

**ISADORA DE ARRUDA SOUZA**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL NO MANEJO DE  
*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze EM SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. André Felipe Hess  
Coorientador: Dr. Emanuel Arnoni Costa

**LAGES, SC  
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Souza, Isadora de Arruda

Aplicação de técnicas de pesquisa operacional no manejo de  
Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina / Isadora  
de Arruda Souza. -- 2019.

87 p.

Orientador: Andre Felipe Hess

Coorientador: Emanuel Arnoni Costa

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2019.

1. Manejo Florestal. 2. Floresta Ombrófila Mista. 3.  
Programação Linear. 4. Modelagem de otimização. I. Hess, Andre  
Felipe . II. Arnoni Costa, Emanuel. III. Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.


**ISADORA DE ARRUDA SOUZA**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL NO MANEJO DE  
*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze EM SANTA CATARINA.**


Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal, área de concentração: Produção Florestal.

**Banca examinadora:**


Orientador:

  
(Prof. Dr. André Felipe Hess)  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages - SC

Membro Externo:

  
(Prof. Dr. Julio Eduardo Arce)  
Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba - PR

Membro Interno:

  
(Prof. Dr. Geedre Adriano Borsoi)  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages - SC

**Lages, 28 de fevereiro de 2019**



Aos meus pais, André de Souza, Mariza de Arruda Souza e minha irmã, Julia de Arruda Souza, por serem pessoas maravilhosas, meus exemplos diários e meu porto seguro, dedico.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, agradeço por tudo, pois através do teu amor vejo que a vida é luz e cada instante é precioso.

A minha família que sempre esteve presente e me apoiou em todas as minhas decisões, me deu suporte para que eu alcançasse mais essa etapa na minha vida. Obrigada por acreditarem e apoiarem os meus sonhos. Vocês são o meu maior presente, meu maior exemplo, além de família, meus melhores amigos, amo vocês.

Ao meu orientador professor Dr. André Felipe Hess, o qual incentivou o motivou desde o início dessa jornada, que me orientou e guiou para que esse trabalho se tornasse realidade.

Ao meu coorientador Dr. Emanuel Armoni Costa, que me ensinou muito durante esses dois anos, compartilhando o seu conhecimento e estimulando a dúvida, o questionamento, para o crescimento do orientado, obrigada pelos desafios propostos.

Ao grupo de pesquisa LAMEC, a aqueles que já passaram por aqui e aplicaram o banco de dados que foram utilizados neste trabalho, Pollyni Ricken e Ana Claudia da Silveira, em especial aos colegas que estavam presentes nesses dois anos, Luis Paulo Baldissera Schorr e Kemely Atanazio, e aquelas que já passaram pelo grupo e deixaram de alguma forma uma marca na minha vida acadêmica, Myrcia Minatti e Tásilla Magalhães Loiola.

Ao corpo docente do curso de Engenharia Florestal da UDESC, pois sem eles não existiram mestres.

Aos meus amigos, que estiveram presentes nesses dois anos, obrigada pelos momentos de felicidade e confraternização.





“A esperança é como um pássaro. Quer se manter em movimento. Por mais que se tente aprisioná-la.” (Todas as cores do céu – Amita Trasi)



## RESUMO

SOUZA, Isadora de Arruda. **Aplicação de técnicas de pesquisa operacional no manejo de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina.** 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Produção Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2019.

A pesquisa operacional (PO) é uma ferramenta poderosa para a tomada de decisão na otimização do planejamento da produção florestal. Os programas computacionais permitem a simulação de diferentes cenários para escolha da melhor estratégia na elaboração e execução do plano de manejo, pois possibilita a definição da maximização de rendas, de alternativas de ciclos de corte, da produção florestal e sua regulação para as florestas com araucária. O presente trabalho teve como objetivo simular alternativas de manejo para a regulação de corte de araucária em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista (FOM), no município de Lages, Santa Catarina. As alternativas de manejo foram simulações de corte para diferentes valores do quociente “q” De Liocourt, área basal remanescente (Gr) e ciclos do corte (CC). Para tanto, se utilizou a programação linear inteira (PLI) como método de auxílio à tomada de decisão, além da quantificação de sortimento e renda para cada alternativa de manejo. A solução buscou a escolha da melhor alternativa de manejo para a regulação florestal e otimização da produção de madeira, multiprodutos e estrutura da floresta. Os dados são provenientes de inventário sistemático em que foram alocadas 25 unidades amostrais de 400 m<sup>2</sup>. De cada árvore, foram medidos os diâmetros à altura do peito, a altura total e altura de inserção de copa de todos os indivíduos de araucária com diâmetro superior a 10 cm. A função de afilamento proposto por Kozak (1988) foi utilizada para determinar as classes de dimensão e volumes das árvores. Três regimes de manejo foram estabelecidos de acordo com a variação do valor do quociente “q” de Liocourt de: 1,1, 1,3 e 1,5. Esses foram avaliados para Gr: 10,0, 12,0 e 14,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, e para os CC: 20, 25 e 30 anos, a combinação destas variáveis gerou 27 cenários. A proposta de melhor regime de manejo para a floresta consistiu da elaboração de dois problemas de PO, o primeiro com o intuito de maximizar a renda para cada regime; e o segundo definir a melhor alternativa de manejo. Os cenários foram simulados no suplemento *Solver* do *Microsoft Excel* para a modelagem de otimização. Apesar da aplicação de ciclos de corte diferentes de 20, 25 e 30 anos a alternativa de manejo que melhor utiliza os recursos e que maximiza a renda é o “q” de 1,3 com área basal remanescente de 12 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para todos os ciclos de corte. A retirada destas árvores na floresta contribuirá para a manutenção de uma estrutura diamétrica futura, regeneração natural, conservação da espécie e taxa de incremento das árvores, bem como com a manutenção de recursos do ecossistema florestal.

**Palavras-chave:** Manejo Florestal, Floresta Ombrófila Mista, Programação Linear, Modelagem de otimização.



## ABSTRACT

SOUZA, Isadora de Arruda. **Application of operational research techniques in the management of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in Santa Catarina.** 2019. 87 f. Thesis (Master in Forest Engineering - Area: Forest Production) – Universidade Federal de Santa Catarina. Graduate Program in Forest Engineering, Lages, 2019.

Operational research (OR) is a powerful tool for decision making and optimizing forest production planning. Computer programs enable us to simulate different scenarios to choose the best strategy for the development and execution of management plans. This allows us to outline revenue maximization, alternative cutting cycles, forest production and regulation for *Araucaria* forests. The study aimed to simulate management alternatives for the regulation of *Araucaria* cutting in a Mixed Ombrophilous Forest (MOF) remnant in the city of Lages, state of Santa Catarina (SC). The management alternatives consisted of cutting simulations for different De Liocourt's parameter and q-ratio, remaining basal area (BA) and cutting cycles (t), using integer linear programming (ILP) to assist in decision making, in addition to measuring plots and revenue for each management alternative. The model sought to choose the best management alternative for forest regulation and optimization of timber production, forest products and structure. The data are from a systematic inventory in which 25 sample units of 400 m<sup>2</sup> were allocated. We measured diameter at the breast height, total height and crown insertion height of each *Araucaria* tree with diameter greater than 10 cm. The taper function proposed by Kozak (1988) was used to determine tree size class and volume. Three management regimes were established according to De Liocourt q-ratios of 1.1, 1.3 and 1.5. These were evaluated for BA of 10.0, 12.0 and 14.0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, and for t of 20, 25 and 30 years. The combination of these variables generated 27 scenarios. The proposal of a better management regime for the forest consisted of the development of two operational research problems: I - maximizing revenue for each management regime; and II - defining the best management alternative. The scenarios were simulated in the Microsoft Excel Solver add-in for optimization modeling. In spite of the application of different cutting cycles of 20, 25 and 30 years, the management alternative that best uses resources and maximizes revenue for this area of 84 ha in Lages (SC) is  $q = 1.3$  with a residual basal area of 12 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> for all the cutting cycles. The removal of these trees will contribute to the maintenance of a future diameter distribution, natural regeneration, species conservation and tree growth rate, in addition to forest ecosystem resources.

