no interior das classes e que cada árvore cresce a uma taxa média (SCOLFORO et al., 1998).

A Matriz de Transição, também denominada de Cadeia de Markov ou Matriz de Usher (VANCLAY, 1994), pode ser considerada um processo estocástico, assumindo que uma árvore possui uma determinada probabilidade de permanecer ou migrar para outras classes de diâmetro, dependendo apenas de seu estado atual, não sofrendo efeitos do desenvolvimento passado da floresta, sendo essa característica definida como Propriedade Markoviana (SCHNEIDER; FINGER, 2000). Segundo os mesmos autores, o método de Matriz de Transição traz melhores resultados se o povoamento for mantido em condições semelhantes, isto é, povoamento sem manejo, próximo ao clímax, ou povoamentos regulares manejados para uma área basal específica. Nesse último caso, se as condições do povoamento futuro apresentarem grande diferença em relação às condições em que os dados foram coletados, as prognoses podem ser irreais.

No domínio da Floresta Ombrófila Mista, alguns estudos sobre prognoses da estrutura diamétrica da floresta já foram realizados utilizando-se metodologia por meio da Matriz de Transição e da Razão de Movimentação, onde foram observados boa acuracidade e eficiência desses métodos nas prognoses realizadas, podendo-se citar os trabalhos de Stepka et al. (2010), Ebling et al. (2012), Ebling et al. (2013) e Dalla Lana et al. (2015), todos eles em floresta sem histórico recente de exploração. Contudo, em FOM submetida à exploração seletiva de madeira, esses métodos ainda não foram avaliados quanto a sua capacidade de estimar, de forma confiável, a produção futura na floresta sob manejo.

Diante do exposto, o objetivo geral do presente capítulo foi avaliar a eficiência do uso dos métodos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação na projeção da distribuição diamétrica em uma Floresta Ombrófila Mista após corte seletivo de intensidade leve na região nordeste do Rio Grande do Sul.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 ÁREA DE ESTUDO E OBTENÇÃO DOS DADOS

A presente pesquisa foi realizada na Fazenda Tupi, pertencente à empresa Paludo Agropecuária S.A., localizada no município de Nova Prata, RS, entre as coordenadas 28°40' e 28°43'S e 51°38'e 51°36'W. A área total da propriedade é de 962 ha, sendo 784 ha ocupados

com Floresta Ombrófila Mista em estágios médio e avançado de desenvolvimento.

O relevo predominante na região é ondulado, onde ocorrem solos do tipo Nitossolos e Neossolos (STRECK et al., 2008). O clima da região de estudo, de acordo com a classificação climática de Köppen é do tipo Cfa - Subtropical úmido com verão quente, com temperatura média anual entre 16-18 °C e chuvas distribuídas em todos os meses do ano, com precipitação anual em torno de 1900 mm (ALVARES et al., 2013).

A área amostral do presente estudo é a mesma relatada no Capítulo II, a saber: área de manejo experimental em Floresta Ombrófila Mista com a finalidade de testar diferentes intensidades de cortes seletivos em unidades de 0,5 ha, sendo as intervenções realizadas no ano de 2002 em estudo conduzido por Borsoi (2004) e consistiram em reduzir em diferentes níveis percentuais (20%, 30%, 40%, 50% e 60%) de área basal a curva de distribuição de frequência por classe de DAP. Para o presente estudo, os tratamentos foram readequados buscando-se uma maior área amostral. Assim, cada tratamento possui duas unidades amostrais, identificados da seguinte forma: T1 – corte seletivo leve: redução da curva de distribuição de frequência, com a retirada de cerca de 20-30% do total da área basal por classe de DAP; T2 – corte seletivo moderado: redução da curva de distribuição de frequência, com a retirada de 40-50% do total da área basal por classe de DAP. Vale salientar que na ocasião das intervenções de manejo não foram realizados cortes da *Araucaria angustifolia*, devido sua condição de proibição ao corte, sendo dada preferência à indivíduos defeituosos e para as espécies de maior densidade absoluta.

Devido aos resultados encontrados no Capítulo II, em que o tratamento com corte seletivo leve (T1) demonstrou os melhores resultados quanto à recuperação da floresta e crescimento da vegetação remanescente, considerou-se esse nível de intervenção como o mais indicado para o manejo da floresta com araucária no sul do Brasil. Dessa forma, para a realização das projeções após exploração no presente capítulo, foram tomados dados apenas desse tratamento de manejo, assumindo-se como modelo para ser seguido.

A área amostral do tratamento com corte seletivo leve (T1) possui 1,0 ha, sendo constituído por duas unidades de 50x100m cada. A obtenção dos dados utilizados foi proveniente de três ocasiões de medição do experimento, ou seja, três inventários de monitoramento da floresta realizados nos anos de 2006, 2010 e 2015, correspondendo ao tempo de quatro, oito e treze anos após a aplicação dos cortes seletivos, respectivamente. Nessas ocasiões, todas as árvores com circunferência à altura do peito (CAP) $\geq 31,4$ cm (DAP $\geq 10,0$ cm) presentes em cada unidade foram remedidas, além de monitoradas quanto aos processos dinâmicos de mortalidade e ingresso de novos indivíduos nas unidades.

3.2.2 MÉTODOS DE PROJEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Para a realização da projeção da distribuição diamétrica para a floresta com araucária submetida à corte seletivo leve, foram considerados e comparados os resultados de dois métodos de projeção: 1) Matriz de Transição (Cadeia de Markov); 2) Razão de Movimentação.

A Matriz de Transição foi construída com base na enumeração da migração ou permanência dos indivíduos em suas respectivas classes diamétricas, assim como o número de recrutamentos e mortalidades dentro de cada classe. Segundo Arce et al. (1997), a Matriz de Transição considera as frequências diamétricas no ano de início da simulação na forma de vetor, que multiplicado por uma matriz de probabilidades de transição entre classes diamétricas permite obter as frequências diamétricas do ano final. O recrutamento é considerado como um vetor que é adicionado ao produto vetor-matriz descrito e a mortalidade pode ser considerada de duas maneiras: como um vetor subtração; ou incluída na matriz na última linha ou coluna.

Em álgebra de matrizes, o processo de simulação para 1 período ($t \rightarrow t+1$) pode ser resumido pela seguinte equação:

$$Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it}$$

Em que: $Y_{t+\Delta t}$ = número de árvores projetadas; G = matriz de probabilidade de transição por classe diamétrica; Y_{it} = frequência da classe de diâmetro; I_{it} = recrutamento.

A forma matricial da expressão anterior, com a mortalidade incluída na última linha da Matriz de Transição, pode ser descrita da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} Y_{1t + \Delta t} \\ Y_{2t + \Delta t} \\ Y_{3t + \Delta t} \\ Y_{4t + \Delta t} \\ \vdots \\ Y_{nt + \Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & \cdots & m_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \\ Y_{3t} \\ \vdots \\ Y_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{1t} \\ I_{2t} \\ I_{3t} \\ I_{3t} \\ \vdots \\ I_{nt} \end{bmatrix}$$

Em que: $Y_{t+\Delta t}$, G , Y_{it} , I_{it} = já definidos anteriormente; a_i , b_i , c_i = São as probabilidades de uma árvore viva permanecer na mesma classe diamétrica (a_i), mudar para a classe diamétrica subsequente (b_i), ou ainda mudar duas classes (c_i); m_i = probabilidade de uma árvore viva vir a morrer no período considerado.

As probabilidades a_i , b_i , c_i e m_i foram obtidas da seguinte forma:

$$a_1 = \frac{\text{Número de árvores vivas que permaneceram na } I\text{-ésima classe diamétrica no período de tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}{\text{Número de árvores existentes na } I\text{-ésima classe diamétrica no tempo } t_1}$$

$$b_1 = \frac{\text{Número de árvores vivas que migraram da } I\text{-ésima classe diamétrica para a } I\text{-ésima classe diamétrica } + 1 \text{ no período de tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}{\text{Número de árvores existentes na } I\text{-ésima classe diamétrica no tempo } t_1}$$

$$c_1 = \frac{\text{Número de árvores vivas que migraram da } I\text{-ésima classe diamétrica para a } I\text{-ésima classe diamétrica } + 2 \text{ no período de tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}{\text{Número de árvores existentes na } I\text{-ésima classe diamétrica no tempo } t_1}$$

$$m_1 = \frac{\text{Número de árvores mortas na } I\text{-ésima classe diamétrica no intervalo de tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}{\text{Número de árvores existentes na } I\text{-ésima classe diamétrica no tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}$$

Em que: t_1 = início do período de crescimento considerado (2006); t_2 = fim do período de crescimento considerado (2010); Δt = intervalo de tempo entre o início e o fim do período de crescimento considerado ($t_2 - t_1$).

Para a projeção pelo método de Razão de Movimentação na área explorada seletivamente, primeiramente foi identificado o incremento periódico anual em diâmetro (IPAd), em centímetros, por classe de DAP, para assim, utilizar o método do incremento diamétrico médio na projeção do povoamento, reconhecendo a dispersão dentro da classe de diâmetro, conforme apresentado por Scolforo et al. (1998). Este método pode ser utilizado mesmo quando a distribuição dos diâmetros não é conhecida na classe de diâmetro, assumindo-se que esta é uniforme. Dentro desta suposição a proporção de árvores que avançaram de uma classe diamétrica para outra é chamada de razão de movimento e é dada pela expressão:

$$RMov_j = \left(\frac{IPMd_j}{\Delta D} \right) \times 100$$

Em que: $RMov_j$ = razão de movimento da j -ésima classe de diâmetro; $IPMd_j$ = incremento periódico médio em diâmetro da j -ésima classe de diâmetro; e ΔD = amplitude de classe de diâmetro.

O incremento periódico médio, por classe diamétrica, foi obtido a partir da expressão:

$$IPMd_j = \frac{\sum_{i=1}^n (DAP_{2i} - DAP_{1i})}{n}$$

Em que: $IPMd_j$ = incremento periódico médio em diâmetro da j -ésima classe de diâmetro; DAP_{1i} = DAP da i -ésima árvore na 1ª medição; DAP_{2i} = DAP da i -ésima árvore na 2ª medição; n = número total de árvores em cada classe diamétrica.

Os valores da razão de movimento obtidos em cada classe de diâmetro indicam a porcentagem do total de árvores que migram para a próxima classe diamétrica. Já o seu valor decrescido de 100 indica a porcentagem do número total de indivíduos que permanecem na classe diamétrica original. Logo, as prognoses realizadas por esse método deu-se pelos seguintes passos: 1) relacionar o número de árvores por hectare e por classes de diâmetro para o tempo $t+1$; 2) definir o incremento periódico médio de cada classe diamétrica; 3) calcular a razão de movimento; 4) somar e subtrair, respectivamente, a taxa de recrutamento e mortalidade por classe de diâmetro.

Para ambos os métodos anteriormente descritos, as frequências por classe de diâmetro observadas nos anos de 2006 e 2010 (quatro e oito anos após as intervenções de manejo, respectivamente) permitiram realizar projeções da distribuição diamétrica para o ano de 2014 (doze anos após os cortes seletivos), considerando-se para tal duas amplitudes de classes de diâmetro (5 e 10 cm). As projeções realizadas foram, então, comparadas com a distribuição da frequência diamétrica real. Para obtenção da distribuição de frequência em cada classe de diâmetro no ano de 2014, uma vez que não houve monitoramento nessa ocasião, foram tomados os dados do ano de 2015 e, mediante o incremento periódico em diâmetro anual obtido entre os anos de 2010 e 2015, pôde-se determinar em qual classe diamétrica a árvore pertencia no ano de 2014, assumindo-se esta como sendo a distribuição diamétrica real.

3.2.3 AVALIAÇÃO DAS PROGNOSES

A projeção em curto prazo, ou seja, para o ano de 2014 (12 anos após as explorações) para cada amplitude de classe diamétrica analisada (5 e 10 cm), foi comparada com os dados reais (inventário atual) para verificar a acuracidade dessas projeções e confirmar a eficiência desse método em prognoses da distribuição diamétrica em floresta com araucária explorada seletivamente. Essa análise deu-se pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de 95% de probabilidade.

O teste de Kolmogorov-Smirnov compara a máxima diferença entre a frequência observada acumulada e a frequência estimada acumulada, dividida pelo número de observações (SCHNEIDER et al., 2009). Essa razão ($D_{calc.}$) é comparada com o valor da tabela de Kolmogorov-Smirnov, que ao nível de significância de 5% é dado por $D_{tab.} = 1,36/\sqrt{n}$, sendo n = número de observações. Se $D_{calc.} < D_{tab.}$ ($\alpha = 5\%$) aceita-se a hipótese de que a distribuição diamétrica prognosticada é aderente à distribuição observada (H_0), caso contrário

rejeita-se a hipótese e as distribuições prognosticadas não seguem as distribuições observadas (H_1).

Mediante análise gráfica da distribuição diamétrica das frequências observadas e estimadas, e com base no resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov, foi determinado a melhor metodologia empregada para projeção da floresta explorada seletivamente em estudo. Logo, a partir dessa metodologia foi realizada uma simulação da projeção futura em um período de 20 anos, com os dados obtidos nos anos de 2010 e 2015, consistindo em um intervalo de tempo de 13 a 33 anos após a realização dos cortes seletivos de intensidade leve.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

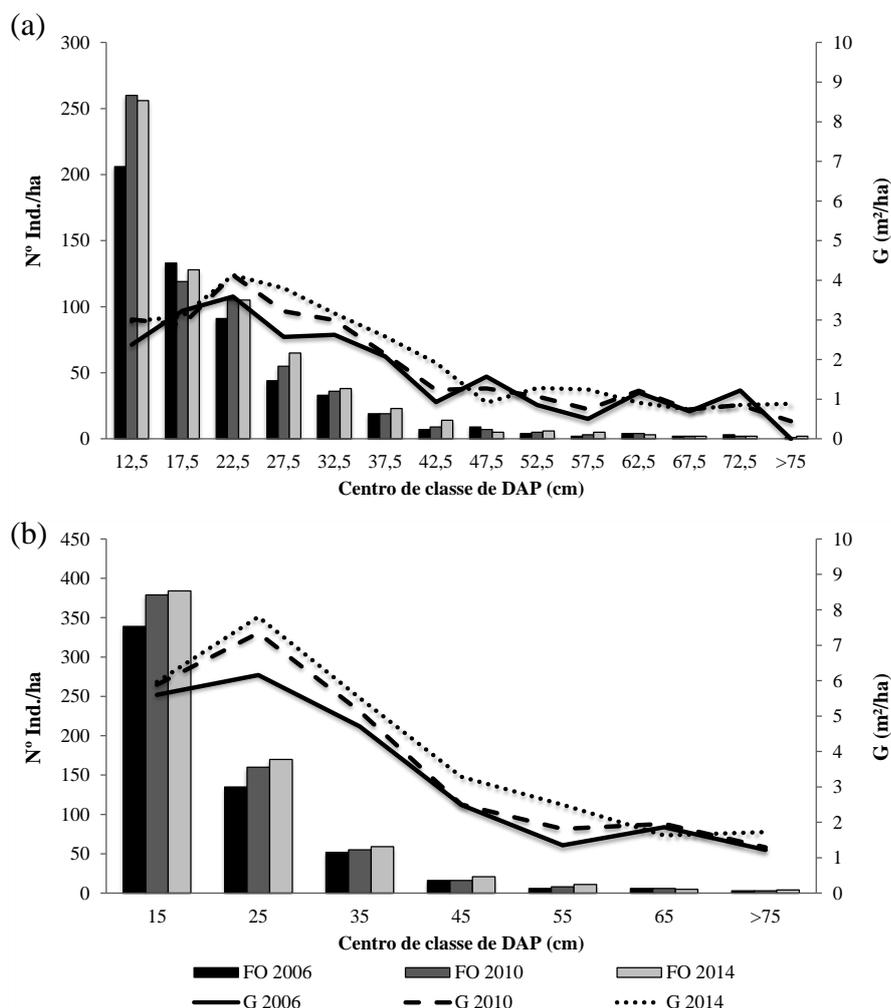
3.3.1 DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA OBSERVADA

A distribuição diamétrica do número de indivíduos e da área basal por hectare observada para as três ocasiões de medição após a exploração florestal de intensidade leve na floresta com araucária da Fazenda Tupi está sendo representada na Figura 3.1 para amplitude de classe de diâmetro de 5 e 10 cm. Nessa figura, as barras referem-se às frequências observadas do número de indivíduos por hectare e as linhas se relacionam com o eixo y secundário e representam a área basal por hectare por classe de diâmetro em cada ocasião.