**Keywords:** Forest Management, Mixed Ombrophilous Forest, Linear Programming, Optimization Modeling.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa com a localização do fragmento natural de <i>A. angustifolia</i> estudado...	32
Figura 2 – Classificação de sortimentos para <i>A. angustifolia</i> .....	36
Figura 3 – Distribuição da frequência observada (Freq.Obs.) e da frequência ajustada Freq.Ajust.) para floresta de <i>A. angustifolia</i> , visando intervenções silviculturais como proposto por Liocourt, e considerando áreas basais remanescentes de 10,0; 12,0 e 14,0 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> com valores do quociente de Liocourt variando de: 1,1; 1,3 e 1,5; para um DAP máximo de 42,5 cm.....	37
Figura 4 – Porcentagem de sortimento para as alternativas de manejo e número de árvores a retirar por hectare para a floresta natural de <i>A. angustifolia</i> .....	46
Figura 5 – Porcentagem de sortimento por centro de classe e número de árvores por hectare a retirar (NR) para quociente De Liocourt q = 1,1 (A); 1,3 (B) e 1,5 (C), e área basal remanescente variando entre 10,0 (a); 12,0 (b) e 14,0 (c) m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> para o fragmento de <i>A. angustifolia</i> .....	47
Figura 6 - Mapa com a localização do fragmento natural de <i>A. angustifolia</i> estudado..	58
Figura 7 – Classificação de sortimentos para <i>A. angustifolia</i> .....	61





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Regimes de manejo propostos para <i>A. angustifolia</i> .....	34
Tabela 2 – Frequências observadas e estimadas, número de árvores e volume a remover para um diâmetro máximo de 42,5 cm, com a simulação do valor de “q” de 1,1 e área basal remanescente variando entre 10,0, 12,0 e 14,0 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> para o fragmento de <i>A. angustifolia</i> .....	40
Tabela 3 – Frequências observadas e estimadas, número de árvores e volume a remover para um diâmetro máximo de 42,5 cm, com a simulação do valor de “q” de 1,3 e área basal remanescente variando entre 10,0, 12,0 e 14,0 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> para o fragmento de <i>A. angustifolia</i> .....	41
Tabela 4 – Frequências observadas e estimadas, número de árvores e volume a remover para um diâmetro máximo de 42,5 cm, com a simulação do valor de “q” de 1,5 e área basal remanescente variando entre 10,0, 12,0 e 14,0 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> para o fragmento de <i>A. angustifolia</i> .....	42
Tabela 5 - Determinação da taxa de corte sustentada (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> ) para a floresta natural de <i>A. angustifolia</i> segundo os cenários analisados.....	43
Tabela 6 – Volume (m <sup>3</sup> cc.ha <sup>-1</sup> ) e número de toras por hectare para as alternativas de manejo analisadas em uma floresta natural de <i>A. angustifolia</i> .....	45
Tabela 7 – Renda (R\$/árvore) conforme a classificação de qualidade e quantidade de sortimentos gerados.....	62
Tabela 8 – Regimes de manejo propostos para <i>A. angustifolia</i> .....	63
Tabela 9 - Determinação da taxa de corte sustentada para a floresta natural de <i>A. angustifolia</i> segundo os cenários analisados.....	67
Tabela 10 - Determinação da renda bruta para a floresta natural de <i>A. angustifolia</i> , para os cenários analisados.....	67
Tabela 11 – Número de árvores a retirar por classe diamétrica, para a floresta natural de <i>A. angustifolia</i> .....	69
Tabela 12 – Função Objetivo (R\$) para a floresta de <i>A. angustifolia</i> segundo os regimes de manejo estipulados e ciclo de corte de 20 anos.....	69
Tabela 13 - Função Objetivo (R\$) para a floresta de <i>A. angustifolia</i> segundo os regimes de manejo estipulados e ciclo de corte de 25 anos.....	70
Tabela 14 - Função Objetivo (R\$) para a floresta de <i>A. angustifolia</i> segundo os regimes de manejo estipulados e ciclo de corte de 30 anos.....	70



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cc	Ciclo de corte em anos
cm	Centímetros
DAP	Diâmetro à altura do peito
di	Diâmetro relativo
$\varepsilon$	Erro aleatório
FE	Frequência estimada por hectare
FO	Frequência observada por hectare
FOb	Função objetivo
FOM	Floresta Ombrófila Mista
Gr	Área basal remanescente
h	Altura total
ha	Hectare
hi	altura relativa
hic	Altura de início de copa
i	Incremento periódico anual percentual em volume
IC	Intensidade de corte
IPAv%	Incremento Periódico Anual em volume
ln	Logaritmo natural
m	Metros
N ou n	Número de árvores
N/ha	Número de árvores por hectare
NR	Número de árvores a retirar por hectare
O	Oeste
p	Ponto de inflexão considerado em 1,3/h
PL	Programação Linear
PLI	Programação Linear Inteira
PO	Pesquisa Operacional
q	Quociente De Liocourt
S	Sul
S1	tora para serraria com diâmetro na ponta fina maior e igual a 40 cm e comprimento de 5,4 metros
S2	tora para serraria com diâmetro na ponta fina maior ou igual que 30 cm e menor que 40 cm e comprimento de 2,7 metros
S3	tora com diâmetro na ponta fina maior ou igual a 20 cm e menor que 30 cm e comprimento de 2,2 metros
S4	tora para energia ou indústria com diâmetro na ponta fina menor que 20 cm e com restante do comprimento disponível do fuste.
SC	Santa Catarina

TC	Taxa de corte em volume para o ciclo de corte
V	Volume
Vr	Volume real da floresta disponível

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>28</b>
<b>ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol)</b>	
<b>Kuntze UTILIZANDO DIFERENTES QUOCIENTES DE</b>	
<b>LIOCOURT.....</b>	<b>28</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>28</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>29</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	30
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
1.2.1 Área de Estudo.....	31
1.2.2 Coleta de dados.....	32
1.2.3 Processamento dos dados.....	33
1.2.3.1 Intensidade e proposição de intervenção para três ciclos de cortes.....	33
1.2.3.2 Afilamento e Volume.....	34
1.2.3.3 Sortimento.....	35
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
1.3.1 Distribuição diamétrica.....	36
1.3.2 Corte Seletivo.....	38
1.3.3 Sortimento.....	44
1.4 CONCLUSÃO .....	49
<b>REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>54</b>
<b>DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA TOMADA DE DECISÃO</b>	
<b>NO MANEJO DE <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol) Kuntze.....</b>	<b>54</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>54</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>55</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	56
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
2.2.1 Área de Estudo.....	58
2.2.2 Coleta de dados.....	59

<b>2.2.3 Processamento dos dados.....</b>	<b>59</b>
<b>2.2.3.1 Afilamento e Volume.....</b>	<b>59</b>
<b>2.2.3.2 Sortimento.....</b>	<b>60</b>
<b>2.2.3.3 Renda.....</b>	<b>61</b>
<b>2.2.3.4 Cenários para o Manejo da Araucária.....</b>	<b>62</b>
<b>2.2.3.5 Modelo de Pesquisa Operacional (PO).....</b>	<b>63</b>
<b>2.2.3.5.1 Programação Linear Inteira.....</b>	<b>64</b>
<b>2.2.3.5.1.1 Modelo I.....</b>	<b>64</b>
<b>2.2.3.5.1.2 Modelo II.....</b>	<b>65</b>
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>2.3.1 Modelo I: para maximizar a renda.....</b>	<b>66</b>
<b>2.3.2 Modelo II: definição da área a ser manejada no horizonte de planejamento.....</b>	<b>68</b>
<b>2.4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>77</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

As florestas brasileiras são fonte de uma variedade de bens e serviços, desempenhando importante função nos âmbitos sociais, econômicos e ambientais. No Brasil é estimado que 7,84 milhões de hectares são destinados ao reflorestamento (IBÁ, 2018). E segundo a EMBRAPA (2018) 66,6% do território brasileiro é destinado a proteção e preservação da vegetação nativa. Sendo estas áreas arranjadas nos biomas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampas e Pantanal.

O domínio da Mata Atlântica, segundo o Decreto Lei 750/93, é definido como:

"O espaço que contém aspectos fitogeográficos e botânicos que tenham influência das condições climatológicas peculiares do mar incluindo as áreas associadas delimitadas segundo o Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 1988) que inclui as Florestas Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual, manguezais, restingas e campos de altitude associados, brejos interioranos e encaves florestais da Região Nordeste".

A Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como Floresta de Araucárias possui remanescentes florestais nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais (INOUE et al., 1984), apresentava uma vasta extensão com grande diversidade de espécies, muitas delas de grande potencial madeireiro, que por sua vez foram alvos de intensa exploração no passado (STEPKA, 2012).

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, popularmente conhecida como Pinheiro Brasileiro (REITZ e KLEIN, 1966), pertencente à família *Araucariaceae*, sendo a única espécie do gênero que apresenta ocorrência natural no Brasil (ZECHINI, 2012). A distribuição da araucária concentra-se basicamente no sul do Brasil, podendo se estender até certas regiões com altitudes favoráveis para sua ocorrência nos estados do Sudeste (REITZ e KLEIN, 1966), ainda, também ocorre em alguns fragmentos na Argentina e no Paraguai (GUERRA et al., 2008).

No Brasil, principalmente na região Sul, entre os anos de 1920 a 1990, as florestas de araucárias foram exploradas, além de outras espécies arbóreas como a imbuia (*Ocotea porosa* (Nees) Barroso) e a peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.) (THOMÉ, 1995; ZENID, 2003). A madeira de excelente qualidade,

resistente e maleável, era visada tanto pelo mercado nacional, como internacional. O auge da exploração na década de 70, a ausência de conhecimento para o manejo sustentável e o incentivo à plantios, encerrou este importante ciclo econômico da região Sul do Brasil (STUEPP et al., 2017).

O valor econômico destas florestas aliada a extensa área territorial, contribuíram consideravelmente para a colonização e o desenvolvimento do sul do Brasil, bem como alavancaram a economia florestal e madeireira do país (MEDEIROS, 2006).

A forte pressão antrópica pelo desmatamento e as queimadas para a substituição da cobertura florestal para pastagem, agricultura e reflorestamento homogêneo com espécies exóticas, além da ampliação das zonas urbanas, também, contribuíram, para a redução da área de ocorrência da FOM (MEDEIROS et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2016).

Em consequência a legislação tornou-se restritiva ao manejo em florestas naturais com araucária utilizando como justificativa a perda de diversidade genética e a falta de pesquisa sobre o uso sustentável da espécie. A Lei da Mata Atlântica nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006), vetou a possibilidade de manejo de espécies nativas em florestas naturais. A exploração de araucária foi legalmente proibida no Brasil em 2001.

Isso impossibilita que as florestas sejam utilizadas como fonte de renda, enquanto bloqueiam as iniciativas de gestão sustentável, que inclui ampla recuperação e preservação em longo prazo (DIEZ, 2012), bem como condiciona a redução nas taxas de crescimento (consequentemente, redução da absorção de carbono), competição nos indivíduos remanescentes, menor regeneração, perda de produtividade e rentabilidade (HESS et al., 2014).

O intuito dessas leis é à conservação da espécie. Porém, o objetivo conservacionista da legislação tem desencorajado o plantio e o incentivo ao manejo florestal fazendo com que muitos agricultores, ao verem uma planta jovem a eliminem com medo de perder espaço de terra produtiva. Dentro da floresta, não há regeneração por falta de luz e as árvores adultas devido à idade avançada tendem a sucumbir (STUEPP et al., 2017), com esse cenário, é visível a necessidade de estudos que deem embasamento científico para a regulação da FOM.



Um dos desafios para o manejo florestal em pequenas propriedades é manter uma oferta regular de madeira, pressuposto para sua viabilidade econômica. Para resolver este problema, Braz et al. (2001) procuraram testar ferramentas matemáticas do planejamento florestal, utilizando a abordagem de programação linear modelo Tipo I. Os autores conseguiram através desta ferramenta, obter o planejamento da exploração da área de floresta de forma que o volume de madeira ofertado a cada ano fosse constante.

Desta forma, a aplicação da pesquisa em ferramentas de planejamento para a FOM é importante, pois cria alternativas econômicas e ambientais viáveis aos proprietários rurais. Tais técnicas devem auxiliar esses grupos no sentido de viabilizar a prática do manejo florestal.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um modelo matemático de otimização que maximize o volume de madeira e a receita gerada pela exploração de um remanescente de Floresta de Araucária em uma propriedade localizada na Serra Catarinense, de forma a obter uma oferta de madeira constante, utilizando o modelo de programação linear modelo Tipo I e o conceito de De Liocourt para estrutura balanceada, além de determinar a classificação dos sortimentos para destinação da madeira no mercado florestal da forma mais apropriada.

Os objetivos específicos são:

- (a) determinar a rotação da floresta por meio de critérios técnicos;
- (b) classificar e quantificar sortimentos;
- (c) determinar o volume de madeira a ser colhido a cada ano;
- (d) determinar a receita bruta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Decreto 750/93 | Decreto no 750, de 10 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 246, seção 1, p. 1-4, 10 fev. 1993.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 246, seção 1, p. 1-4, 26 dez. 2006.

BRAZ, E. M. **Um modelo em programação linear para garantia do rendimento sustentado em pequena propriedade na floresta tropical**. Dissertação de Mestrado, UFPR, 2001.

DIEZ JJ. 2012. **Sustainable Forest Management - Case Studies**. Disponível em: <<http://www.inte-chopen.com/books/sustainable-forest-management-case-studies>>. Acesso em: 27 nov. 2016.

EMBRAPA. 2018. Síntese Ocupação e Uso das Terras no Brasil. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/car/sintese>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

GUERRA, M. P.; STEINER, N.; MANTOVANI, A.; NODARI, R. O.; REIS, M. S.; SANTOS, K. L. **Araucária: evolução, ontogênese e diversidade genética**. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. Origem e evolução de plantas cultivadas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 149-184.