Para ambas as amplitudes de classes de DAP e ocasiões de medição, verificou-se a distribuição em formato “J-invertido”, típica das florestas inequiânea heterogêneas, com alta concentração de indivíduos nas classes de menor diâmetro e redução acentuada no sentido das classes maiores, como descrito por Meyer (1952). Constatou-se assim, que os cortes seletivos aplicados no ano de 2002 não interferiram na forma da estrutura diamétrica da floresta, justificando a possibilidade do uso de modelos de projeção da estrutura diamétrica que dependem de seu estado atual, como os modelos de Matriz de Transição e de Razão de Movimentação, apesar de suas já conhecidas limitações de uso em florestas alteradas.

A distribuição diamétrica para as amplitudes de classes analisadas, demonstrou que para a amplitude de 10 cm, tanto o número de árvores como a área basal, apresentaram tendência de aumentar com o passar do tempo, mostrando claramente os sinais de recuperação da floresta após os cortes seletivos. Já para a amplitude de 5 cm esse comportamento não foi observado, podendo estar influenciado pela menor amplitude diamétrica, onde a dinâmica de crescimento entre as classes é mais intensa, com umas decrescendo com o passar do tempo e outras aumentando (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Distribuição diamétrica da densidade e área basal após aplicação do regime de manejo com corte seletivo leve para amplitudes de classes de DAP de 5 cm (a) e 10 cm (b). Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



Em que: FO = frequência observada; G = área basal; 2006, 2010 e 2014 = 4, 8 e 12 anos após a aplicação dos cortes seletivos.

Fonte: O autor.

No caso do presente estudo, o manejo realizado na floresta proporcionou maior taxa de recrutamento em relação à de mortalidade, com valores de 4,13% ($23 \text{ ind. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e 0,99% respectivamente, considerando o período entre quatro e oito anos após a realização dos cortes seletivos de intensidade leve na floresta com araucária de Nova Prata. Já entre os anos 2010 e 2014 (oito e doze anos após os cortes seletivos) a floresta já repôs grande parte do número de árvores que foram extraídas na ocasião da intervenção, apresentando um decréscimo para o recrutamento com taxa anual de 2,56% ($15,3 \text{ ind. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e se mantendo em 0,99% para a mortalidade, o que infere que a floresta continua se autorregenerando com taxas de ingresso superiores às de mortalidade. Vale salientar que o conhecimento do comportamento dessas

taxas ao longo do tempo após intervenções de manejo é de fundamental importância para projeções confiáveis da estrutura futura da floresta, uma vez que essas taxas podem apresentar grande variação no tempo conforme o tipo e grau da intervenção de manejo.

Em relação a densidade total de indivíduos, constatou-se 557 ind.ha⁻¹ no ano de 2006, 627 ind.ha⁻¹ no ano de 2010 e 654 ind.ha⁻¹ no ano de 2014, correspondendo a uma área basal de 23,4 m².ha⁻¹, 25,9 m².ha⁻¹ e 28,5 m².ha⁻¹ para as mesmas ocasiões de monitoramento, respectivamente. Esses valores correspondem a um incremento médio em área basal de 0,64 m².ha⁻¹.ano⁻¹ para o todo o período considerado.

3.3.2 PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

A matriz de probabilidade de transição elaborada para uma amplitude temporal de 4 anos (dados de 2006 e 2010) pode ser observada na Tabela 3.1 para o intervalo de classe de diâmetro de 5 cm e na Tabela 3.2 para o intervalo de classe de 10 cm de diâmetro, sendo apresentadas também as probabilidades de as árvores permanecerem na mesma classe diamétrica, probabilidades de as árvores avançarem uma ou duas classes e, ainda, a probabilidade de mortalidade em cada classe de DAP. Pode-se observar que em ambas as matrizes de probabilidades de transição geradas, na diagonal principal, algumas classes diamétricas apresentam a probabilidade de 100% de permanência, o que chamamos de estados adsorventes. Para efeitos de projeção, não é possível estimar a real probabilidade de transição de uma árvore dessa classe de diâmetro para a classe subsequente, uma vez que as prognoses das frequências nas classes diamétricas anteriores não ultrapassam a classe que apresenta estado adsorvente, ocorrendo, então, um contínuo acréscimo de árvores nessa classe à medida que mais prognoses forem efetuadas.

Tabela 3.1 – Matriz inicial de probabilidade de transição e mortalidade por classe de diâmetro com amplitude de 5 cm, para o período de 2006 a 2010, em uma floresta com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Centro de classe de DAP	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5	72,5	>75
12,5	0,809													
17,5	0,134	0,762												
22,5	0,005	0,192	0,761											
27,5		0,008	0,207	0,814										
32,5			0	0,186	0,848									
37,5				0	0,121	0,789								
42,5					0	0,105	1							
47,5						0	0	0,778						
52,5							0	0,111	1					
57,5								0,111	0	1				
62,5									0	0	1			
67,5										0	0	1		
72,5											0	0	0,667	
>75												0	0,333	1
Probabilidade De mortalidade	0,053	0,038	0,033	0	0,030	0,105	0	0	0	0	0	0	0	0

Em que:

- Probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de DAP;
- Probabilidade de árvores que avançaram para a classe de DAP seguinte;
- Probabilidade de árvores que avançaram duas classes de DAP;

Fonte: O autor.

Tabela 3.2 – Matriz inicial de probabilidade de transição e mortalidade por classe de diâmetro com amplitude de 10 cm, para o período de 2006 a 2010, em uma floresta com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Centro de Classe de DAP	15	25	35	45	55	65	>75
15	0,847						
25	0,106	0,919					
35		0,059	0,904				
45			0,038	0,875			
55				0,125	1		
65					0	1	
>75						0	1
Probabilidade de mortalidade	0,047	0,022	0,058	0	0	0	0

Em que:

- Probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de DAP;
- Probabilidade de árvores que avançaram para a classe de DAP seguinte.

Fonte: O autor.

Os estados adsorventes encontrados são uma desvantagem desse método, impedindo que o estado de equilíbrio da floresta seja detectado (PULZ et al., 1999), sendo encontrado geralmente nas classes de maior diâmetro e está atribuído, principalmente, ao crescimento reduzido das árvores nessas classes e ao menor número de indivíduos amostrados, comum em florestas naturais heterogêneas multiâneas, o que necessitaria uma grande área amostral para conseguir obter estimativas confiáveis. Além disso, a amplitude diamétrica e temporal utilizada para realizar as projeções podem influenciar na presença dos estados adsorventes, uma vez que, quanto maior a amplitude temporal e diamétrica, maiores são as chances de serem encontrados esses estados.

As prognoses realizadas pelo método de Razão de Movimentação estão apresentadas na Tabela 3.3 para amplitude de 5 cm de diâmetro e na Tabela 3.4 para amplitude diamétrica de 10 cm. Em ambas as tabelas são apresentadas a frequência do número de árvores por classe de diâmetro (N árv/ha), o incremento periódico médio por classe de diâmetro (IPMd) para o período de 4 anos (2006 a 2010), a razão de movimento (RMov) e a percentagem de árvores que permanecem na classe (% mov 0) ou passam uma classe (% mov 1). Ainda são apresentadas as árvores após a movimentação (Após Mov.), os valores observados de mortalidade (M) e ingresso (I) por classe de diâmetro, além das projeções realizadas para o ano de 2014.

Tabela 3.3 – Prognose da distribuição diamétrica para o ano de 2014 pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 5 cm. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

CC DAP (cm)	N Árv/ha (2010)	IPMd	RMov	% mov		Árv. mov		Após Mov.	M Árv/ha	I Árv/ha	P Árv/ha (2014)
				0	1	0	1				
12,5	260	0,85	17,09	82,91	17,09	215,57	44,43	215,57	11	63,7	268,3
17,5	119	1,18	23,66	76,34	23,66	90,85	28,15	135,28	5	0,7	130,9
22,5	105	1,38	27,57	72,43	27,57	76,05	28,95	104,20	3	0	101,2
27,5	55	1,34	26,85	73,15	26,85	40,23	14,77	69,19	0	0	69,2
32,5	36	1,87	37,43	62,57	37,43	22,53	13,47	37,29	1	0	36,3
37,5	19	1,47	29,39	70,61	29,39	13,42	5,58	26,89	2	0	24,9
42,5	9	1,30	26,00	74,00	26,00	6,66	2,34	12,24	0	0	12,2
47,5	7	1,21	24,24	75,76	24,24	5,30	1,70	7,64	0	0	7,6
52,5	5	2,28	45,58	54,42	45,58	2,72	2,28	4,42	0	0	4,4
57,5	3	1,77	35,35	64,65	35,35	1,94	1,06	4,22	0	0	4,2
62,5	4	1,68	33,61	66,39	33,61	2,66	1,34	3,72	0	0	3,7
67,5	2	2,52	50,42	49,58	50,42	0,99	1,01	2,34	0	0	2,3
72,5	2	1,48	29,54	70,46	29,54	1,41	0,59	2,42	0	0	2,4
>75	1	1,21	24,19	75,81	24,19	0,76	0,24	1,35	0	0	1,3
TOTAL	627										669

Fonte: O autor.

Tabela 3.4 – Prognose da distribuição diamétrica para o ano de 2014 pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 10 cm. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

CC DAP (cm)	N Árv/ha (2010)	IPMd	RMov	% mov		Árv. mov		Após Mov.	M Árv/ha	I Árv/ha	P Árv/ha (2014)
				0	1	0	1				
15	379	0,98	9,79	90,21	9,79	341,90	37,10	341,9	16	64,4	390,3
25	160	1,36	13,65	86,35	13,65	138,16	21,84	175,3	3	0	172,3
35	55	1,74	17,35	82,65	17,35	45,46	9,54	67,3	3	0	64,3
45	16	2,01	20,12	79,88	20,12	12,78	3,22	22,3	0	0	22,3
55	8	2,05	20,46	79,54	20,46	6,36	1,64	9,6	0	0	9,6
65	6	2,02	20,17	79,83	20,17	4,79	1,21	6,4	0	0	6,4
>75	3	1,34	13,43	86,57	13,43	2,60	0,40	3,8	0	0	3,8
TOTAL	627										669

Fonte: O autor.

As projeções realizadas pelo método de Matriz de Transição e Razão de Movimentação para o ano de 2014 (t+1) tiveram adicionado ao modelo um fator de redução do recrutamento, referente à taxa de decréscimo devido ao desenvolvimento da floresta com o

passar do tempo após os cortes seletivos e, assim, menor o número de indivíduos que são recrutados. Nos dados observados a campo, o período de 2006-2010 (oito e doze anos após os cortes seletivos) obteve uma redução de cerca de 30% no número de indivíduos recrutados em relação ao período de 2006-2010 (quatro e oito anos após os cortes seletivos), período esse em que a dinâmica de crescimento foi mais intensa. Dessa forma, assumiu-se um fator de redução da taxa de recrutamento de 0,7 para a obtenção de prognoses mais precisas.

Sobre isso, Vasconcelos et al. (2009) salientam que em florestas submetidas à exploração florestal e monitoradas por meio de parcelas permanentes, uma estabilização do comportamento em termos de recrutamento e mortalidade deve ser aguardada para as prognoses, pois logo após a abertura da clareira, decorrente da exploração, o processo dinâmico desse ambiente torna-se acelerado nos primeiros anos, principalmente, devido a mudanças bruscas em termos de quantidade e qualidade de luz, espaço, processo de regeneração de clareiras, competição e mortalidade causadas por danos decorrentes da exploração. Os autores ressaltam ainda que um período de 5 a 10 anos, quando a floresta começa a retornar as características semelhantes às que tinha antes da exploração, deve ser aguardado para projeções mais confiáveis.

A distribuição diamétrica da frequência observada e estimada pelos métodos de projeção para o ano de 2014 (Figura 3.2) e valores para o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) estão apresentados na Tabela 3.5. Observou-se que, de maneira geral, ambos os métodos apresentaram valores estimados do número total de indivíduos muito próximos aos valores reais, ocorrendo uma ligeira superestimativa, na ordem de 2,3% para a Razão de Movimentação e de 1,8% para a Matriz de Transição, independente da amplitude diamétrica considerada.

As maiores diferenças entre valores observados e projetados ocorreram na primeira classe de diâmetro quando considerada a amplitude diamétrica de 5 cm. Já para amplitude de diâmetro de 10 cm, verificaram-se valores próximos aos observados com uma pequena superestimativa para a primeira e terceira classe de diâmetro na Razão de Movimentação e na segunda classe de diâmetro para a Matriz de Transição. Maiores discrepâncias nas primeiras classes de diâmetro também foram observadas por Ebling et al. (2012), os quais as atribuem ao fato de serem encontradas as maiores frequências de indivíduos e a dinâmica florestal ser mais intensa nessas classes. Somam-se ainda, segundo os mesmos autores, as propriedades Markovianas, que podem interferir nas projeções potencializando os erros de estimativas.

Tabela 3.5 – Distribuição diamétrica do número de árvores observadas e estimadas pelos métodos de Razão de Movimentação e Matriz de Transição para o ano de 2014 e valores do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

CC	FO 2014	FE RM 2014	FE MT 2014	CC	FO 2014	FE RM 2014	FE MT 2014
12,5	256,0	268,3	273,9	15	384	390	385
17,5	128,0	131,3	133,3	25	170	172	187
22,5	105,0	101,2	98,9	35	59	64	59
27,5	65,0	69,2	65,6	45	21	22	16
32,5	38,0	36,3	40,8	55	11	10	10
37,5	23,0	24,9	19,4	65	5	6	6
42,5	14,0	12,2	11,0	>70	4	4	3
47,5	5,0	7,6	5,4				
52,5	6,0	4,4	5,8				
57,5	5,0	4,2	3,8				
62,5	3,0	3,7	4,0				
67,5	2,0	2,3	2,0				
72,5	2,0	2,4	1,3				
>75	2,0	1,3	0,7				
Total	654	669	666	Total	654	669	667
D calc		0,0254	0,0349	D calc		0,0227	0,0280

Em que: CC = centro de classe de DAP; FO = frequência observada; FE RM = frequência estimada pelo método de Razão de Movimentação; FE MT = frequência estimada pelo método de Matriz de Transição.

Fonte: O autor.

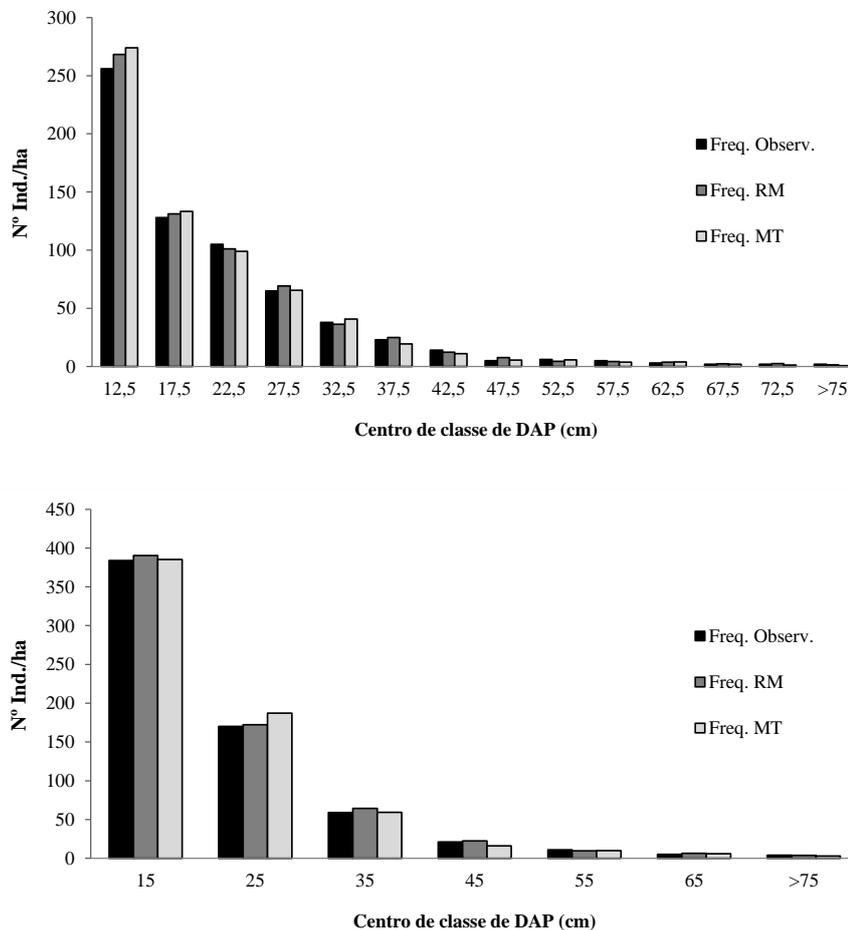
A comparação entre as frequências observadas e projetadas para o ano de 2014 na amplitude de classe de 5 cm, realizada pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S), acusou que o valor de D_{calc} , obtido pela máxima diferença entre a frequência observada acumulada e a frequência estimada acumulada, dividida pelo número de observações, não apresentou significância para ambos os métodos de projeção, com valor de $D_{calc} = 0,0254$ para a Razão de Movimentação e $D_{calc} = 0,0349$ para a Matriz de Transição, inferiores ao valor $D_{tabelar}$ igual a 0,0532, para $\alpha = 0,05$.