HESS, A.F., MINATTI, M., FERRARI, L., PINTRO, B.A. **Manejo de Floresta Ombrófila Mista pelo método De Liocourt, Município de Paineiras, SC**. Cerne 20(4): 575-580. 2014.

IBÁ. Sumário Executivo 2018, **Indústria Brasileira de Árvores**, 2018. p. 6.

INOUE, M.T.; RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, Y.S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF/UFPR, 1984. 260 p.

MEDEIROS, J.D. Os estados da Mata Atlântica: Santa Catarina. In: Campanili M, Prochnow M, organizadores e editores. **Mata Atlântica, uma rede pela floresta**. Brasília: RMA; 2006.

MEDEIROS, J.D., SAVI, M., BRITO, B.F.A. Seleção de áreas para criação de unidades de conservação na Floresta Ombrófila Mista. **Biotemas** 2005; 18(2): 33-50.

OLIVEIRA, B.R., SANTOS, J.E., ZANIN, E.M., OLIVEIRA, M.L. (2016) Dinâmica dos usos da terra do entorno da Floresta Nacional de Três Barras, Santa Catarina, Brasil. **Natureza on line** 14 (2): 044-055.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Flora ilustrada catarinense: araucariáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 63 p.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de Araucaria angustifolia, Cedrela fissilis e Ocotea porosa no sul do Brasil**. 2012. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

STUEPP, C.A.; BRAZ, E.M.; ZANETTE, F. et al. **Araucária particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília: Embrapa Florestas, 2017. 163 p.

THOMÉ, N. **Ciclo da Madeira: história da devastação da Floresta da Araucária e do desenvolvimento da indústria da madeira em Caçador e na região do Contestado no século XX**. Caçador: Universal; 1995.

ZECHINI, A. **Morfometria, produção, fenologia e diversidade genética: subsídios para conservação da Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze e coleta sustentável do pinhão no planalto catarinense**. Florianópolis, Dissertação, UFSC, 2012. 191 p.

ZENID, G. J.; NAHUZ, M. A. R.; MIRANDA, M. J. DE A. C.; FERREIRA, O. P.; BRAZOLIN, S. **Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnologias, 2003. p. 60.

## CAPÍTULO 1

### ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze UTILIZANDO DIFERENTES QUOCIENTES DE LIOCOURT

#### RESUMO

Proposta de manejo sustentável para florestas naturais são de extrema importância, tanto para conservação das espécies quanto para gerar valor econômico de seus multiprodutos. Assim, os objetivos do presente estudo foram descrever a dinâmica da distribuição diamétrica utilizando o quociente De Liocourt ( $q$ ), calcular a taxa de corte para os ciclos de 20, 25 e 30 anos, além de gerar a estimativa do volume de sortimentos para a floresta de Araucária, localizado no município de Lages, SC. Os dados são provenientes de inventário realizado no ano de 2016, onde foram alocadas de forma sistemática 25 unidades amostrais de 400 m<sup>2</sup>. De cada árvore, foram medidos os diâmetros à altura do peito e a altura total de todos os indivíduos de araucária com diâmetro superior a 10 cm. Três regimes de manejo foram estabelecidos de acordo com a variação do valor do quociente “ $q$ ” De Liocourt de: 1,1, 1,3 e 1,5. Esses foram avaliados para área basal remanescente de 10,0, 12,0 e 14,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. A função de afilamento proposta por Kozak (1988) foi utilizada para determinar as classes de dimensão e volumes das árvores. O fragmento apresentou distribuição diamétrica em J-invertido o que permite a proposição de manejo segundo a variação do valor de “ $q$ ” De Liocourt. A taxa de corte será maior quanto maior o ciclo de corte desejado para os cenários analisados, mostrando que a variação em área basal é importante, pois irá gerar receitas diferentes para períodos diferentes. A função de afilamento foi eficiente na geração de sortimentos mais utilizados no mercado de toras para *A. angustifolia*. As melhores alternativas de manejo foram com o quociente de Liocourt “ $q$ ” = 1,3 e 1,5 e área basal remanescente de 10,0 e 12,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Estes cenários elevaram a curva de Liocourt, regulando a exploração nas árvores mais grossas, agregando maior valor para os sortimentos preestabelecidos. As alternativas de manejo analisadas propiciam aumento nas taxas de crescimento das araucárias, diminuem a competição, facilitam o processo de regeneração natural e favorecem o ganho na produtividade e rentabilidade da floresta.

**Palavras-chave:** Pinheiro brasileiro, quantificação de sortimentos, regimes de manejo, ordenamento florestal.

## CHAPTER 1

### MANAGEMENT ALTERNATIVES FOR *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze USING DIFFERENT DE LIOCOURT Q-RATIOS

#### ABSTRACT

Sustainable management proposals for natural forests are extremely important, both for species conservation and generating economic value of forest products. This study aimed to describe the dynamics of diameter distribution using De Liocourt's parameter or q-ratio and calculate rates for cutting cycles of 20, 25 and 30 years, in addition to estimating the volume per plot for an *Araucaria* forest located in the city of Lages, state of Santa Catarina (SC). The data are from an inventory carried out in 2016, where 25 sample units of 400 m<sup>2</sup> were systematically allocated. We measured diameter at breast height and total height of each *Araucaria* tree with diameter greater than 10 cm. Three management regimes were established according to De Liocourt q-ratios of 1.1, 1.3 and 1.5. These were evaluated for residual basal area of 10.0, 12.0 and 14.0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. The taper function proposed by Kozak (1988) was used to determine tree size class and volume. The fragment showed reverse-J diameter distribution, which allows the proposition of management according to the variation of the De Liocourt q-ratio. The cutting rate will be higher the higher the cutting cycle is for the examined scenarios, showing that the variation in basal area is important, as it will generate different revenues for different periods. The taper function was efficient in generating plots more widely used in the log market of *A. angustifolia*. The best management alternatives were with De Liocourt q-ratios of 1.3 and 1.5 and remaining basal area of 10.0 and 12.0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. These scenarios raised the De Liocourt curve, regulating the exploitation in larger trees, adding more value to the predetermined plots. The management alternatives evaluated in this study increased *Araucaria* growth rates, reduced competition, facilitated the process of natural regeneration and promoted increased forest productivity and profitability.

**Keywords:** Brazilian pine, plot measurement, management regimes, forest management.

## 1.1 INTRODUÇÃO

O pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) é uma das espécies coníferas mais comuns e economicamente importantes no sul do Brasil. A tipologia de sua ocorrência é a Floresta Ombrófila Mista. A exploração madeireira da araucária é proibida por lei (BRASIL, 2006; 2008; MMA, 2008). Por esse motivo, ocorre nessa tipologia florestal o predomínio da espécie (formando florestas regulares) em todos os estratos com redução da diversidade. Além de propiciar alta competição, baixa taxa de regeneração, estagnação do incremento e menor ingresso e mortalidade (BECKER et al., 2014; SILVEIRA et al., 2018; HESS et al., 2018a; HESS et al., 2018b).

Em decorrência do uso desordenado de exploração da espécie, medidas legais foram tomadas para tornar proibitivo o manejo da FOM. O objetivo das leis é garantir a preservação e conservação, porém observa-se assim como Fantini & Siminski (2007) que o distanciamento e desinteresse dos agricultores em utilizar e conservar remanescentes florestais em suas propriedades, está atrelado, as legislações restritivas ao uso de recursos florestais nativos, a falta de alternativas ecologicamente aceitas e o não reconhecimento dos serviços ambientais proporcionados pelos agricultores familiares, por intermédio de suas florestas.

Sendo assim, é necessário aplicar os conceitos de manejo florestal sustentável, para dar embasamento às políticas públicas, que segundo Barros (2009) pode ser definido como sendo a capacidade do ambiente em prover recursos para a produção e o funcionamento equilibrado do ecossistema, satisfazendo aos anseios das comunidades local, regional, nacional e internacional. A aplicação desse conceito garante a correta comercialização dos recursos florestais naturais e a preservação da cultura local com manutenção do habitat (GOMIDE, 2012).

É essencial para uma proposta de manejo florestal a definição do “Quociente de De Liocourt - (q)”, o qual considera-se que, em uma floresta balanceada, a distribuição diamétrica em classes sucessivas é derivada de uma série geométrica (SCHNEIDER et al., 2000). Em florestas balanceadas, o parâmetro “q” assume um valor constante, indicando um padrão de distribuição exponencial decrescente na floresta (IMAÑA-ENCINAS et al., 2008).

A proposta com variação do valor de “q” é necessária, pois este valor é diferente conforme a quantidade de árvores por classe diamétrica, mudando para cada remanescente de floresta. Assim, variando em quais classes devem ser exploradas de acordo com a estrutura diamétrica da floresta atual e desejada, podendo indicar alterações específicas em toda a estrutura diamétrica da floresta.

Contudo, somente definir o número de árvores e o volume de madeira a retirar na floresta não é suficiente. É necessário otimizar, organizar a produção e buscar maximizar a rentabilidade para o proprietário de florestas, bem como a sustentabilidade e conservação dos recursos do ecossistema. Assim, estimar o volume das porções da árvore, classificar em multiprodutos com a definição dos sortimentos se faz necessário.

Sabe-se que a otimização na utilização dos recursos florestais tem como premissa atender aos pressupostos da regulação florestal, mantendo a renda de proprietários e empresas que investem no setor florestal. Portanto, o principal problema é definir qual a melhor alternativa de manejo propor para que a quantificação dos multiprodutos da floresta sejam melhor utilizados e todos os objetivos, ambiental, social e econômico, sejam alcançados trazendo benefícios para os proprietários rurais e a sociedade.

A hipótese deste estudo é que a alternativa de manejo com “q” = 1,5, área basal remanescente de 12 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, para ciclo de corte de 20 anos será capaz de gerar maior quantidade de sortimento para o mercado de laminação e serraria. Sendo o objetivo analisar o comportamento de diferentes cenários de manejo em um remanescente de FOM, para diferentes “q”, área basal remanescente e ciclo de corte, aliando ao estudo de classificação de sortimento, sugerindo assim a melhor alternativa de manejo para a área.

## 1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

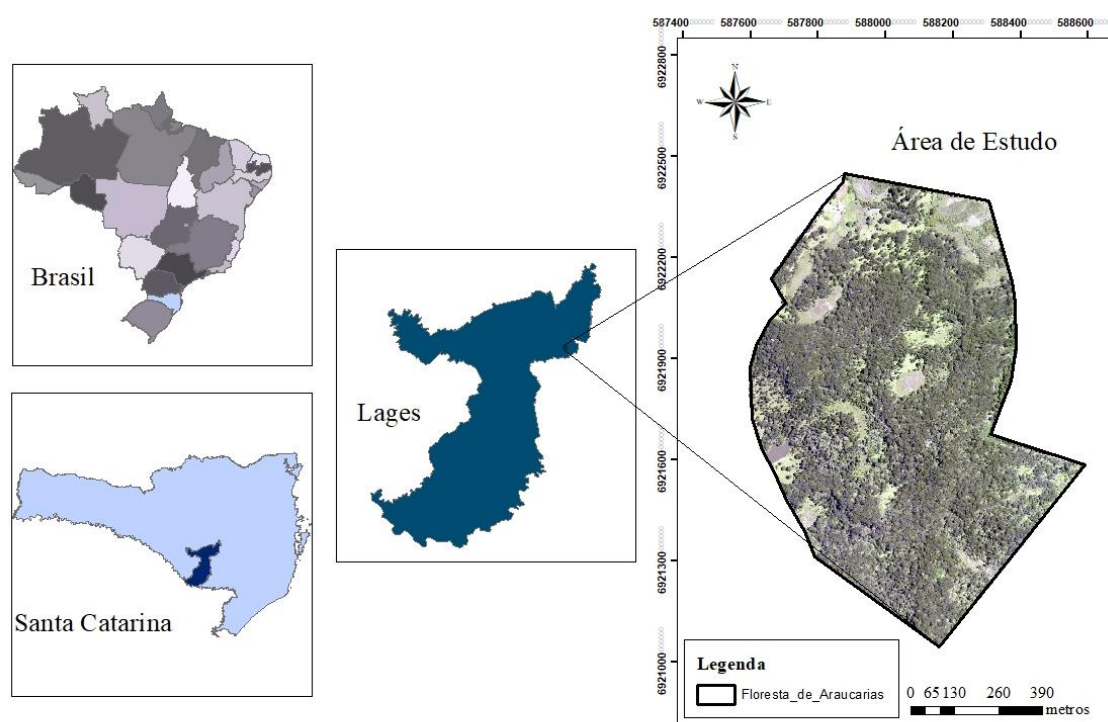
### 1.2.1 Área de Estudo

A área de estudo é um remanescente de FOM na região da Serra Catarinense, englobando o município de Lages, em altitude de 1.200 msnm, e área total de 84 ha

(Figura 1). As coordenadas geográficas do local são  $-27^{\circ}49'$  e  $-50^{\circ}06'$ . O A região pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Pelotas.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é o Cfb, temperado quente, com temperatura média do mês mais frio abaixo de  $11,5^{\circ}\text{C}$  e possibilidades de geada. Os verões são amenos com temperatura média do mês mais quente abaixo de  $21,7^{\circ}\text{C}$  e sem estação seca definida. A temperatura média anual da região é de  $15,7^{\circ}\text{C}$ . A umidade média relativa é de 79%. A precipitação média anual é de 1.555,7 mm (ALVARES et al., 2014).

**Figura 1** - Mapa com a localização do fragmento natural de *A. angustifolia* estudado.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

### 1.2.2 Coleta de dados

Os dados para este estudo são provenientes de um inventário sistemático, com teste de suficiência amostral e limite de erro admitido de 15%. Sendo assim, 25 parcelas de  $400\text{ m}^2$  ( $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ ) foram alocadas, com espaçamento entre parcelas de 50 m e entre linhas de 100 m.



No levantamento foram mensuradas 332 árvores. De cada árvore a partir do diâmetro a altura do peito de 10 cm foram coletados dados dendrométricos, de diâmetro à altura do peito (DAP), com o auxílio de uma suta; altura total (h) e altura de inserção de copa (Hic), medidas com o aparelho Trupulse. A identificação da árvore foi realizada com plaquetas de alumínio com numeração ordinal.

Para a obtenção do incremento anual em diâmetro de árvores das classes diamétricas que compõem a estrutura horizontal da florestal, foi utilizado o trado de Pressler, retirado-se duas amostras perpendiculares não destrutivas de rolos de incremento na altura do DAP (1,3 m).