A mesma constatação foi observada para a amplitude de classe de 10 cm, em que o teste K-S acusou valor de $D_{calc} = 0,0227$ para a Razão de Movimentação e $D_{calc} = 0,0280$ para a Matriz de Transição, inferiores ao valor $D_{tabelar} = 0,0532$, para $\alpha = 0,05$, indicando que as frequências observadas e projetadas não diferem estatisticamente.

Dessa forma, pode-se inferir que o período temporal de quatro anos utilizado para realizar as projeções no presente estudo e os dois métodos de projeção (Matriz de Transição e Razão de Movimentação), com ambas as amplitudes de classe diamétrica (5 e 10 cm), se

mostraram eficientes para prognosticar o número de árvores por classe de diâmetro em floresta com araucária após exploração seletiva de madeira. Entre os métodos de projeção e amplitudes diamétricas analisados, o de Razão de Movimentação com amplitude de diâmetro de 10 cm pode ser considerado como o mais preciso, uma vez que apresentou o menor valor de D_{calc} . A análise gráfica dos valores observados e projetados pela Matriz de Transição e Razão de Movimentação (Figura 3.2) também confirma essa constatação.

Figura 3.2 – Distribuição diamétrica do número de árvores observadas e estimadas pelos métodos de Razão de Movimentação (RM) e Matriz de Transição (MT) para o ano de 2014. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



Fonte: O autor.

Resultados semelhantes aos do presente estudo já foram observados em outros trabalhos realizados em Florestas com Araucária no Sul do Brasil, contudo nenhum desses trabalhos avaliou a eficiência de projeções após exploração seletiva de madeira. Destaca-se o trabalho desenvolvido por Ebling et al. (2012) que ao avaliarem a acuracidade das projeções

diamétricas na Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula, RS, empregando os métodos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação, em diferentes amplitudes temporais e de classes diamétricas, concluíram que as projeções realizadas mostraram eficiência para descrever a estrutura futura da floresta, sendo o método de Razão de Movimentação, com amplitude temporal de 4 anos, associada à amplitude de classe diamétrica de 5 cm, a que apresentou resultado mais acurado, superestimando em 1,7% o número total de indivíduos da floresta.

No estado do Paraná, na floresta com araucária da FLONA de Iratí, Stepka et al. (2010) observaram pequena vantagem do método de Razão de Movimentação em relação ao de Matriz de Transição, tendo ambos apresentado resultados satisfatórios. Já Dalla Lana et al. (2015) em uma floresta com araucária em São João do Triunfo, testaram os mesmos métodos de projeção em diferentes amplitudes temporais e verificaram estimativas confiáveis apenas para a amplitude temporal de 2 anos. Os mesmos autores salientam ainda que a diferença entre cada prognose está intimamente ligada à tipologia florestal, ficando cada projeção condicionada ao ritmo de crescimento da floresta e aos fatores ambientais que a influenciam dentro da amplitude temporal avaliada.

Após determinado o melhor método de projeção e amplitude diamétrica (Razão de Movimentação com amplitude de classe de diâmetro de 10 cm), foi realizada a projeção do número de indivíduos, área basal e volume comercial por classe diamétrica para um período de 20 anos (4 projeções), utilizando-se os dados observados dos anos de 2010 e 2015 (oito e treze anos após os cortes seletivos) (Tabela 3.6). Essa análise teve por finalidade demonstrar a evolução da floresta ao longo do tempo após a realização dos cortes seletivos.

Para a realização das projeções em longo prazo, além de um fator de redução no recrutamento, foi considerado também redução nas taxas de incremento diamétrico com o passar do tempo após a aplicação dos cortes seletivos na floresta com araucária da fazenda Tupi. Esse fator de redução é aceitável incluir no modelo, uma vez que o crescimento das árvores é afetado diretamente por inúmeros fatores, dentre os quais, Schneider e Schneider (2008), citam a disponibilidade de luz, temperatura, água, nutrientes, CO₂ e conteúdo de clorofila, sendo que a disponibilidade de cada um desses elementos para cada árvore e conseqüentemente para cada espécie depende da concorrência que ocorre dentro da floresta. Logo, para as prognoses foi aplicado um fator de redução de 20% no recrutamento e no incremento em diâmetro, assumindo-se que os processos dinâmicos da floresta em estudo tendem a diminuir e tornarem-se estáveis com o passar do tempo após os cortes seletivos, o que irá proporcionar prognoses mais confiáveis e precisas em longo prazo.

Tabela 3.6 – Prognose da distribuição diamétrica para o ano de 2020 pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 10 cm. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

CC DAP (cm)	N Árv/ha (2010)	IPMd	RMov	% mov		Árv. mov		Após Mov.	M Árv/ha	I Árv/ha	P Árv/ha (2020)
				0	1	0	1				
15	393	0,98	9,79	90,21	9,79	354,54	38,46	354,5	24	51,2	381,7
25	175	1,35	13,52	86,48	13,52	151,34	23,66	189,8	4	0	185,8
35	58	1,72	17,16	82,84	17,16	48,05	9,95	71,7	1	0	70,7
45	21	1,84	18,40	81,60	18,40	17,14	3,86	27,1	1	0	26,1
55	10	1,81	18,05	81,95	18,05	8,19	1,81	12,1	1	0	11,1
65	5	1,60	16,00	84,00	16,00	4,20	0,80	6,0	0	0	6,0
75	5	1,46	14,62	85,38	14,62	4,27	0,73	5,1	0	0	5,1
>80	0	0,8 *	8,00	92,00	8,00	0,00	0,00	0,7	0	0	0,7
TOTAL	667										687

Em que: * = valor estipulado para ocorrer passagem de árvores nessa classe em longo prazo.

Fonte: O autor.

A evolução do número de árvores, área basal e volume comercial por classe de diâmetro para os quatro períodos de simulação (20 anos) estão demonstrados na Tabela 3.7 e pela Figura 3.3. Estima-se que a densidade total de árvores alcançará 737 árv. ha^{-1} no ano de 2035 (aumento de 70 ind. ha^{-1} em relação ao atual), apresentando tendência de diminuição na primeira classe de diâmetro e de aumento nas demais classes com o passar do tempo.

A projeção da área basal resultou em uma perspectiva de crescimento para os próximos anos, passando de $29,02 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ em 2015 para $43,11 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ em 2035, aumento de $14,09 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, equivalendo a um incremento médio de $0,70 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Esse valor assemelha-se ao de $0,63 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ observado no tratamento de manejo com corte seletivo de intensidade leve para o período entre quatro e treze anos após às intervenções, indicando que a floresta manterá o crescimento com taxas elevadas ao longo do tempo.

Embora o incremento estimado pelas projeções no presente estudo encontra-se acima do valor médio de $0,43 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ encontrado por Figueiredo Filho et al. (2010) ao comparar diversos estudos no Sul do Brasil, pode-se considerá-lo como aceitável, estando próximo ao valor de $0,71 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ verificado por Durigan (1999) e de $0,64 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ obtido por Müller et al. (2014) ao verificar uma área basal variando de $36,19$ a $37,47 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ entre os anos de 2010 e 2012 na FLONA de Passo Fundo, RS.

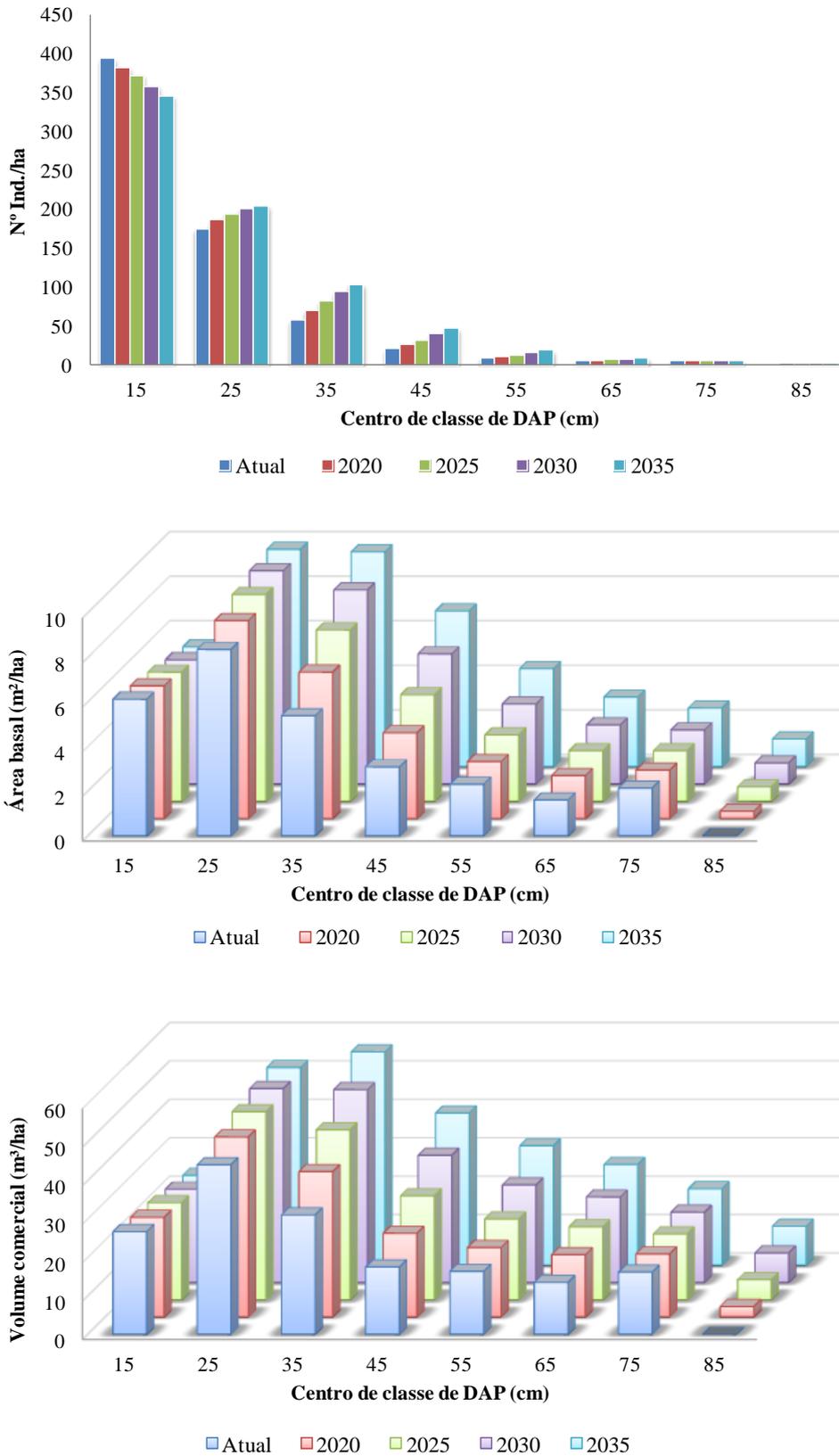
Tabela 3.7 – Projeção da distribuição diamétrica do número de indivíduos, área basal e volume comercial para a floresta com tratamento corte seletivo leve para um período de 20 anos. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

CC	2015			2020*			2025*			2030*			2035*		
	N/ha	G/ha	V/ha												
15	393,0	6,12	26,68	381,7	5,95	25,91	371,6	5,79	25,22	357,3	5,57	24,25	344,4	5,37	23,38
25	175,0	8,36	44,09	185,8	8,88	46,81	194,0	9,27	48,89	200,2	9,56	50,43	204,1	9,75	51,42
35	58,0	5,39	31,02	70,7	6,57	37,82	82,7	7,68	44,23	93,7	8,70	50,14	103,7	9,63	55,47
45	21,0	3,09	17,51	26,1	3,84	21,75	32,4	4,77	27,03	39,7	5,84	33,06	47,4	6,98	39,55
55	10,0	2,31	16,34	11,1	2,56	18,07	12,9	2,97	21,02	15,5	3,58	25,35	19,0	4,39	31,06
65	5,0	1,61	13,48	6,0	1,93	16,19	7,0	2,26	18,98	8,2	2,65	22,21	9,7	3,12	26,20
75	5,0	2,14	16,18	5,1	2,17	16,40	5,3	2,26	17,11	5,6	2,42	18,26	6,1	2,63	19,85
>80	0,0	0,00	0,00	0,7	0,33	2,70	1,4	0,64	5,23	2,1	0,94	7,67	2,7	1,24	10,11
Soma	667	29,02	165,30	687	32,22	185,66	707	35,65	207,72	722	39,26	231,36	737	43,11	257,04

Em que: N/ha = n° de indivíduos por hectare; G/ha = área basal por hectare ($m^2 \cdot ha^{-1}$); V/ha = volume comercial por hectare ($m^3 \cdot ha^{-1}$); 2015 = distribuição observada (treze anos após os cortes seletivos); * = valores projetados em 2020 (dezoito anos após os cortes seletivos), 2025 (23 anos após os cortes seletivos), 2030 (28 anos após os cortes seletivos) e 2035 (33 anos após os cortes seletivos).

Fonte: O autor.

Figura 3.3 – Evolução da floresta com tratamento corte seletivo leve quanto ao número indivíduos, área basal e volume comercial, por classe de diâmetro, para um período de simulação de 20 anos. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



Fonte: O autor.

Para o volume comercial da floresta com araucária em estudo estima-se um ganho de 91,74 m³.ha⁻¹ no período de 20 anos de projeção, apresentando incremento médio de 4,59 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Pode-se constatar também na Tabela 3.7 e na Figura 3.3, que a floresta com araucária da Fazenda Tupi terá no futuro potencial para aplicação de um plano de manejo com bases sustentadas, uma vez que estima-se que o número de árvores/ha nas classes de diâmetro acima de 50 cm (diâmetro estipulado como limite comercial), passará de 20 árvores/ha para 48 árvores/ha em 20 anos (aumento de 28 árvores com dimensão comercial). Contudo, cabe ressaltar que, como o sugerido no Capítulo II, a floresta em estudo deve, primeiramente, passar por um contínuo processo de exploração seletiva de intensidade leve, em intervalos de cerca de 10 anos, buscando-se a retirada de espécies de alta densidade absoluta em busca do favorecimento e ingresso de espécies de interesse (principalmente a *Araucaria angustifolia*), para assim, transformar a floresta a uma estrutura produtiva no futuro e capaz de fornecer madeira de boa qualidade.

3.4 CONCLUSÕES

Os modelos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação mostraram-se eficientes na prognose das classes de diâmetro realizadas em floresta com araucária explorada seletivamente no RS. Porém, o método de Razão de Movimentação com amplitude de classe de diâmetro de 10 cm apresentou maior acuracidade em relação aos valores observados e projetados, podendo ser uma ferramenta importante para verificar as tendências que a floresta de hoje apresentará em um futuro próximo, além de auxiliar na determinação do tempo de recuperação da floresta após intervenções de manejo.

A simulação da distribuição diamétrica para um período de 20 anos (33 anos após os cortes seletivos), com a aplicação de um fator de redução na taxa de recrutamento e no crescimento em diâmetro devido à recuperação da floresta aos cortes seletivos, mostrou que a mesma apresenta alto potencial de aproveitamento futuro, com aumento considerável de indivíduos nas classes diamétricas de interesse comercial (DAP ≥ 40 cm).

Sugere-se que, para o ano de 2020, seja efetuada a comparação e validação das prognoses do número de árvores estimadas neste trabalho, com o intuito de verificar os fatores de recrutamento e incremento utilizados, além de revalidar o uso do modelo de Razão de Movimentação na utilização das prognoses em longo prazo para planos de manejo sustentável em floresta com araucária após exploração seletiva.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARCE, J. E. et al. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L.. **Floresta**, v. 27, n. 1-2, p. 83-98, 1997.
- AUSTRAGÉSILO, S. L. et al. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Estacional Semidecidual Secundária. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004.
- BORSOI, G. A. **Subsídios para o manejo de uma Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração natural**. 2004. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- BRAZ, E. M. et al. Manejo da estrutura diamétrica remanescente de florestas tropicais. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 787-794, 2012.
- DALLA LANA, M. et al. Prognose da Estrutura Diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 71-78, 2015.
- DANIEL, R. F.; BURKHART, H. E. An integrated system of forest stand models. **Forest Ecology and Management**, v. 23, n. 2-3, p. 159-177, 1988.
- DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo-PR**. 1999. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- EBLING, A. A. et al. Acuracidade da distribuição diamétrica entre métodos de projeção em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, v. 42, n. 6, p. 1020-1026, 2012.
- EBLING, A. A. et al. Ecologia e projeção diamétrica de três grupos arbóreos em remanescente de Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula, RS. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 261-270, 2013.
- FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.
- MEYER, H. A. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. **Journal of Forestry**, v.50, p. 85-92, 1952.
- MÜLLER, A. L. et al. Crescimento e acúmulo de biomassa em Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 221-231, 2014.
- NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v.11, n.2, p.9-25, 2001.
- PULZ, F. A. et al. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta

inequiânea com a matriz de transição. **Cerne**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 1999.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequiâneas heterogêneas**. Santa Maria: CEPEF, 2000. 195p.