### 1.2.3 Processamento dos dados

#### 1.2.3.1 Intensidade e proposição de intervenção para três ciclos de cortes

O incremento periódico percentual anual em volume (IPAv%) para a área foi calculado segundo a equação ajustada por Costa (2015) (equação 1). Considerando os ciclos de corte foi determinado a intensidade de corte (equação 2) pelo método mexicano de desbaste e a taxa de corte utilizando a equação 3.

$$\ln(IPA\%) = 4,8269 - 1,1794 \ln(DAP) \quad (1)$$

Sendo: IPA%: incremento período anual em volume; DAP: diâmetro a altura do peito; ln: logaritmo natural.

$$IC = \left[ 1 - \left( \frac{1}{(1+i)^{cc}} \right) \right] * 100 \quad (2)$$

Sendo: IC: intensidade de corte, em porcentagem do volume; i: taxa de crescimento; cc: ciclo de corte, em anos.

$$TC = Vr * \frac{IC}{100} \quad (3)$$

Sendo: TC: Taxa de corte em volume para o ciclo de corte; Vr: Volume real da floresta disponível, em metros cúbicos; IC: Intensidade de corte.

Foram sugeridos três regimes de manejo para três ciclos de corte, com base em estudos realizados na área por Silveira et al. (2017), em que se obteve quociente “q” De Liocourt de 1,32, para o diâmetro máximo desejado de 42,5 cm e 4,69 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> em área basal explorada. Os cenários analisados foram: I) regime de manejo com valor do quociente “q” De Liocourt de 1,1; II) regime com valor de “q” 1,3; e, III) regime com valor de “q” de 1,5. Todos os regimes serão avaliados para área basal remanescente de 10,0, 12,0 e 14,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, permitindo diferentes níveis de exploração quanto ao número de árvores e área basal (Tabela 1).

**Tabela 1** - Regimes de manejo propostos para *A. angustifolia*.

Regime (“q”)		Gr (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )		Ciclo de corte
1,1 (I)	10	12	14	20
				25
				30
1,3 (II)	10	12	14	20
				25
				30
1,5 (III)	10	12	14	20
				25
				30

Onde: q: cociente De Liocourt.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

O horizonte de planejamento foi estipulado para três ciclos de corte de 20, 25 e 30 anos de acordo com os três regimes de manejo, sendo os sortimentos obtidos para cada um desses regimes de manejo. A finalidade dos três regimes e ciclos de corte foi avaliar a produção diferenciada que eles proporcionam, bem como não afetar de forma drástica a estrutura diamétrica da floresta.

### 1.2.3.2 Afilamento e Volume

Para estimativa da produção de madeira em classes de sortimento utilizou-se a função de afilamento proposto por Kozak (1988), ajustado por Costa et al. (2016) para a mesma área de estudo, com R<sup>2</sup>aj. de ≈ 98,0% e Syx% de 17,4 % (equação 4).

$$di = 0,8944DAP^{1,0361}0,9994^{DAP} \left( \frac{1 - \sqrt{hi/h}}{1 - \sqrt{p}} \right)^{-0,1885 \ln\left(\frac{hi}{h}+0,001\right)+1,1267\sqrt{\frac{hi}{h}}-0,2960e^{\left(\frac{hi}{h}\right)}-0,0420\left(\frac{DAP}{h}\right)} + \varepsilon \quad (4)$$

Sendo: di = diâmetro relativo; DAP = diâmetro a altura do peito (1,30 m); hi = altura relativa; h = altura total; p = ponto de inflexão considerado em 1,3/h; ln = logaritmo natural; e  $\varepsilon$  = erro.

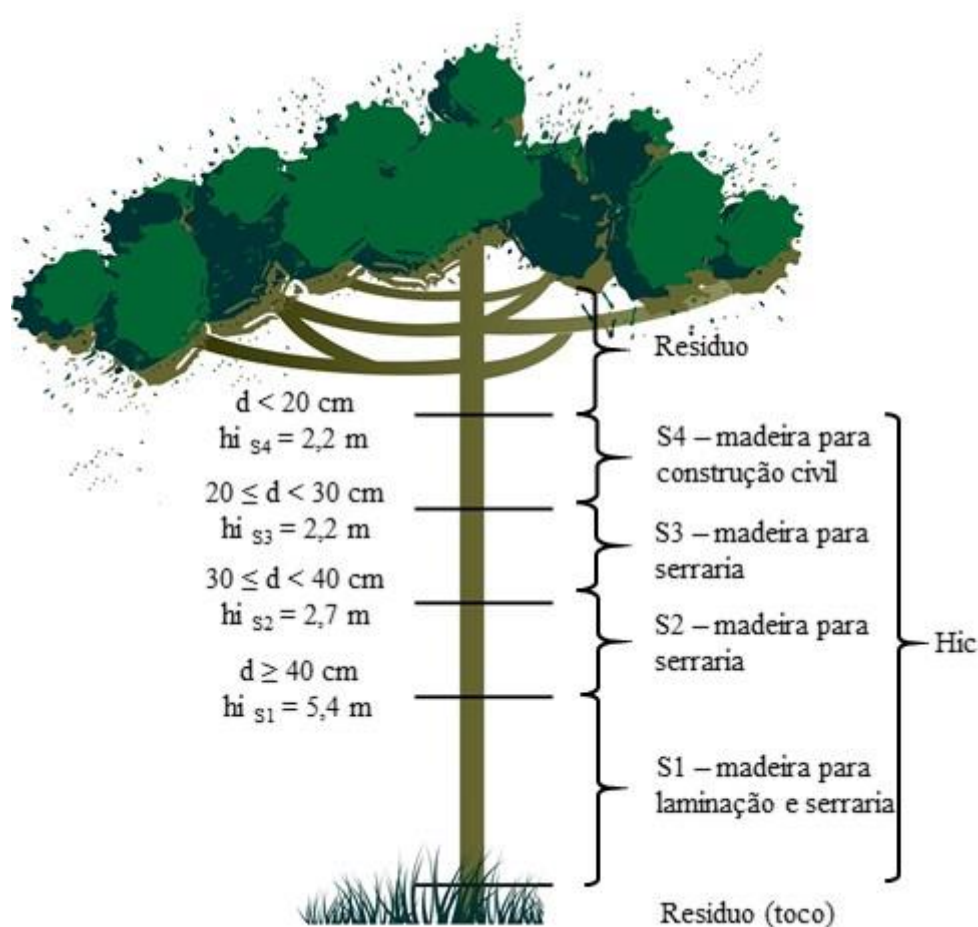
O volume total da árvore com casca (m<sup>3</sup>cc) até o ponto de inserção da copa foi determinado dividindo-se o fuste em seções de 5 e 5 cm, com o objetivo de obter madeira clear para o mercado, utilizando o afilamento para cada seção e utilizando a fórmula de Smalian para calcular o volume de cada porção.

### 1.2.3.3 Sortimento

O sortimento de madeira (figura 2) segue a metodologia, também, proposta por Costa et al. (2016). No estabelecimento dos sortimentos, foi priorizada a formação de toras com maior diâmetro e comprimento, na sequência S1, S2, S3 e S4.

Foram considerados os seguintes sortimentos com casca: S1 = tora para serraria com diâmetro na ponta fina maior e igual a 40 cm e comprimento de 5,4 metros; S2 = tora para serraria com diâmetro na ponta fina maior ou igual que 30 cm e menor que 40 cm e comprimento de 2,7 metros; S3 = tora com diâmetro na ponta fina maior ou igual a 20 cm e menor que 30 cm e comprimento de 2,2 metros; S4 = tora para construção civil (exemplo: cobertura de casas, estruturas como vigas e caibros) com diâmetro na ponta fina menor que 20 cm e com restante do comprimento disponível do fuste.

**Figura 2** – Classificação de sortimentos para *A. angustifolia*.



Onde:  $d$ : diâmetro (cm),  $h_{iS1}$ ,  $h_{iS2}$ ,  $h_{iS3}$  e  $h_{iS4}$ : altura (m), S1: sortimento 1, S2: sortimento 2, S3: sortimento 3, S4: sortimento 4,  $h_i$ : altura da tora e Hic: altura de inserção de copa.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

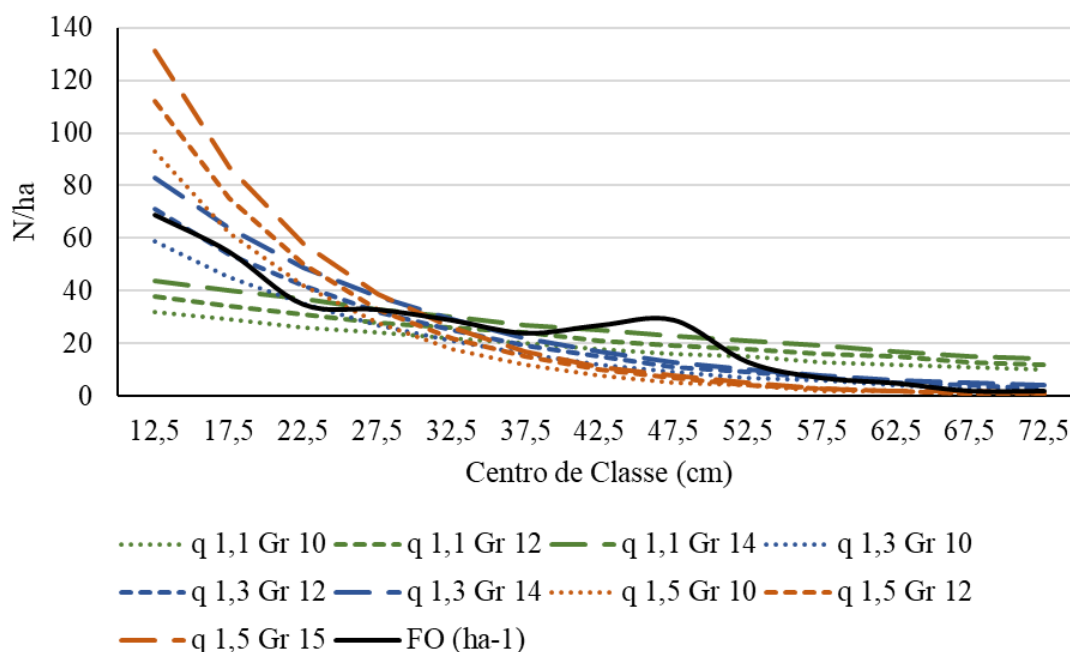
### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 1.3.1 Distribuição diamétrica

A distribuição diamétrica com amplitude de 5 cm, para a FOM apresentou-se em formato semelhante ao de J-invertido, caracterizando assim, uma floresta balanceada, com poucos indivíduos nas classes de diâmetro superior e maior número de indivíduos nas menores classes. Esta estrutura balanceada possibilita a determinação de intervenção com base no modelo para florestas inequiâneas proposto por De Liocourt (figura 3).

A estrutura da floresta sofre alterações com mudança no valor de  $q$ , interferindo na inclinação da curva de remoção, para uma mesma área basal (figura 3), com o valor do quociente “ $q$ ” = 1,1, menor que o valor original “ $q$ ”= 1,3, mais indivíduos são removidos nas menores classes diamétricas. O mesmo não ocorre, para o novo quociente maior que o original “ $q$ ” = 1,5, que permite a remoção de um maior número de plantas de maior dimensão. Porém com o aumento da área basal remanescente, para um mesmo quociente De Liocourt, o número de árvores a permanecer aumenta, em todas as classes diamétricas.

**Figura 3** – Distribuição da frequência observada (FO) e da frequência ajustada para floresta de *A. angustifolia*, visando intervenções silviculturais como proposto por De Liocourt, e considerando áreas basais remanescentes de 10,0; 12,0 e 14,0  $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$  com valores do quociente De Liocourt variando de: 1,1; 1,3 e 1,5; para um DAP máximo de 42,5 cm.



Onde: N/ha: número de árvores por hectare,  $q$ : quociente De Liocourt e Gr: área basal remanescente ( $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ ).

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

A possibilidade de aplicar diferentes alternativas de manejo, obtendo como resultado a diferença em tamanhos e frequências na estrutura da floresta, para balancar as floresta (MONTIGNY, 2004), aliada a técnicas de tratamentos silviculturais que agregam na variedade da estrutura da floresta que resulta em diversas camadas de dossel

(estrutura vertical) e irregularidade espacial (estrutura horizontal) para aumentar a biodiversidade.

Sendo assim, inferindo-se a necessidade de manejo para balancear a floresta, pois existem lacunas nas classes diamétricas. Hess et al. (2010) estudando um remanescente de FOM na mesma região deste estudo obtiveram resultados semelhantes e concluíram que essa lacuna é resultado de intervenções anteriores, bem como em alguns casos, da falta de intervenção silvicultural (não manejo) o que provoca um desequilíbrio entre as taxas de ingresso e mortalidade da espécie na floresta.

Outros autores corroboram com essa afirmação como Orellana et al. (2014) que confirmam esse aspecto, estudando um fragmento de FOM em Irati, no Paraná, observaram que a distribuição irregular de espécies o que sugere a ação antrópica com cortes seletivos em alguma época passada, tanto para a espécie *A. angustifolia*, quanto para algumas espécies da família das Lauráceas, ambas conhecidas pelo grande valor comercial de sua madeira.

Schikowski et al. (2016) estudando o comportamento da distribuição diamétrica entre os anos de 1995 a 2014, na FOM em São João do Triunfo, Paraná, observaram a tendência de redução no número de indivíduos nas classes de menor diâmetro, fator que pode ser explicado devido ao fato da espécie *A. angustifolia* ser pouco tolerante à sombra, especialmente na fase juvenil, apresentando regeneração fraca em ambientes perturbados; esse fato pode justificar o manejo racional da floresta como forma de perpetuação de espécies em seu habitat.

### 1.3.2 Corte Seletivo

Silveira et al. (2017) encontrou o valor do quociente “q” De Liocourt para o fragmento estudado de 1,32, enquanto que em 2012 no primeiro levantamento desse fragmento o valor encontrado por Ricken foi de 1,40.

Segundo Hess et al. (2010; 2014) e Hess (2012) em outras pesquisas, utilizando o quociente De Liocourt como proposta para o manejo de *A. angustifolia* na serra Catarinense, encontraram valores de “q” de 1,33, 1,32 e 1,10, respectivamente.