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

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. Ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 2009. 236p.

SCOLFORO, J. R. et al. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e análise estrutural. In: SCOLFORO, J. R. **Manejo Florestal**. Lavras: FAEPE, 1998. Cap. 5, p.189-246.

STEPKA, T. F. et al. Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista com os métodos razão de movimentos e matriz de transição. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 327-335, 2010.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.

TEIXEIRA, L. M. et al. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. **Acta Amazônica**, v. 37, n. 3, p. 377-384, 2007.

VANCLAY, J.K. **Modelling Forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994. 312p.

VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M. V. N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 71-80, 2009.

CAPÍTULO IV – REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO E PROJEÇÃO DO TEMPO DE RECUPERAÇÃO DO ESTOQUE EM UMA FLORESTA COM ARAUCÁRIA NO SUL DO BRASIL

RESUMO

O manejo das florestas com araucária no Sul do Brasil, devidamente aplicado, além de favorecer a conservação e recuperação de seus remanescentes alterados pela exploração do passado, agrega valor como fonte de rendimento frente a seus detentores. O presente estudo teve como objetivo simular o manejo e o tempo de recuperação do estoque inicial em volume comercial para uma floresta com araucária situada em Boqueirão do Leão, RS. Nessa floresta foram instaladas oito parcelas permanentes com área de 2.000 m² cada, onde foram mensurados todos os indivíduos com DAP \geq 10cm. Parâmetros de crescimento de uma área de manejo experimental monitorada periodicamente durante 13 anos após a aplicação de diferentes intensidades de cortes seletivos em uma floresta com araucária, situada no município de Nova Prata, RS, foram tomados para a regulação da produção da floresta em estudo. Para tanto, foram simuladas três alternativas de manejo que consistiram no corte das árvores acima do diâmetro máximo desejado de 60 cm, além de níveis de reduções percentuais da frequência ajustada, respeitando-se o limite total de redução de 20-30% da área basal, estabelecido na área de manejo experimental. O método de Razão de Movimentação foi utilizado para a comparação das projeções das frequências por classe de diâmetro entre a situação inicial e a projetada para o final de cada ciclo de corte estimado. A floresta apresentou uma densidade de 723 ind.ha⁻¹, área basal de 32,88 m².ha⁻¹ e volume comercial de 200,0 m³.ha⁻¹. Desse total, a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze contém 38% da área basal e 52% do volume existente, com uma densidade de 150 ind.ha⁻¹, demonstrando o alto potencial de produção dessa floresta. A alternativa de manejo de menor intensidade resultou em uma redução de 23,8% do volume comercial total, com extração de 47,57 m³.ha⁻¹ e um período de 10 anos para recuperação desse volume extraído. Já a alternativa de maior intensidade permite a extração de 65,5 m³.ha⁻¹ com ciclo de corte de cerca de 15 anos, resultou na redução de cerca de 33% do volume comercial. A projeção da distribuição de frequência ao longo do tempo de recuperação do estoque inicial para cada alternativa de manejo também indicou que a floresta consegue repor sua densidade e volume comercial inicial para o ciclo de corte determinado, porém necessitando maior tempo para a recuperação na última classe de diâmetro (DAP $>$ 70cm). As propostas de manejo permitem o uso sustentável da floresta com araucária, agregando valor econômico ao fornecer uma alternativa de uso para os proprietários rurais.

Palavras-chave: Floresta Ombrófila Mista. Taxa de Corte. Sustentabilidade. Estrutura Diamétrica.

4.1 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (pinheiro-brasileiro; araucária) devido sua madeira de alta qualidade para construções e com alto teor de celulose para fabricação de papel, foi, durante várias décadas, um dos produtos mais importantes na exportação brasileira. Isto é referendado por Koch e Corrêa (2010), estimam que entre 1915 e 1960, o Brasil exportou 18,5 milhões de metros cúbicos de madeira extraída quase que totalmente da floresta com araucária. Na década de 1970 a araucária correspondia a 90% de cerca de um milhão de metros cúbicos de madeira exportada pelo País anualmente (STEFENON et al., 2003).

Contudo, essa exploração deu-se de forma irracional e predatória, sem qualquer preocupação com a sustentabilidade da produção futura, causando grandes impactos ambientais e econômicos às florestas remanescentes. Estima-se que os remanescentes de Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como floresta com araucária, nos estágios primários ou mesmo avançados, não perfazem mais do que 0,7% da área original em território brasileiro (BRASIL, 2002).

Em decorrência dessa intensa pressão exploratória no passado, a *Araucaria angustifolia* passou a ser incluída na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção, na categoria vulnerável (BRASIL, 1992) e, mais recentemente, como criticamente em perigo (CR) na Red List of Threatened Species da IUCN (THOMAS, 2013), estando, assim, proibido por lei seu manejo nas florestas naturais. Contudo, segundo Nutto (2001), a história mostrou que a restrição no uso de um recurso natural raramente é aceita pela população, quando existe a necessidade de seu aproveitamento como matéria prima ou como fonte de rendimento, sendo que a proteção via proibição significa uma desvalorização do bem que, em muitos casos, tem como consequência a perda de interesse em sua conservação.

Adicionalmente, Hess et al. (2010) salientam que a falta de conhecimento de parâmetros para o manejo de florestas naturais em conjunto com a legislação proibitiva, têm contribuído para a redução, estagnação e baixa diversidade dos remanescentes naturais destas florestas. Corroborando, em estudo realizado por Porter-Bolland et al. (2012), ao analisar 40 áreas de proteção e 33 comunidades florestais em 16 países, sendo 11 na América Latina, 3 na África e 2 na Ásia, descobriram que as áreas protegidas perdiam cerca de 1,47% de cobertura florestal por ano, enquanto as florestas geridas pelas comunidades tinham uma perda de cerca de 0,24% ao ano.

Segundo Souza et al. (2012), o processo de sucessão da Floresta Ombrófila Mista está relacionado com a dinâmica populacional da araucária, uma vez que, para Lingner et al.

(2007) essa espécie tende a ser substituída pelas folhosas à medida que se avança para o estágio climácico. Diante disso, para Sanquetta (2005), o manejo florestal deve ser entendido como um elemento decisivo para perpetuar a sobrevivência da *Araucaria angustifolia*, contribuindo para estimular a regeneração natural, aumentar a taxa de crescimento das árvores remanescentes e diminuir as taxas de mortalidade natural da floresta.

Para tanto, estudos sobre o comportamento da vegetação remanescente em áreas submetidas à exploração seletiva de madeira são fundamentais para a elaboração de ferramentas adequadas de manejo da Floresta Ombrófila Mista, como forma de garantir a maior produtividade, sem comprometer sua capacidade de recuperação. De acordo com Braz et al. (2012), essa previsão da capacidade de recuperação da floresta pode ser estimada mediante modelos de crescimento que utilizem prognoses para o povoamento, uma vez que, é fundamental visualizar a estrutura futura para estimar se a extração a ser efetuada está com o peso correto e se está possibilitando a recuperação da floresta.

4.1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente capítulo foi simular o manejo e o tempo de recuperação da densidade e do estoque inicial em volume comercial para uma floresta com araucária, tendo-se como base parâmetros experimentais obtidos em uma floresta monitorada periodicamente após diferentes níveis de exploração seletiva de madeira.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ÁREAS DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido em duas áreas de Floresta Ombrófila Mista com diferentes históricos de exploração no passado. Essas áreas localizam-se no estado do Rio Grande do Sul, distantes em cerca de 100 km em linha reta.

A primeira área refere-se à floresta com araucária situada na Fazenda Tupi, município de Nova Prata, a qual já foi caracterizada nos estudos do Capítulo II e Capítulo III. Essa área, submetida a diferentes níveis de intervenções de manejo e monitorada periodicamente durante 13 anos, serviu de base para balizar as simulações de manejo que foram desenvolvidas na segunda área. Para tanto, parâmetros experimentais de recuperação em volume comercial e dinâmica florestal (crescimento, mortalidade e recrutamento), após a realização de cortes

seletivos, foram tomados para a realização das simulações.

A segunda área localiza-se no município de Boqueirão do Leão, entre as coordenadas 29°20'33" e 29°21'59" S e 52°23'45" e 52°26'83" O, na região fisiográfica da encosta inferior do nordeste do RS (Figura 4.1), estando a uma altitude média de 613 m. A área total da propriedade é de aproximadamente 757 ha, sendo 94% desta estocada com Floresta Ombrófila Mista (FOM).

Figura 4.1 – Localização da área de estudo no município de Boqueirão do Leão, RS.



Fonte: O autor.

A área da FOM de Boqueirão do Leão possui um histórico de exploração da *Araucaria angustifolia* até meados da década de 70, que serviu por muitos anos como fornecedora de toras para a serraria do proprietário. Como manutenção e recomposição florestal, ao longo de décadas foram enterrados pinhões ao lado dos tocos e clareiras formadas pelo abate de árvores comerciais. Já a FOM de Nova Prata possui um histórico de exploração mais recente, tendo início na década de 70 uma exploração intensiva, culminando com a extração madeireira indiscriminada ocorrida em meados da década de 80, quando foi abatida grande parte das araucárias adultas presentes na propriedade.

As duas áreas consideradas para o presente estudo estão situadas na mesma zona climática, apresentando clima subtropical úmido, correspondente ao tipo Cfa de Köppen. A

temperatura média anual oscila entre 16-18 °C e chuvas distribuídas em todos os meses do ano, com precipitação anual em torno de 1900 mm (ALVARES et al., 2013). A litogia dominante dessa região, segundo Streck et al. (2008), é o basalto em relevo ondulado a montanhoso, onde predominam solos do tipo Neossolos Litólicos, Chernossolos Argilúvicos e Cambissolos Háplicos.

4.2.2 ESTRUTURA AMOSTRAL E OBTENÇÃO DOS DADOS

A estrutura amostral na floresta com araucária de Boqueirão do Leão foi composta por oito parcelas permanentes com dimensões de 20 m x 100 m (2.000 m²) cada, perfazendo uma área amostral de 1,6 ha. Cada parcela foi dividida em 2 faixas de 10 m x 100 m, que, por sua vez, foram subdivididas em cinco subparcelas de 10 m x 20 m, para um melhor controle espacial dos indivíduos no interior da unidade. As parcelas foram instaladas no sentido leste-oeste, estando espaçadas em torno de 200 m uma da outra, buscando-se cobrir o máximo possível as variações existentes de composição florística e produção na área de estudo.

Em cada uma das unidades amostrais instalada na floresta de Boqueirão do Leão foram medidas todas as árvores com CAP (circunferência à altura do peito) $\geq 31,4$ cm (DAP $\geq 10,0$ cm) presentes na parcela. Essas árvores foram identificadas e numeradas com etiqueta de alumínio fixadas com prego acima do ponto de medição ($\pm 1,40$ metros da base da árvore). As árvores foram também pintadas com uma faixa amarela em torno de 2 cm de largura com a finalidade de se marcar o ponto correto da medição da CAP em avaliações subsequentes, se assim houverem.

Cada indivíduo presente na unidade amostral teve medido a CAP, a altura comercial e total, e as coordenadas X e Y de seu posicionamento dentro da subunidade. Para a obtenção da altura comercial foi considerada a altura entre o nível do solo e a porção superior utilizável do tronco, sendo esta determinada por presença de bifurcação, galhos de grande porte ou tortuosidade acentuada.

A medição da CAP das árvores foi realizada com trena de precisão em milímetros e as alturas das árvores com o Hipsômetro Digital Vertex, com precisão de 0,1 metro. A identificação botânica foi inicialmente realizada *in loco*, bem como utilizando as informações encontradas nas bibliografias especializadas sobre o assunto. A nomenclatura das espécies seguiu a proposta do Angiosperm Phylogeny Group (APG III, 2009).

Para a área de manejo experimental localizada em Nova Prata, foram obtidos os dados de recuperação do estoque e dinâmica da floresta (incremento, recrutamento e mortalidade)

após os cortes seletivos realizados por Borsoi (2004), considerando-se apenas o tratamento que recebeu redução de 20-30% da área basal por classe de DAP. Esse tratamento foi escolhido devido apresentar os melhores resultados quanto ao desenvolvimento e recuperação da floresta frente aos cortes seletivos, como descrito no Capítulo II. Logo, serviu de base para o desenvolvimento de estratégias de manejo na floresta com araucária de Boqueirão do Leão.

4.2.3 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA ATUAL

Considerando-se que toda atividade de exploração comercial provoca alterações na estrutura da floresta remanescente, primeiramente avaliou-se a estrutura atual da floresta com araucária de Boqueirão do Leão. Essa avaliação teve a finalidade de verificar o estágio de desenvolvimento atual que se encontra essa floresta, após cerca de 40 anos da exploração, e submetida à manutenção e recomposição florestal ao longo de décadas, com o plantio de pinhões ao lado de tocos e clareiras formadas pelo abate de árvores de grandes dimensões. Assim, espera-se que a adoção dessas medidas tenha garantido a sucessão da espécie na floresta explorada e atualmente contenha uma estrutura bem desenvolvida. Para tanto, analisou-se a estrutura horizontal e diamétrica da floresta em estudo, podendo-se assim inferir se a mesma possui características de uma floresta de recuperação/transformação (como a FOM de Nova Prata, p.ex.) ou de uma floresta de produção. Essa última passível de aplicação de um plano de manejo aliando produção sustentável de madeira e conservação da diversidade ecológica com técnicas que induzem o desenvolvimento da *Araucaria angustifolia* na floresta e garantam sua perpetuidade, sem comprometer seu estoque futuro.

Para avaliação da estrutura horizontal da floresta com araucária de Boqueirão do Leão foram considerados os parâmetros fitossociológicos tradicionalmente utilizados: densidade, dominância, frequência e valor de importância (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974; LONGHI, 1980). As fórmulas para os cálculos de cada um dos parâmetros foram apresentadas no Capítulo II - Tabela 2.3, sendo os dados processados pelo software Mata Nativa 2 (CIENITEC, 2006).

A análise da estrutura diamétrica da FOM de Boqueirão do Leão deu-se em relação a distribuição da frequência, área basal e volume comercial em classes de diâmetro com amplitude de 10 cm. A distribuição da frequência por classe de diâmetro foi avaliada para: a) floresta em geral; b) *Araucaria angustifolia*; c) folhosas de valor comercial e; d) espécies com maior densidade absoluta na área de estudo.

Para a determinação do volume comercial com casca por classe de diâmetro,

inicialmente, cada indivíduo ocorrente na classe teve seu volume estimado e, depois, somado seus volumes para obter o valor total para a referente classe. O cômputo dos volumes comerciais individuais foi separado também para as folhosas de valor comercial e para a *Araucaria angustifolia*. Para tanto, utilizou-se o modelo volumétrico de Schumacher-Hall, descrito abaixo:

$$\log V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(DAP) + \beta_2 \cdot \log(hc)$$

Em que: log = logaritmo de base 10; V = volume com casca por árvore, em m^3 ; DAP = diâmetro à altura do peito com casca, em cm; hc = altura comercial, em m.

Os coeficientes (β_0 , β_1 e β_2) foram definidos para espécies folhosas e para *Araucaria angustifolia* no Inventário de Florestas Nativas do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1983), como segue:

a) Para folhosas:

$$\beta_0 = -3,95275; \beta_1 = 2,04254 \text{ e } \beta_2 = 0,61461;$$

$$R^2_{Aj} = 0,9670; S_{yx} = 0,1319$$

b) Para *Araucaria angustifolia*:

$$\beta_0 = -4,29736; \beta_1 = 2,18419 \text{ e } \beta_2 = 0,68504.$$

$$R^2_{Aj} = 0,9847; S_{yx} = 0,0730$$

4.2.4 REGULAÇÃO DA DENSIDADE E DO ESTOQUE DE MADEIRA

Após 40 anos da exploração madeireira na FOM de Boqueirão do Leão, espera-se que essa floresta tenha recuperado seu estoque de madeira inicial, principalmente pelo fato de ter sido enriquecida no passado com o plantio direto de pinhões para garantir a perpetuação e reposição das araucárias que foram extraídas de forma desordenada. Dessa forma, um modelo de uso sustentável da floresta com araucária, tendo como princípios a manutenção da alta diversidade e produção, além de agregar valor econômico e interesse dos proprietários pela manutenção de suas florestas, se constituirá num importante passo para garantir a perpetuação da *Araucaria angustifolia* na Floresta Ombrófila Mista.

Diante disso, o modelo de manejo proposto para a floresta de Boqueirão do Leão teve como base o estudo desenvolvido no Capítulo II, o qual avaliou diferentes intensidades de

redução da área basal por classe de DAP, sendo essas intensidades definidas como: corte seletivo leve (redução de 20-30% da área basal por classe de DAP) e corte seletivo moderado (redução de 40-50% da área basal por classe de DAP). Nesse estudo, a intensidade com corte seletivo leve proporcionou os melhores resultados quanto ao desenvolvimento futuro da floresta, podendo-se realizar intervenções sucessivas em intervalos mais curtos (em torno de 10 anos). Dessa forma, essa intensidade foi escolhida como modelo a ser seguido e, então, sendo a base para a simulação dos cortes para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão.

Para o presente estudo, a regulação da densidade da floresta de Boqueirão do Leão consistiu em remover árvores em todas as classes de diâmetros de maneira a manter proporções equilibradas de indivíduos nas classes diamétricas sucessivas. Para tanto, assume-se que, em florestas balanceadas, a distribuição diamétrica dá-se na forma de J-invertido (MEYER, 1952), que pode ser descrita por um quociente “q” (de LIOCOURT, 1898 apud SCHAAF et al., 2006), sendo esse expresso pela razão entre o número de indivíduos em uma classe de diâmetro e o número de indivíduos na classe diamétrica subsequente. Assim, a proporção correta de árvores a permanecer na floresta levou em consideração a condução da floresta a uma estrutura balanceada, sendo o número de árvores por hectare por classe de diâmetro estimado pelo modelo de Meyer (1952):

$$Y_j = \beta_0 \cdot e^{\beta_1 \cdot D_j} \cdot \varepsilon_i$$

Em que: Y_j = estimador do número de árvores por hectare na j-ésima classe de *dap*; β_0 e β_1 = coeficientes da equação; D_j = diâmetro correspondente ao centro da j-ésima classe de *dap*; ε_i = erro aleatório.

Para obtenção da constante “q”, empregou-se a seguinte expressão:

$$q = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot D_j)}}{e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot D_{j+1})}}$$

Em que: D_j = diâmetro correspondente ao centro da j-ésima classe de *dap*; D_{j+1} = diâmetro correspondente ao centro da j-ésima classe de *dap* imediatamente acima.

Depois de obtidas as frequências ajustadas por classe de diâmetro, foram simuladas alternativas de manejo que levaram em consideração um diâmetro máximo desejado pré-determinado e um diâmetro mínimo de corte (DMC) para a *Araucaria angustifolia*, juntamente com reduções percentuais das frequências ajustadas em cada classe diamétrica,

mantendo-se o valor do quociente natural “q” encontrado para a floresta de estudo. Esse método de seleção foi desenvolvido levando-se em consideração as reduções da curva de distribuição de frequência aplicadas por Borsoi (2004) no manejo experimental realizado na floresta com araucária de Nova Prata, juntamente com a condução da floresta a uma estrutura balanceada pelo método da área basal-máximo dap-q (BDq) de seleção apresentado por Meyer (1952) e empregado por muitos pesquisadores no Brasil (CAMPOS et al., 1983, SPATHELF; DURLO, 2001; SOUZA; SOUZA, 2005; BRAZ, 2010; HESS et al., 2010; HESS, 2012).

A inclusão de um diâmetro máximo desejado deve-se ao fato que a FOM de Boqueirão do Leão possui características de uma “floresta de produção”, diferentemente da área de manejo experimental de Nova Prata, a qual foi caracterizada como uma “floresta de recuperação/transformação”, devido, principalmente, ao baixo estoque de *Araucaria angustifolia* presente nessa floresta, decorrente da forte exploração sofrida no passado. Dessa forma, para atingir os níveis de reduções pretendidos para a floresta do presente estudo, foi pré-determinado o diâmetro máximo desejado de 60 cm e diâmetro mínimo de corte (DMC) da *Araucaria angustifolia* de 40 cm, como sendo favoráveis para se buscar o equilíbrio entre produção madeireira e conservação da floresta.

Assim, as árvores presentes na distribuição diamétrica que se encontram abaixo do diâmetro máximo desejado tiveram sua frequência ajustada reduzida em níveis percentuais, respeitando-se o limite de 20-30% de redução da área basal total, como recomendado no estudo apresentado no Capítulo II. Para atingir o limite de redução recomendado de área basal, nas classes diamétricas inferiores ao DMC é dado preferência pela retirada de indivíduos de espécies de folhosas sem valor comercial e de alta densidade absoluta.

Devido ao fato que em florestas maduras e com alta densidade de árvores tem-se observado alta taxa de mortalidade combinada com baixa regeneração natural da *Araucaria angustifolia*, isso nos remete a incertezas quanto à sua capacidade regenerativa e contínuo desenvolvimento na sucessão da floresta. Logo, o método proposto de seleção com a retirada em níveis percentuais de espécies folhosas de alta densidade nas classes de diâmetro inferiores a 60 cm pode proporcionar uma indução ao contínuo desenvolvimento e estabelecimento da araucária na floresta, devido, principalmente, pela redução do sombreamento provocado pelas espécies do estrato intermediário e do sub-bosque que impedem o desenvolvimento da sua regeneração natural ou, até mesmo, de árvores que se encontram com o crescimento estagnado devido a essa baixa condição de luminosidade imposta.

Já para as classes de diâmetro compreendidas entre 40 e 60 cm de DAP (classes comerciais abaixo do diâmetro máximo desejado), da mesma forma como descrito anteriormente, recomenda-se também a realização de corte seletivo visando a liberação de árvores com potencial futuro para colheita, além da possibilidade de realização de corte comercial nessas classes, respeitando-se o limite de corte estabelecido em cada alternativa de manejo.

Vale salientar que a aplicação desse método de manejo está diretamente relacionado ao conhecimento da composição florística, da estrutura fitossociológica e da distribuição diamétrica das espécies, uma vez que esse conhecimento definirá as espécies de alta densidade que devem ser preteridas de extração durante a regulação da densidade da floresta, em benefício do desenvolvimento de indivíduos remanescentes de *Araucaria angustifolia*.

4.2.4 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RECUPERAÇÃO DO ESTOQUE

Para determinação do tempo de recuperação do estoque inicial para as alternativas de manejo propostas para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, assumiu-se que a projeção do estoque remanescente fundamenta-se no pressuposto de que os crescimentos anuais volumétricos de uma árvore ou povoamento se acumulam no tempo, de forma similar a lei de juros compostos. Dessa forma, o tempo de recuperação do estoque (ciclo de corte) foi obtido pelas seguintes expressões algébricas, extraídas de Schneider e Schneider (2008), descritas abaixo:

$$VT = VR_j \cdot (1 + i_j)^{cc}$$

$$cc = \frac{\ln(VT) - \ln(VR_j)}{\ln(1 + i_j)}$$

Em que: VT = volume do estoque total ou final para a floresta ($m^3 \cdot ha^{-1}$); VR_j = volume de estoque remanescente na j -ésima alternativa de manejo ($m^3 \cdot ha^{-1}$); i_j = taxa de crescimento anual na j -ésima alternativa de manejo (%); cc = ciclo de corte (anos); ln = logaritmo neperiano.

A taxa de incremento anual em volume percentual, utilizado para o cálculo do tempo de recuperação do volume inicial da FOM de Boqueirão do Leão, foi obtida na área de manejo experimental de Nova Prata, considerando apenas o tratamento submetido ao mesmo nível de intervenção. Para tanto, assume-se que o comportamento do crescimento da

vegetação remanescente pós-corte de Boqueirão do Leão será muito próximo ao crescimento observado na FOM de Nova Prata após corte seletivo.

Dessa forma, para a determinação da taxa de crescimento anual da floresta, considerou-se o incremento periódico anual médio obtido no período compreendido entre quatro e treze anos após a aplicação dos cortes seletivos. Logo, o incremento periódico anual em volume relativo, obtido na área de manejo experimental, foi determinado pela seguinte expressão:

$$IPAv(\%) = \frac{\left[\frac{(V_{c_f} - V_{c_i})}{V_{c_i}} \right] \times 100}{p}$$

Em que: $IPAv(\%)$ = incremento periódico anual relativo para o volume; V_{c_f} = volume comercial com casca quatro anos após as intervenções (2006), em $m^3 \cdot ha^{-1}$; V_{c_i} = volume comercial com casca treze anos após as intervenções (2015), em $m^3 \cdot ha^{-1}$; p = período entre as medições.

4.2.5 PROJEÇÃO DA RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA

As estimativas do ciclo de corte para a Floresta Ombrófila Mista levam em consideração, geralmente, apenas o tempo de reposição do volume que foi extraído, mediante o incremento observado na floresta. Contudo, a garantia de recuperação do volume inicial não significa que, necessariamente, a floresta irá conseguir repor o que foi extraído em cada classe diamétrica. Para isso, o monitoramento da floresta após a exploração madeireira até o tempo determinado pelo ciclo de corte é fundamental para atingir o objetivo. Esses dados de crescimento da floresta após intervenções de manejo, juntamente com o uso de modelos de projeção da frequência em classes diamétricas podem retratar de forma confiável a estrutura diamétrica projetada para o final do ciclo de corte estipulado.

Dessa forma, para verificar se o tempo de recuperação do estoque inicial da floresta, determinado para cada alternativa de manejo, também é capaz de repor totalmente as árvores que foram extraídas nas classes de diâmetro, principalmente em relação às classes acima do diâmetro máximo desejado, as quais têm extração total dos indivíduos ocorrentes, foi simulado projeções entre as classes diamétricas pelo método de Razão de Movimentação. A escolha desse método de projeção foi demonstrada no Capítulo III.

A aplicação desse método levou em consideração os dados da dinâmica (crescimento, ingresso e mortalidade) na floresta com manejo experimental de Nova Prata para prognosticar

a frequência e produção da FOM de Boqueirão do Leão em relação às alternativas de manejo que foram propostas. Assim, assume-se que a floresta de Boqueirão do Leão após a aplicação de qualquer uma das alternativas de manejo propostas, terá capacidade de recuperação semelhante à floresta com araucária de Nova Prata.

Para verificar se a distribuição de frequência prognosticada para o ciclo de corte determinado pelo tempo de recuperação do estoque inicial apresentou a mesma distribuição da floresta antes da realização dos cortes, ou seja, para verificar se a floresta irá conseguir repor o número de indivíduos que foi extraído nas classes diamétricas pelos cortes seletivos, foi aplicado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) (mais detalhes sobre o teste encontram-se no Capítulo III, item 3.2.3).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 ESTRUTURA ATUAL DA FLORESTA

O estágio de desenvolvimento da Floresta Ombrófila Mista de Boqueirão do Leão foi verificado pelos seus parâmetros fitossociológicos, diversidade de espécies e estrutura diamétrica de espécies de valor comercial e com maior densidade absoluta. Essas informações são importantes para balizar estratégias de manejo na floresta de estudo, seja como uma “floresta de recuperação/transformação” ou como uma “floresta de produção”.

Os parâmetros fitossociológicos das espécies com valor de importância (VI) maior ou igual a 0,50% para a floresta de Boqueirão do Leão podem ser observados na Tabela 4.1. Verifica-se que a *Araucaria angustifolia* é a espécie mais importante do dossel, assumindo um valor de importância (VI) de 20,78%, dado principalmente pela alta densidade de indivíduos observada (150 ind.ha^{-1}) e alta dominância absoluta ($12,49 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$), essa última correspondendo a 38% da área basal total de $32,88 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ encontrada na floresta. Esses valores relatados para essa espécie remetem a um elevado grau de desenvolvimento e recuperação a qual a floresta se encontra no presente, fato que pode estar atribuído, principalmente, ao histórico de plantios de pinhões em clareiras formadas pelo abate de árvores na propriedade durante a exploração extensiva que foi realizada no passado.

Tabela 4.1 – Parâmetros fitossociológicos para as espécies com valor de importância maior de 0,50% na floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.

Nome Científico	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VI (%)
<i>Araucaria angustifolia</i>	150,0	20,76	100	3,60	12,49	37,98	20,78
<i>Matayba elaeagnoides</i>	158,1	21,89	100	3,60	6,61	20,11	15,20
<i>Sebastiania commersoniana</i>	62,5	8,65	87,5	3,15	1,53	4,66	5,49
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	30,0	4,15	100	3,60	1,05	3,19	3,65
<i>Nectandra megapotamica</i>	20,6	2,85	100	3,60	1,22	3,71	3,39
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	25,6	3,55	75	2,70	0,85	2,59	2,95
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	29,4	4,07	87,5	3,15	0,34	1,05	2,76
<i>Allophylus edulis</i>	20,6	2,85	100	3,60	0,34	1,03	2,50
<i>Sapium glandulosum</i>	13,8	1,90	87,5	3,15	0,69	2,09	2,38
<i>Eugenia uniflora</i>	16,9	2,34	87,5	3,15	0,42	1,28	2,26
<i>Casearia decandra</i>	15,6	2,16	100	3,60	0,27	0,82	2,19
<i>Myrsine umbellata</i>	16,9	2,34	75	2,70	0,30	0,92	1,98
<i>Prunus myrtifolia</i>	9,4	1,30	87,5	3,15	0,47	1,44	1,96
<i>Nectandra lanceolata</i>	8,1	1,12	62,5	2,25	0,71	2,15	1,84
<i>Erythroxylum deciduum</i>	8,1	1,12	87,5	3,15	0,36	1,10	1,79
<i>Cupania vernalis</i>	11,3	1,56	75	2,70	0,35	1,06	1,77
<i>Luehea divaricata</i>	6,9	0,95	62,5	2,25	0,56	1,71	1,64
<i>Dasyphyllum spinescens</i>	8,1	1,12	75	2,70	0,32	0,96	1,60
<i>Ocotea pulchella</i>	7,5	1,04	62,5	2,25	0,49	1,49	1,59
<i>Annona sp.</i>	6,3	0,87	87,5	3,15	0,06	0,19	1,40
<i>Myrceugenia cucullata</i>	11,9	1,64	50	1,80	0,22	0,65	1,37
<i>Ilex brevicuspis</i>	6,3	0,87	37,5	1,35	0,40	1,23	1,15
<i>Ocotea puberula</i>	3,1	0,43	37,5	1,35	0,51	1,56	1,12
<i>Ilex paraguariensis</i>	5,6	0,78	50	1,80	0,13	0,39	0,99
<i>Lithraea brasiliensis</i>	7,5	1,04	25	0,90	0,23	0,69	0,88
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	3,1	0,43	50	1,80	0,08	0,24	0,82
<i>Machaerium paraguariense</i>	4,4	0,61	37,5	1,35	0,11	0,33	0,76
<i>Roupala brasiliensis</i>	3,8	0,52	37,5	1,35	0,13	0,38	0,75
<i>Xylosma sp.</i>	3,1	0,43	37,5	1,35	0,03	0,10	0,63
<i>Picramnia parvifolia</i>	2,5	0,35	37,5	1,35	0,06	0,17	0,62
<i>Myrceugenia oxysepala</i>	2,5	0,35	37,5	1,35	0,06	0,18	0,62
<i>Ocotea porosa</i>	2,5	0,35	25	0,90	0,19	0,58	0,61
<i>Solanum sanctaecatharinae</i>	1,9	0,26	37,5	1,35	0,04	0,12	0,58
<i>Myrcianthes pungens</i>	1,9	0,26	37,5	1,35	0,03	0,10	0,57
<i>Inga sp.</i>	1,9	0,26	37,5	1,35	0,04	0,11	0,57
Demais espécies (32)	35,0	4,87	500,0	18,0	1,21	3,67	8,85
TOTAL	722,5	100	2775	100	32,88	100	100

Em que: DA = densidade absoluta (ind.ha⁻¹); DR = densidade relativa (%); DoA= dominância absoluta (m².ha⁻¹); DoR = dominância relativa (%); VI% = valor de importância (%).

Fonte: O autor.

As demais espécies encontradas na FOM de Boqueirão do Leão que apresentaram os maiores valores de densidade, frequência e dominância e, assim, os maiores valores de importância (VI) foram: *Matayba elaeagnoides* (15,20%), *Sebastiania commersoniana* (5,49%), *Blepharocalyx salicifolius* (3,65%) e *Nectandra megapotamica* (3,39%). A floresta apresentou uma densidade de 722,5 ind.ha⁻¹, sendo a espécie *Matayba elaeagnoides* (camboatá-branco) a mais densa na área do estudo com 158,1 ind.ha⁻¹.

Vale salientar como relatado no Capítulo II, em grande parte dessas florestas que passaram por uma drástica redução de indivíduos comerciais de *Araucaria angustifolia* no passado, apresentam, hoje, a espécie *Matayba elaeagnoides* como sendo a principal folhosa ocorrente, muitas vezes superando a *Araucaria angustifolia* em dominância. Dessa forma, devido a *Matayba elaeagnoides* possuir copa densa e alta frequência no dossel médio/superior da floresta e adicionado à dificuldade que a araucária apresenta em se desenvolver em ambientes sombreados, o manejo dessa espécie é necessário para o contínuo desenvolvimento da *Araucaria angustifolia*, além da manutenção da alta diversidade na floresta.

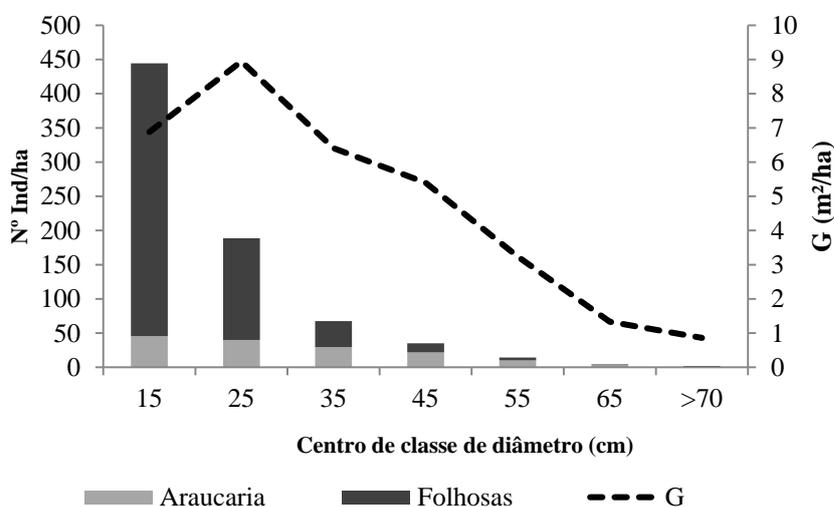
Na área de estudo foram amostradas 67 espécies, distribuídas em 50 gêneros, pertencentes a 31 famílias botânicas. A diversidade calculada pelo índice de diversidade de Shannon (H') foi de 2,93 nat.ind⁻¹, indicando média a alta diversidade de espécies. Esses valores estão próximos à área de manejo experimental de Nova Prata, descrita no Capítulo II, com uma diversidade de 2,88 nat.ind⁻¹.

A estrutura diamétrica da densidade absoluta e dominância para a FOM de Boqueirão do Leão pode ser observada na Figura 4.2. As barras referem-se às frequências observadas do número de indivíduos por hectare em cada classe de diâmetro para as espécies de folhosas e para a *Araucaria angustifolia*. A linha pontilhada se relaciona com o eixo y secundário e representa a área basal por hectare por classe de diâmetro. Observou-se que o comportamento da área basal apresenta decréscimo contínuo com o aumento da classe diamétrica a partir da segunda classe de diâmetro, a qual atingiu o valor máximo de 9 m².ha⁻¹, representando 27,4% da área basal total observada para a floresta em estudo.

Para a distribuição da densidade de árvores por hectare, verificou-se grande concentração de indivíduos nas classes inferiores de diâmetros, apresentando uma distribuição decrescente, também conhecida como “J” invertido. Esse padrão é característico das espécies pertencentes às florestas inequidâneas (ASSMANN, 1970) e garante que o processo dinâmico da floresta se perpetue, pois, a súbita ausência de indivíduos dominantes dará lugar para as chamadas “árvores de reposição” (LONGHI, 1980). Porém, analisando uma determinada espécie individualmente, esse entendimento geral de que grande quantidade de indivíduos nas

classes inferiores indica que a espécie vai estar garantida na estrutura futura da floresta nem sempre é verdadeira. Segundo Schaaf et al. (2006), se uma espécie tem poucos indivíduos nas classes inferiores, mas com pequena probabilidade de morrer indivíduos devido à competição, é bem provável que tal espécie se mantenha na floresta. No entanto, uma espécie na qual grande parte dos indivíduos estão sujeitos a morrer devido à competição, essa espécie irá necessitar apresentar uma elevada frequência nas classes diamétricas inferiores para ter alguma chance de sobreviver na comunidade.

Figura 4.2 – Distribuição diamétrica da densidade de indivíduos e área basal para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.



Fonte: O autor.

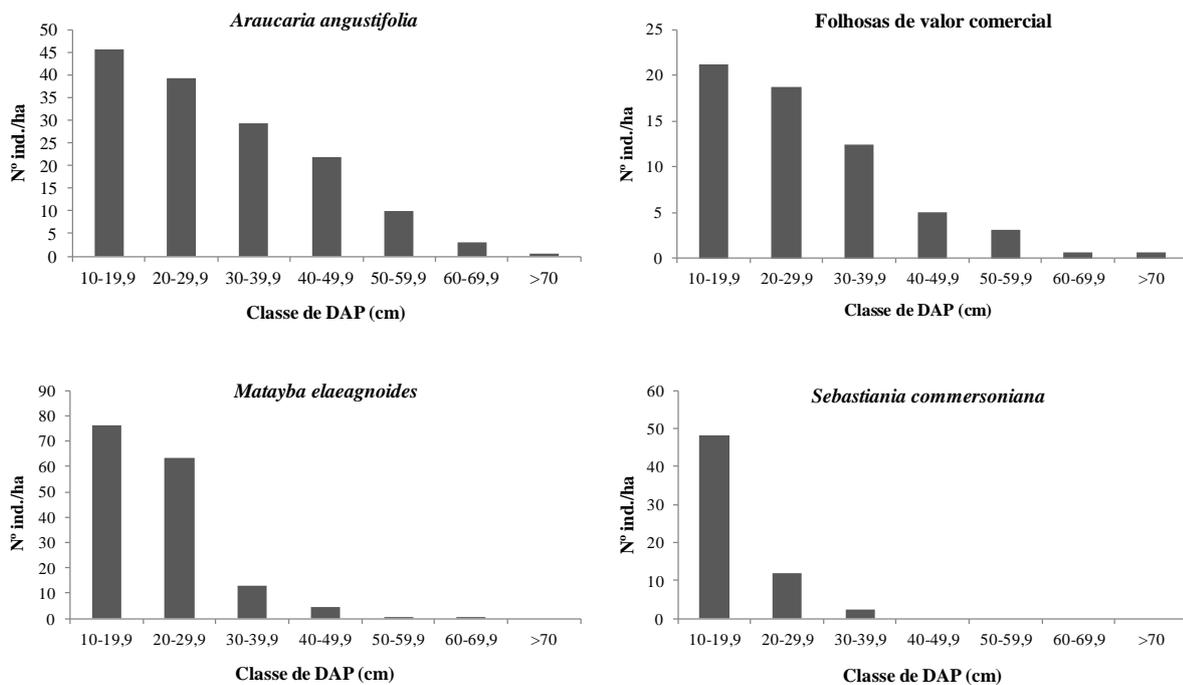
Analisando a distribuição diamétrica para as espécies de valor comercial (*Araucaria angustifolia* e folhosas de valor comercial) e para as espécies folhosas de maior densidade absoluta na área de estudo (*Matayba elaeagnoides* e *Sebastiania commersoniana*), verificou-se que todas elas apresentam uma distribuição decrescente com elevada frequência de indivíduos nas classes inferiores (Figura 4.3). Dessa forma, pelo entendimento anterior, essas espécies apresentam boa regeneração e estão garantidas na sucessão da floresta.

No caso da *Araucaria angustifolia*, o histórico de exploração no passado da floresta em estudo e enriquecimento com o plantio direto de sementes (pinhões) em clareiras formadas pelo abate de árvores, pode ter contribuído diretamente para a elevada frequência de indivíduos observada nas classes de diâmetro inferiores, ocorrendo 63,3% dos indivíduos nas duas primeiras classes diamétricas. Porém, é conhecido o baixo potencial que indivíduos de *Araucaria angustifolia* presentes no subdossel de florestas com alta densidade de indivíduos

possuem em se desenvolver e alcançar classes de vegetação adulta, sendo naturalmente substituída pelo avanço das espécies latifoliadas. Isto já foi referenciado em vários trabalhos relatando a baixa capacidade de regeneração da araucária sob floresta desenvolvida (SOUZA et al., 2008; PALUDO et al., 2009; CALLEGARO; LONGHI, 2013, BECKERT et al., 2014; EBLING et al., 2014).

Logo, o manejo da floresta com a redução de espécies folhosas de alta densidade como *Matayba elaeagnoides* e *Sebastiania commersoniana*, verificadas no presente estudo, pode proporcionar a redução da competição (luz, espaço, nutrientes, entre outros) e favorecer o desenvolvimento desses indivíduos de araucária de pequenas dimensões, os quais estão presentes no subdossel apresentando, muitas vezes, crescimento estagnado e suscetíveis à mortalidade natural. Dessa forma, analisando a distribuição diamétrica das espécies com maior densidade absoluta na floresta de estudo (Figura 4.3), verifica-se que *Matayba elaeagnoides* e *Sebastiania commersoniana* possuem estrutura favorável para o controle das frequências nas primeiras classes de diâmetro, apresentando elevada concentração de indivíduos nessas classes.

Figura 4.3 – Distribuição diamétrica das espécies de valor comercial (*Araucaria angustifolia* e folhosas de valor comercial) e espécies de maior densidade absoluta para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.



Fonte: O Autor.

Considerando-se apenas as espécies de valor comercial presentes na floresta e separando a *Araucaria angustifolia* do grupo das espécies folhosas de valor comercial, verificou-se que a araucária corresponde a grande maioria do volume comercial da floresta, com cerca de 103,32 m³.ha⁻¹ distribuídos em 150 indivíduos (Tabela 4.2). Já o grupo das folhosas de valor comercial apresentaram cerca de 62 indivíduos por hectare, contribuindo com 21,94 m³.ha⁻¹ do volume comercial da floresta.

Tabela 4.2 - Distribuição diamétrica da densidade de indivíduos, área basal e volume comercial por hectare para as espécies de valor comercial e demais espécies. Boqueirão do Leão, RS.

Classe de DAP (cm)	Espécies de Valor Comercial						Demais espécies		
	<i>Araucaria angustifolia</i>			Folhosas					
	N	G	Vcc	N	G	Vcc	N	G	Vcc
10-19,9	45,0	0,76	4,21	20,6	0,34	1,75	345,0	5,53	24,28
20-29,9	40,0	1,85	12,55	19,4	0,91	4,93	130,0	6,26	29,96
30-39,9	29,4	2,91	22,65	12,5	1,15	5,92	25,0	2,30	11,26
40-49,9	21,9	3,46	30,23	5,0	0,71	3,67	8,1	1,23	6,44
50-59,9	10,0	2,26	21,19	3,1	0,72	3,84	1,3	0,26	1,49
60-69,9	3,1	0,96	9,76	0,6	0,18	0,55	0,6	0,19	0,67
>70	0,6	0,29	2,74	0,6	0,29	1,29	0,6	0,28	0,64
Total	150,0	12,49	103,32	61,9	4,30	21,94	510,6	16,03	74,74

Em que: N = número de indivíduos por hectare; G = área basal (m².ha⁻¹); Vcc = volume comercial com casca (m³.ha⁻¹).

Fonte: O autor.

Ao considerarmos como diâmetro comercial o limite de 40 cm (linha tracejada), percebe-se que a floresta mostra-se altamente produtiva, apresentando um volume comercial potencial de corte de 63,92 m³.ha⁻¹ (35,6 ind.ha⁻¹) para a araucária e de 9,35 m³.ha⁻¹ (9,3 ind.ha⁻¹) para as folhosas de valor comercial. Esses valores correspondem a cerca de 85% do volume comercial potencial de corte sendo constituído pela *Araucaria angustifolia*.

Assim, a FOM de Boqueirão do Leão pode ser classificada como uma “floresta de produção”, tendo a *Araucaria angustifolia* como principal espécie presente na floresta. Além disso, possui uma distribuição diamétrica favorável para aplicação de intervenções de manejo, tendo como base o uso sustentável da produção e a constante condução da floresta a uma estrutura produtiva e com alta diversidade de espécies, sem comprometer seu estoque futuro.

As espécies de folhosas consideradas de valor comercial encontradas na área de estudo estão listadas na Tabela 4.3 pelo seu nome científico, nome vulgar e família a qual pertencem.

Tabela 4.3 – Lista das espécies de folhosas de valor comercial encontradas na floresta de Boqueirão do Leão, RS.

Nome científico	Nome vulgar	Família
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro	Meliaceae
<i>Cinnamomum amoenum</i> (Nees) Kosterm.	Canela	Lauraceae
<i>Cordia americana</i> (L.) Gottshling & J.E.Mill.	Guajuvira	Boraginaceae
<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	Ipê-ouro	Bignoniaceae
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	Açoita-cavalo	Malvaceae
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	Canela-amarela	Lauraceae
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Canela-preta	Lauraceae
<i>Ocotea porosa</i> (Nees) Barroso	Imbuia	Lauraceae
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	Canela-guaicá	Lauraceae
<i>Ocotea pulchella</i> (Nees) Mez	Canela-lageana	Lauraceae
<i>Prunus myrtilifolia</i> (L.) Urb.	Pessegueiro-do-mato	Rosaceae

Fonte: O Autor.

4.3.2 REGULAÇÃO DA DENSIDADE E DO ESTOQUE DA FLORESTA

4.3.2.1 Alternativas de Manejo Propostas

Visando atender as premissas de uso sustentável do recurso florestal, com a constante condução da floresta a uma estrutura produtiva, com alta diversidade de espécies e contínuo desenvolvimento da *Araucaria angustifolia* na floresta, foram desenvolvidas algumas alternativas de manejo para a área de FOM do presente estudo. Para tanto, considerou-se uma variação na taxa de corte entre 20-30% da área basal total da floresta, sendo esse nível de redução recomendado no Capítulo II.

Para as alternativas de manejo propostas na FOM de Boqueirão do Leão, foi considerado um diâmetro máximo desejado ($D_{m\acute{a}x}$) de 60 cm. Adicionalmente, foi proposto reduções na curva de frequência ajustada para as classes diamétricas inferiores ao diâmetro máximo desejado, com a finalidade de cobrir toda a variação dos níveis de corte e verificar sua influência no tempo de recuperação do estoque. Assim, as alternativas de manejo propostas para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão foram simuladas da seguinte forma:

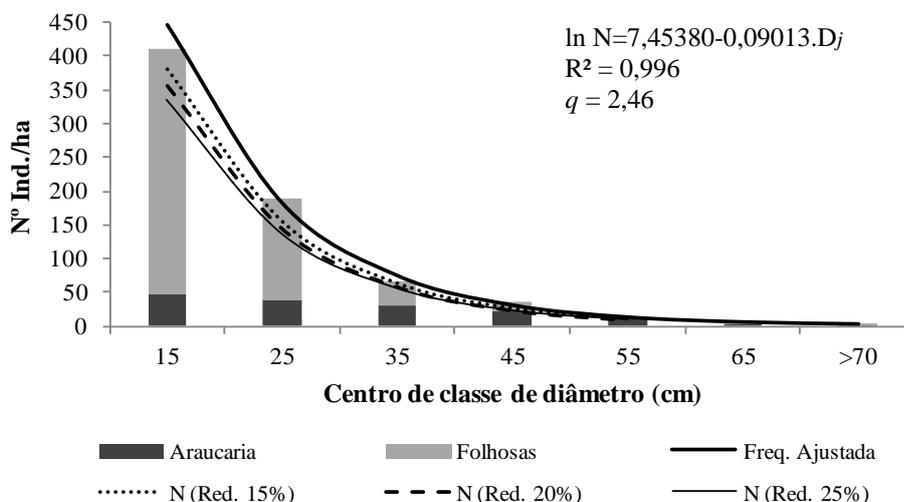
- a) *Alternativa de Manejo 1* (AM1): extração das árvores acima do diâmetro máximo desejado ($D_{m\acute{a}x}$) + redução de 15% na curva de distribuição de frequência balanceada;
- b) *Alternativa de Manejo 2* (AM2): extração das árvores acima do $D_{m\acute{a}x}$ + redução de 20%

na curva de distribuição de frequência balanceada;

c) *Alternativa de Manejo 3 (AM3)*: extração das árvores acima do $D_{máx}$ + Redução de 25% na curva de distribuição de frequência balanceada.

A distribuição da frequência observada e ajustada por classe de diâmetro para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, bem como as frequências esperadas pela regulação da densidade em cada uma das alternativas de manejo estão representadas na Figura 4.4. A frequência estimada por classe de diâmetro obtida pelo modelo de Meyer, expressa na forma linearizada pela equação: $\ln N_i = 7,45380 - 0,09013 \cdot d_i$, confirmou a tendência exponencial negativa (“J” invertido) da floresta em estudo. Essa equação apresentou um bom ajuste com um coeficiente de determinação igual a 0,996. O valor do quociente de Liocourt (q), calculado pela divisão do número de indivíduos de uma classe diamétrica pelo número de indivíduos da classe anterior, foi de 2,46, considerado alto para esta tipologia florestal. Este valor está bem acima ao valor de 1,88 encontrado para a Floresta Nacional de Passo Fundo – RS, por Schneider e Finger (2000). Segundo Braz (2010), quanto maior o “q”, maior será o número de árvores de pequeno porte na floresta e menor o de árvores de grande porte incluídas na distribuição, sendo que, em termos de manejo, isso indica que podem estar disponíveis para corte as classes maiores.

Figura 4.4 – Distribuição da frequência observada por classe de diâmetro para araucária e para folhosas, frequência ajustada para a floresta e frequência esperada após exploração em cada alternativa de manejo para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.

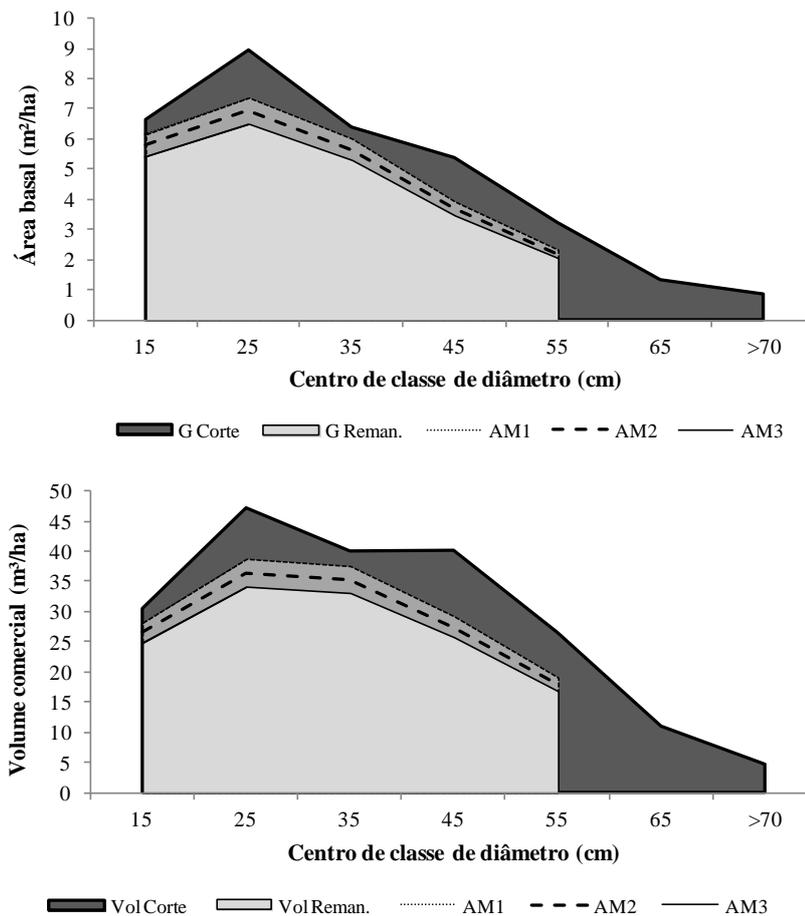


Em que: N (Red. 15%) = frequência esperada para a alternativa de manejo 1; N (Red. 20%) = frequência esperada para a alternativa de manejo 2; N (Red. 25%) = frequência esperada para a alternativa de manejo 3.

Fonte: O autor.

A representação gráfica das linhas de máxima área basal e volume comercial, por classe diamétrica, observadas e a permanecer na floresta, para cada alternativa de manejo, demonstram que a redução da frequência ajustada em níveis percentuais também proporcionou que a estrutura diamétrica da área basal e do volume comercial apresentassem o mesmo comportamento observado da floresta, porém com uma distribuição regulada entre as classes (Figura 4.5). As maiores diferenças entre os valores observados e as linhas propostas de manejo foram observadas para as classes de diâmetro com centro de classe de 15 cm e 45 cm, indicando que maiores extrações podem ocorrer nessas classes.

Figura 4.5 – Distribuição da área basal e volume comercial remanescente e possível de corte por classe de diâmetro em cada alternativa de manejo (AM) para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.



Em que: G corte = área basal disponível para corte; G reman = área basal remanescente após corte; Vol corte = volume comercial disponível para corte; Vol Reman = volume comercial remanescente após corte.

Fonte: O autor.

A estrutura diamétrica remanescente, atual e disponível para corte, em relação ao

número de árvores, área basal e volume comercial em cada uma das alternativas de manejo propostas estão demonstradas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Regulação da floresta com araucária de Boqueirão do Leão para as alternativas de manejo propostas.

Alternativa de Manejo 1 – AM1										
CC	Estr. Atual			N Ajustado	Estr. Remanescente			Corte		
	N	G	Vcc		N	G	Vcc	N	G	Vcc
15	412	6,66	30,49	446,7	379,7	6,14	28,11	32,2	0,52	2,38
25	188	8,98	47,17	181,4	154,2	7,36	38,66	34,0	1,62	8,51
35	67	6,41	40,02	73,6	62,6	6,00	37,46	4,3	0,41	2,56
45	35	5,40	40,14	29,9	25,4	3,92	29,15	9,6	1,48	10,99
55	14	3,24	26,52	12,1	10,3	2,32	19,04	4,1	0,91	7,48
65	4	1,33	10,98	4,9	-	-	-	4,4	1,33	10,98
75	2	0,86	4,67	2,0	-	-	-	2,0	0,86	4,67
Total	723	32,88	200,00	750,7	632,2	25,75	152,42	90,3	7,13	47,57
Taxa de corte AM1								21,7%	23,8%	
Alternativa de Manejo 2 – AM2										
CC	Estr. Atual			N Ajustado	Estr. Remanescente			Corte		
	N	G	Vcc		N	G	Vcc	N	G	Vcc
15	412	6,66	30,49	446,7	357,4	5,78	26,46	54,5	0,88	4,04
25	188	8,98	47,17	181,4	145,1	6,92	36,39	43,0	2,05	10,79
35	67	6,41	40,02	73,6	58,9	5,65	35,26	8,0	0,76	4,76
45	35	5,40	40,14	29,9	23,9	3,69	27,43	11,1	1,71	12,70
55	14	3,24	26,52	12,1	9,7	2,19	17,92	4,7	1,05	8,60
65	4	1,33	10,98	4,9	-	-	-	4,4	1,33	10,98
75	2	0,86	4,67	2,0	-	-	-	2,0	0,86	4,67
Total	723	32,88	200,00	750,7	595,0	24,23	143,46	127,5	8,65	56,54
Taxa de corte AM2								26,3%	28,3%	
Alternativa de Manejo 3 – AM3										
CC	Estr. Atual			N Ajustado	Estr. Remanescente			Corte		
	N	G	Vcc		N	G	Vcc	N	G	Vcc
15	412	6,66	30,49	446,7	335,0	5,42	24,80	76,9	1,24	5,69
25	188	8,98	47,17	181,4	136,0	6,49	34,11	52,1	2,49	13,06
35	67	6,41	40,02	73,6	55,2	5,30	33,06	11,6	1,12	6,97
45	35	5,40	40,14	29,9	22,4	3,46	25,72	12,6	1,94	14,42
55	14	3,24	26,52	12,1	9,1	2,05	16,80	5,3	1,19	9,72
65	4	1,33	10,98	4,9	-	-	-	4,4	1,33	10,98
75	2	0,86	4,67	2,0	-	-	-	2,0	0,86	4,67
Total	723	32,88	200,00	750,7	557,8	22,72	134,49	164,7	10,17	65,51
Taxa de corte AM3								30,9%	32,7%	

Em que: ■ = aproveitamento comercial (DAP≥40cm); CC = centro de classe de diâmetro; N = número de indivíduos por hectare; G = área basal (m².ha⁻¹); Vcc = volume comercial com casca (m³.ha⁻¹).

Fonte: O autor.

Na Tabela 4.4 o número de árvores disponíveis para corte em cada classe de diâmetro foi obtido pela subtração entre a frequência observada na estrutura atual e a frequência remanescente após a aplicação de cada alternativa de manejo. Para a determinação do número de indivíduos remanescentes considerou-se os níveis de reduções em relação à frequência ajustada pelo modelo de Meyer.

A FOM de Boqueirão do Leão apresentou uma densidade de 723 ind.ha⁻¹, perfazendo uma área basal total de 32,88 m².ha⁻¹ e volume comercial de 200,0 m³.ha⁻¹. Assim, verificou-se que as alternativas de manejo proporcionaram reduções na ordem de 21,7% para a AM1, 26,3% para a AM2 e de 30,9% para a AM3 em relação à área basal total, estando esses valores bem próximos do limite desejado de 20-30% de redução da área basal total, como recomendado no Capítulo II. Vale salientar que não foram consideradas para efeito de cálculo as árvores mortas e danificadas decorrente da exploração madeireira, assumindo-se a realização de corte seletivo sem uso de maquinário de grande porte na área e exploração de impacto reduzido, proporcionando, assim, mínimo dano à vegetação remanescente.

A AM1 oferece a extração de 90,3 árv.ha⁻¹, correspondendo a uma redução de 7,13 m².ha⁻¹ em área basal e de 47,57 m³.ha⁻¹ em volume comercial. Desse volume total, 71,7% estão presentes nas classes comerciais (DAP≥40cm) e, ainda, cerca de 33% acima do diâmetro máximo desejado de 60 cm. Para a AM2 está disponível para corte 127,5 árv.ha⁻¹, sendo cerca de 22 árv.ha⁻¹ com diâmetro acima de 40 cm, gerando um volume comercial de 37,0 m³.ha⁻¹, correspondendo a 65,4% do volume comercial total. Já a AM3 proporciona a extração de 164,7 árv.ha⁻¹, com um volume acima do diâmetro limite comercial de aproximadamente 40,0 m³.ha⁻¹ distribuídos em cerca de 24 árv.ha⁻¹, correspondendo a 61,0% do volume comercial total disponível para corte.

As alternativas de manejo propostas apresentaram uma redução em relação ao volume total de 23,8% para a AM1, 28,3% para a AM2 e 32,7% para a AM3, sendo esse volume podendo ser composto por *Araucaria angustifolia*, folhosas de valor comercial e demais folhosas ocorrentes na área. As intensidades de corte do presente estudo estão próximas às de outros trabalhos que visam regular a produção em Floresta Ombrófila Mista. Em trabalho realizado por Hess et al. (2010), ao projetar o manejo de uma floresta natural de araucária em Lages, SC, pelo conceito de floresta balanceada, verificaram que para a proposição de manejo com diâmetro máximo desejado de 35 cm, representou em termos de volume 70,56 m³.ha⁻¹, perfazendo 27,5% de intensidade de corte do volume comercial por hectare. Para outra proposição com diâmetro máximo desejado de 40 cm, o volume foi de 49,75 m³.ha⁻¹, equivalendo a 19,4% de intensidade de corte. Já na Floresta Nacional de Passo Fundo, RS,

Schneider e Finger (2000), calcularam uma intensidade de corte de 35,5% para a *Araucaria angustifolia*, considerando um diâmetro máximo desejado de 50 cm.

Para todas as alternativas de manejo consideradas no presente estudo, o volume acima do diâmetro máximo desejado foi de 15,65 m³.ha⁻¹, sendo aproximadamente 80% constituído pela *Araucaria angustifolia* e apenas 12,7% por folhosas de valor comercial. Já para as classes de diâmetro entre o limite comercial e o diâmetro máximo desejado (40cm≤DAP<60cm) constatou-se que 77% do volume comercial presente nessas classes é constituído pela *Araucaria angustifolia* e apenas 11,2% por folhosas de valor comercial. Assim, verifica-se que a araucária corresponde a quase totalidade do volume comercial disponível para corte na floresta em estudo.

O aproveitamento de árvores comerciais nas classes diamétricas acima de 40 cm deve ser realizado de tamanha intensidade que a floresta mantenha uma estrutura produtiva, uma vez que muitas árvores presentes nessas classes irão compor o estoque comercial do ciclo de corte subsequente. Dessa forma, recomenda-se que durante a extração da *Araucaria angustifolia* se mantenha, no mínimo, os mesmos valores totais disponíveis atuais para corte. Essa restrição possibilitará manter a sustentabilidade de produção dessa espécie, uma vez que no próximo ciclo de corte estará disponível para extração apenas o volume que entrou no sistema, ou seja, as árvores que passaram acima do diâmetro máximo desejado e as árvores que ingressaram na classe mínima de corte (DAP≥40cm), após suprirem às que migraram acima do diâmetro máximo desejado.

Analisando a distribuição diamétrica da *Araucaria angustifolia* apresentada na Tabela 4.2, verifica-se a presença de cerca de 22 ind.ha⁻¹ na classe de 40≤DAP<50cm e de 10 ind.ha⁻¹ para a classe de 50≤DAP<60cm. Assim, em todas as alternativas de manejo o número disponível para corte nessas classes é menor ao número observado de *Araucaria angustifolia*, indicando que o volume de corte comercial poderia ser constituído totalmente por essa espécie. Da mesma forma, levando-se em consideração a restrição de manutenção obrigatória do volume remanescente de araucária de, no mínimo, o atualmente disponível para extração, nota-se que todas as alternativas de manejo proporcionam a retirada total do volume disponível para corte dessa espécie, nessas classes consideradas, satisfazendo essa condição.

Para as classes de diâmetro inferiores a 40 cm, as reduções da densidade de indivíduos de espécies folhosas, de acordo com os níveis percentuais em relação à curva de frequência ajustada pelo modelo de Meyer, indicou a necessidade de extração de cerca de 70 ind.ha⁻¹ para a AM1, 105 ind.ha⁻¹ para a AM2 e 140 ind.ha⁻¹ para a AM3. Nessas classes de diâmetro a extração deve dar preferência, principalmente, para indivíduos de *Matayba elaeagnoides* e

Sebastiania commersoniana, sendo essas as espécies folhosas de maior densidade absoluta observadas na área em estudo.

A redução da curva de distribuição de frequência ajustada em níveis percentuais nessas classes é de suma importância no manejo da Floresta Ombrófila Mista visando o desenvolvimento futuro da *Araucaria angustifolia* na floresta. Vale salientar que pelo fato da araucária ser uma espécie heliófita quando adulta (CARVALHO, 2003), a falta de luz, associada ao adensamento do dossel da floresta e competição com as espécies folhosas, faz com que a araucária não encontre condições favoráveis para se regenerar (LINGNER et al., 2007) e alcançar o dossel superior, podendo ficar por vários anos ou até décadas com crescimento estagnado se nenhuma condição de luz for conferida. Dessa forma, para um manejo efetivo da regulação de densidade da floresta, buscando favorecer o desenvolvimento dessas araucárias, podem-se aliar técnicas visando o manejo de árvores individuais, como forma de proporcionar condições ótimas para o máximo desenvolvimento de indivíduos desejáveis para futura colheita na floresta, ou mesmo, para a indução do crescimento e estabelecimento da araucária no dossel superior da floresta.

4.3.3 TEMPO DE RECUPERAÇÃO DO ESTOQUE INICIAL

Para a determinação do tempo recuperação do estoque inicial da FOM de Boqueirão do Leão, após a regulação da densidade com a aplicação de qualquer uma das alternativas de manejo propostas, assumiu-se que a floresta remanescente possui o mesmo comportamento de crescimento em relação à área experimental de Nova Prata submetida à mesma intensidade de corte seletivo e monitorada periodicamente. Dessa forma, com o incremento periódico anual percentual obtido na área de manejo experimental, foi possível estimar o tempo de recuperação do estoque comercial inicial para as diferentes alternativas de manejo propostas para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão (Tabela 4.5).

As alternativas de manejo propostas, com a definição de um diâmetro máximo desejado de 60 cm e reduções de níveis percentuais a curva de distribuição da frequência ajustada por classe de diâmetro, apresentaram tempo de recuperação do estoque inicial distintas para reduções de 20-30% da área basal, considerando-se o mesmo incremento periódico anual relativo em volume (IPAv%) de 2,79%, obtido na área experimental de Nova Prata, como descrito no Capítulo II. Vale salientar que essa taxa de crescimento foi determinada para a floresta em geral, considerando-se todas as espécies ocorrentes. Porém, ao analisarmos apenas o IPAv% para a *Araucaria angustifolia*, sendo essa a espécie que

demonstra os maiores estoques disponíveis de corte para a floresta de Boqueirão do Leão, o valor obtido na área de manejo experimental foi de 3,76% (Capítulo II), o que remeteria a um tempo de recuperação do estoque inicial em menor intervalo de tempo, caso essa taxa seja considerada. Assim, como as alternativas de manejo do presente capítulo recomendam cortes de araucária e também folhosas de alta densidade na floresta, optou-se pelo uso da taxa de 2,79% como garantia de recuperação da floresta para o próximo ciclo de corte.

Tabela 4.5 – Tempo de recuperação do estoque inicial em volume comercial para cada alternativa de manejo na floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.

Manejo	Vi (m³/ha)	Corte (m³/ha)	IC %	V rem (m³/ha)	IPAv %	cc (anos)
AM 1	200,0	47,57	23,8	152,43	2,79*	9,9
AM 2	200,0	56,54	28,3	143,46	2,79*	12,1
AM 3	200,0	65,50	32,7	134,50	2,79*	14,4

Em que: Vi = volume comercial com casca existente antes da exploração; IC = intensidade de corte; V_{rem} = volume comercial com casca remanescente logo após as explorações; cc = tempo de recuperação do estoque inicial da floresta (ciclo de corte); * = incremento periódico anual relativo para o volume obtidos na área de manejo experimental de Nova Prata, RS.

Fonte: O autor.

A AM1, com uma taxa de corte de 47,57 m³.ha⁻¹, equivalendo a 23,8% do volume comercial total, revelou a necessidade de aproximadamente 10 anos para recuperar o estoque inicial em volume comercial. Já a alternativa com a maior intensidade (AM3) apresentou um tempo de recuperação do estoque inicial em torno de 50% maior que a alternativa de menor intensidade de corte. Com uma taxa de corte de 65,5 m³.ha⁻¹ (32,7% do volume comercial total), a AM3 levaria cerca de 15 anos para atingir a condição inicial anterior a exploração.

Dessa forma, as variações das intensidades de cortes para a FOM de Boqueirão do Leão, considerando-se os parâmetros de manejo experimental obtidos na floresta de Nova Prata com níveis de intervenções recomendados de 20-30% de redução da área basal, mostraram uma alta discrepância na determinação dos ciclos de cortes. Esse fato coloca em evidência a importância de se definir com clareza a intensidade de corte realizada para a definição correta do tempo de recuperação do estoque inicial, garantindo a sustentabilidade de produção do ciclo de corte subsequente.

Alguns outros trabalhos realizados com a finalidade de projetar o manejo em Floresta Ombrófila Mista levaram em considerações diferentes propostas de regulação da floresta. Hess et al. (2010) visando atingir o conceito de floresta balanceada, projetou o manejo para

uma floresta com araucária em Lages, SC, sendo 23 anos o tempo necessário para a floresta repor o volume retirado de $70,56 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, considerando como diâmetro máximo desejado de 35 cm e uma intensidade de corte de 27,5%. No mesmo município de Lages, SC, Costa (2015) ao regular a produção de madeira em uma propriedade rural com alta dominância de *Araucaria angustifolia*, projetou uma intensidade de corte de 32,6%, assumindo-se quociente de Liocourt de 1,3 e área basal remanescente de $14,0 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, resultando uma taxa de corte de $56,0 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, com ciclos de 16,3 anos para a sustentabilidade de produção da floresta.

No Rio Grande do Sul, Schneider e Finger (2000) determinaram a taxa de corte sustentada para a Floresta Nacional de Passo Fundo pelo método BDq, sendo considerada uma estratégia de manejo com redução da densidade para uma área basal de, aproximadamente, $25 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, quociente de Liocourt de 1,4 e diâmetro máximo desejado de 50 cm. Os autores calcularam uma intensidade de corte para a *Araucaria angustifolia* de 35,5% ($60,8 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$), considerando um ciclo de corte de 14 anos.

4.3.4 PROJEÇÃO DA RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA

A projeção da distribuição das frequências nas classes diamétricas ao longo do tempo de recuperação do estoque inicial estimado para cada alternativa de manejo, foi realizado para um período temporal de 5 anos, podendo-se, então, realizar simulações para períodos de 5 em 5 anos após os cortes seletivos. Dessa forma, a frequência ajustada por classe de diâmetro, antes da regulação da densidade e em cada alternativa de manejo proposta, foi comparada com as projeções realizadas para o tempo de recuperação do estoque inicial de 10 anos estimados anteriormente para a alternativa de manejo 1 (AM1) e 14,4 anos (≈ 15 anos) estimada na alternativa de manejo 3 (AM3), estando as respectivas projeções apresentadas na Tabela 4.6.

Para a AM1 foram realizadas duas projeções sendo estimado ao fim do ciclo de corte de 10 anos a presença de $765 \text{ ind}.\text{ha}^{-1}$, área basal de $34,66 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ e $212,28 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ de volume comercial, estando todos esses valores acima dos observados na ocasião anterior a aplicação do manejo na floresta com araucária de Boqueirão do Leão. Da mesma forma para AM3, o tempo projetado de recuperação do estoque inicial para o período de 15 anos também mostrou suficiente, podendo atingir uma área basal de $35,24 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ e volume comercial de $218,59 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ para o ciclo de corte considerado.

Tabela 4.6 – Comparação da projeção do tempo de recuperação do estoque por classe diamétrica pelo método de Razão de Movimentação nas alternativas de manejo propostas para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.

CC	N Obs.	Ajustado			Prognose AM1			Prognose AM 3		
		N	G	V	N (t+2)	G (t+2)	V (t+2)	N (t+3)	G (t+3)	V (t+3)
15	412	447	7,23	33,06	444,3	7,19	32,9	421,6	6,82	31,20
25	188	181	8,66	45,51	181,1	8,65	45,4	175,7	8,39	44,09
35	67	74	7,05	43,99	83,4	7,98	49,8	81,7	7,82	48,81
45	35	30	4,61	34,29	36,5	5,63	41,9	37,7	5,81	43,25
55	14	12	2,81	23,00	15,4	3,56	29,1	16,7	3,87	31,71
65	4	5	1,64	13,53	4,4	1,48	12,2	6,2	2,06	17,00
>70	2	2	0,86	4,68	0,4	0,18	1,0	1,1	0,46	2,53
Total	723	751	32,85	198,07	765,5	34,66	212,28	740,8	35,24	218,59
K-S calc.					0,0221			0,0415		

Em que: CC = centro de classe de DAP (cm); N = número de indivíduos por hectare; G = área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$); Vcc = volume comercial com casca ($m^3 \cdot ha^{-1}$); t+2 = período de duas projeções (10 anos); t+3 = período de três projeções (15 anos).

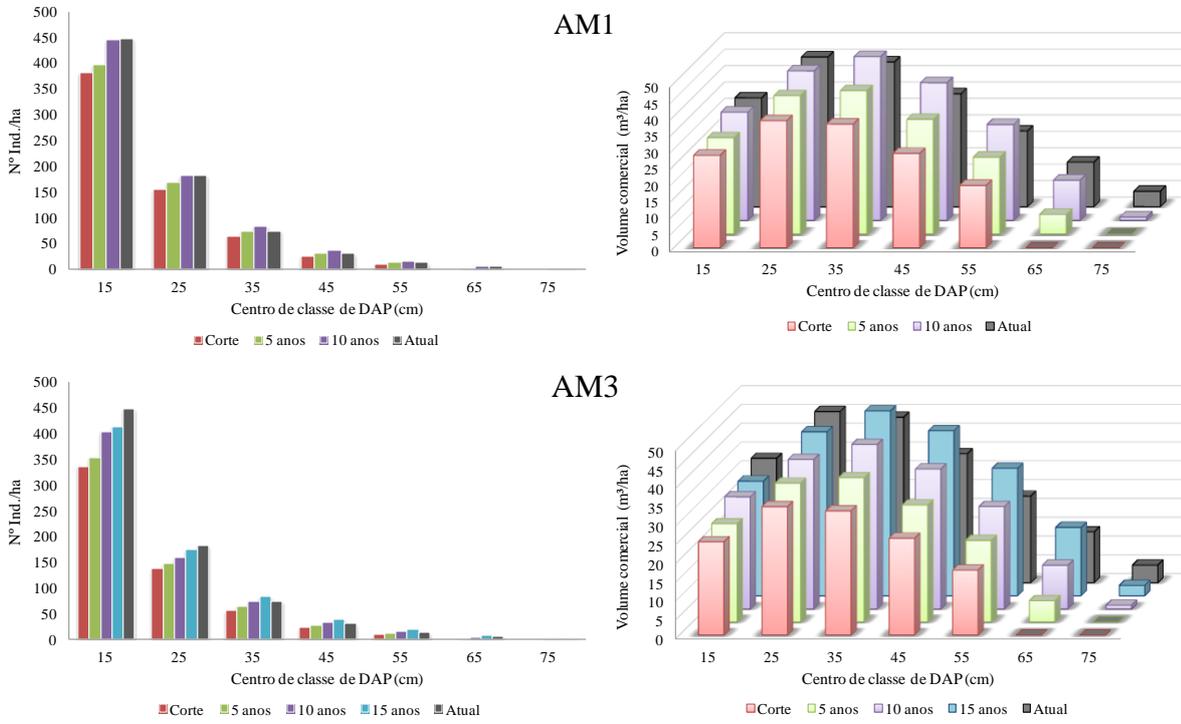
Fonte: O autor.

Para verificar se as projeções ajustadas e projetadas para cada ciclo de corte apresentavam a mesma distribuição, o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) acusou valor de $D_{calc} = 0,0221$ para a alternativa de manejo 1 (AM1) e $D_{calc} = 0,0415$ para a alternativa de manejo 3 (AM3) (Tabela 4.6). Esses valores foram inferiores ao $D_{tabelar} = 0,0496$ para $\alpha = 0,05$, indicando que não houve diferença estatística entre a frequência ajustada pré-corte e as projetadas na distribuição do número de árvores em cada classe diamétrica para o ciclo de corte de 10 anos na AM1 e ciclo de 15 anos na AM3.

Embora não se tenha observado diferenças entre as frequências observadas e projetadas, verificou-se que em ambas as alternativas de manejo (AM1 e AM3), as projeções realizadas para as classes diamétricas acima do diâmetro máximo desejado demonstram que a floresta não conseguirá repor na mesma quantidade o número de indivíduos e volume comercial que foi extraído para a última classe de diâmetro ($DAP > 70$ cm) (Figura 4.6). Vale salientar que para manter o crescimento elevado da floresta, essa classe de diâmetro não é de interesse, uma vez que é constituída por indivíduos senis, de baixo crescimento e, consequentemente, baixo incremento em volume.

Para as demais classes diamétricas o comportamento do desenvolvimento da floresta em cada projeção realizada demonstrou que, para o período do ciclo de corte considerado, as classes intermediárias de diâmetro apresentaram as maiores dinâmicas (crescimento), superando a condição inicial da floresta.

Figura 4.6 – Evolução das projeções da frequência e volume comercial por classe de diâmetro realizadas no período compreendido entre o ciclo de corte na AM1 e AM3, para a floresta com araucária de Boqueirão do Leão, RS.



Fonte: O autor.

Dessa forma, as projeções realizadas confirmam o potencial de aproveitamento da floresta com araucária de Boqueirão do Leão, uma vez que, provavelmente, para o próximo ciclo de corte, as produções mostram-se iguais, ou até mesmo maiores às iniciais.

4.3 CONCLUSÕES

O uso de dados experimentais, obtidos nos tratamentos de manejo de Nova Prata, RS, mostraram-se possíveis de aplicação no planejamento do manejo na floresta com araucária de Boqueirão do Leão, podendo ser aplicado em outras áreas semelhantes com êxito.

A regulação da produção da floresta em estudo, com a definição de um diâmetro máximo desejado de 60 cm e reduções em níveis percentuais na curva de frequência ajustada, permitiu a projeção de um ciclo de corte variando de 10 a 15 anos para reduções em torno de 20-30% da área basal total.

A projeção da distribuição da frequência nas classes de diâmetro, pelo método de Razão de Movimentação, para o período dos ciclos de cortes considerados, indicou que a

floresta com araucária em estudo consegue repor seu estoque inicial total, porém, apresentando déficits de indivíduos na última classe diamétrica ($>70\text{cm}$). Para manter a floresta com níveis elevados de crescimento, essa última classe não é de grande interesse, uma vez que é composta por indivíduos senis, de baixo crescimento e que pouco contribuem com o incremento volumétrico total da floresta.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- APG III. The Angiosperm Phylogeny Group III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of higher plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, n. 2, p.105-121, 2009.
- ASSMANN, E. **The principles of Forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970. 506p.
- BECKERT, S. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014.
- BORSOI, G. A. **Subsídios para o manejo de uma Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração natural**. 2004. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Inventário Florestal Nacional: Florestas Nativas do Rio Grande do Sul**. Brasília: Edit. Gráfica Brasileira Ltda., FATEC, 1983. 345p.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria nº 37-N, de 03 de Abril de 1992. Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção**. Brasília: IBAMA, 1992. 15p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria Ministerial nº49, de 06 de fevereiro de 2002. Proposta do grupo de trabalho preservação e recuperação da Floresta Ombrófila Mista no Estado de Santa Catarina**. Brasília: MMA, 2002. 77p.
- BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais da Amazônia**. 2010. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- BRAZ, E. M. et al. Manejo da estrutura diamétrica remanescente de florestas tropicais. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 787-794, 2012.
- CALLEGARO, R. M.; LONGHI, S. J. Grupos florísticos em uma Floresta Ombrófila Mista, Nova Prata, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 641-647, 2013.
- CAMPOS, J. C. C.; RIBEIRO, J. C.; COUTO, L. Emprego da distribuição diamétrica na determinação da intensidade de corte em matas naturais submetidas ao sistema de seleção. **Revista Árvore**, v. 7, n. 2, p. 110-121, 1983.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo, PR: Embrapa Floresta. v. 1, 2003. 1039 p.

CIENTEC. Consultoria e Desenvolvimento de Sistemas. **Software Mata Nativa 2: Sistema para Análise Fitosociológica, Elaboração de Inventários e Planos de Manejo de Florestas Nativas**. Viçosa - MG: Cientec, 2006.

COSTA, E. A. **Modelagem biométrica de árvores com crescimento livre e sob competição em floresta de araucária**. 2015. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

EBLING, A. A. et al. Alterações florísticas e estruturais em floresta com araucária no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 1, p. 1-27, 2014.

HESS, A. F. et al. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010.

HESS, A. F. Manejo de *Araucaria angustifolia* pelo quociente de Liocourt em propriedade rural no Município de Painel, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 227-232, 2012.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária: a floresta do Brasil Meridional**. 2. ed. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2010. 168 p.

LINGNER, D. V. et al. Caracterização da estrutura e da dinâmica de um remanescente de Floresta com Araucária no Planalto Catarinense. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 55, p. 55-66, 2007.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no sul do Brasil**. 1980. 198f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

MEYER, H. A. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. **Journal of Forestry**, v. 50, p. 85-92, 1952.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 574p.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v.11, n.2, p.9-25, 2001.

PALUDO, G. F. et al. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) em Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1109-1121, 2009.

PORTER-BOLLAND, L. et al. Community managed forests and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics. **Forest Ecology and Management**, v. 268, p. 6-17, 2012.

SANQUETTA, C. R. **Perspectivas da recuperação e do manejo sustentável das florestas de araucária**. Com Ciência: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico, n. 68, 2005.

Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/2005/08/09.shtml>> Acesso em: 7 jan. 2014.

SCHAAF, L. B. et al. Alteração na estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista no período entre 1979-2000. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 283-295, 2006.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequiâneas heterogêneas**. Santa Maria: Imprensa Universitária/UFSM, 2000. 195p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2. Ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566p.

SOUZA, A. F. et al. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v. 34, n. 2, p. 221-232, 2008.

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L. Emprego do método BDq de seleção após a exploração florestal em Floresta Ombrófila Densa de terra firme, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 617-625, 2005.

SOUZA, R. P. M. et al. Estrutura e aspectos da regeneração natural de Floresta Ombrófila Mista no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 39, n. 3, p. 387-407, 2012.

SPATHELF, P.; DURLO, M. A. Transition matrix for modeling the dynamics of a subtropical seminatural forest in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 151, n. 1, p. 139-149, 2001.

STEFENON, V. M.; NODARI, R. O.; REIS, M. S. Padronização de protocolo AFLP e sua capacidade informativa para análise da diversidade genética em *Araucaria angustifolia*. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 163-171, 2003.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

THOMAS, P. *Araucaria angustifolia*. In.: The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T32975A2829141. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>. Acesso em: 29 dez. 2015.