Sendo assim, considerando o valor para o quociente 'q' encontrado na área, área basal total observada de  $27,3 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e área basal remanescente para DAP máximo de 42,5 cm de  $14,4 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , foi realizada a proposta de intervenção silvicultural, a qual consistiu em variar o valor do quociente de Liocourt em ( $q = 1,1; 1,3; 1,5$ ), pois estão próximos ao valor encontrado, e também variação da área basal remanescente de 10,0, 12,0 e  $14,0 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , criando-se nove cenários de regime de manejo e manutenção de uma estrutura diamétrica futura da floresta (Tabela 2, 3 e 4).

Silveira et al. (2017) analisando as simulações que alteram os valores do quociente De Liocourt em 1,1, 1,3 e 1,5, afirmam que o 'q' de 1,5 e área basal remanescente de 12,0 a  $14,0 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  seriam o melhor regime de manejo para o fragmento de araucária, visto que as árvores a serem retiradas estariam nas classes de maiores diâmetros, permitindo que as classes com diâmetros menores inflexionem sua taxa de incremento e componham a estrutura futura da floresta, bem como a abertura do dossel proporcionaria aumento da regeneração natural, tanto de araucária como as demais espécies.

**Tabela 2** – Frequências observadas e estimadas, número de árvores e volume a remover para um diâmetro máximo de 42,5 cm, com a simulação do valor de “q” de 1,1 e área basal remanescente variando entre 10,0, 12,0 e 14,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para o fragmento de *A. angustifolia*.

CC	FO	G	V	"q" = 1,1 - Gr = 10				"q" = 1,1 - Gr = 12				"q" = 1,1 - Gr = 14			
				FE	NR	G	V	FE	NR	G	V	FE	NR	G	V
12,5	69	0,8	4,6	32	37	0,4	2,5	38	31	0,4	2,1	44	25	0,3	1,7
17,5	55	1,3	8,3	29	26	0,6	3,9	34	21	0,5	3,2	40	15	0,4	2,3
22,5	35	1,3	9,2	26	9	0,3	2,4	31	4	0,2	1,1	37			
27,5	33	2,0	14,2	24	9	0,5	3,9	28	5	0,3	2,2	33			
32,5	29	2,5	19,7	22	7	0,6	4,8	26	3	0,3	2,0	30			
37,5	24	2,6	21,9	20	4	0,4	3,6	24				27			
42,5	27	3,7	34,7	18	9	1,2	11,6	21	6	0,8	7,7	25	2	0,3	2,6
47,5	29	5,0	45,7	16	13	2,3	20,5	19	10	1,7	15,7	23	6	1,0	9,4
52,5	13	2,7	26,0	15				18				21			
57,5	7	1,8	18,0	13				16				19			
62,5	5	1,8	17,1	12				15				17			
67,5	2	0,7	7,0	11				13				15			
72,5	2	0,9	9,9	10				12				14			
<b>Total</b>	<b>330</b>	<b>27,2</b>	<b>236,3</b>	<b>248</b>	<b>114</b>	<b>6,5</b>	<b>53,1</b>	<b>295</b>	<b>80</b>	<b>4,2</b>	<b>33,9</b>	<b>345</b>	<b>48</b>	<b>2,0</b>	<b>16,0</b>

Onde: CC: centro de classe (cm), FO: frequência observada por hectare, V: volume (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>), FE: frequência estimada por hectare, NR: número de árvores a retirar por hectare, q: quociente De Liocourt e Gr: área basal remanescente (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>).

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.



**Tabela 3** – Frequências observadas e estimadas, número de árvores e volume a remover para um diâmetro máximo de 42,5 cm, com a simulação do valor de “q” de 1,3 e área basal remanescente variando entre 10,0, 12,0 e 14,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para o fragmento de *A. angustifolia*.

CC	FO	G	V	"q" = 1,3 - Gr = 10				"q" = 1,3 - Gr = 12				"q" = 1,3 - Gr = 14			
				FE	NR	G	V	FE	NR	G	V	FE	NR	G	V
12,5	69	0,8	4,6	59	10	0,1	0,7	71				83			
17,5	55	1,3	8,3	45	10	0,2	1,5	54	1	0,0	0,2	64			
22,5	35	1,3	9,2	35				42				49			
27,5	33	2,0	14,2	27	6	0,4	2,6	32	1	0,1	0,4	38			
32,5	29	2,5	19,7	21	8	0,7	5,4	25	4	0,3	2,7	29			
37,5	24	2,6	21,9	16	8	0,9	7,3	19	5	0,5	4,6	22	2	0,2	1,8
42,5	27	3,7	34,7	12	15	2,1	19,3	15	12	1,7	15,4	17	10	1,4	12,9
47,5	29	5,0	45,7	9	20	3,5	31,5	11	18	3,1	28,3	13	16	2,8	25,2
52,5	13	2,7	26,0	7	6	1,3	12,0	9	4	0,8	8,0	10	3	0,6	6,0
57,5	7	1,8	18,0	6	1	0,3	2,6	7				8			
62,5	5	1,8	17,1	4	1	0,4	3,4	5				6			
67,5	2	0,7	7,0	3				4				5			
72,5	2	0,9	9,9	3				3				4			
<b>Total</b>	<b>330</b>	<b>27,2</b>	<b>236,3</b>	<b>247</b>	<b>85</b>	<b>9,7</b>	<b>86,2</b>	<b>297</b>	<b>45</b>	<b>6,6</b>	<b>59,6</b>	<b>348</b>	<b>31</b>	<b>5,0</b>	<b>45,9</b>

Onde: CC: centro de classe (cm), FO: frequência observada por hectare, V: volume (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>), FE: frequência estimada por hectare, G: área basal (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>) NR: número de árvores a retirar por hectare, q: quociente De Liocourt e Gr: área basal remanescente (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>).

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

**Tabela 4** – Frequências observadas e estimadas, número de árvores e volume a remover para um diâmetro máximo de 42,5 cm, com a simulação do valor de “q” de 1,5 e área basal remanescente variando entre 10,0, 12,0 e 14,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para o fragmento de *A. angustifolia*.

CC	FO	G	V	"q" = 1,5 - Gr = 10				"q" = 1,5 - Gr = 12				"q" = 1,5 - Gr = 14			
				FE	NR	G	V	FE	NR	G	V	FE	NR	G	V
12,5	69	0,8	4,6	93				112				131			
17,5	55	1,3	8,3	62				75				87			
22,5	35	1,3	9,2	42				50				58			
27,5	33	2,0	14,2	28	5	0,3	2,2	33				39			
32,5	29	2,5	19,7	18	11	0,9	7,5	22	7	0,6	4,8	26	3	0,3	2,0
37,5	24	2,6	21,9	12	12	1,3	10,9	15	9	1,0	8,2	17	7	0,8	6,4
42,5	27	3,7	34,7	8	19	2,6	24,4	10	17	2,4	21,9	11	16	2,2	20,6
47,5	29	5,0	45,7	5	24	4,2	37,8	7	22	3,8	34,6	8	21	3,7	33,1
52,5	13	2,7	26,0	4	9	1,9	18,0	4	9	1,9	18,0	5	8	1,7	16,0
57,5	7	1,8	18,0	2	5	1,3	12,9	3	4	1,0	10,3	3	4	1,0	10,3
62,5	5	1,8	17,1	2	3	1,1	10,2	2	3	1,1	10,2	2	3	1,1	10,2
67,5	2	0,7	7,0	1	1	0,3	3,5	1	1	0,3	3,5	2			
72,5	2	0,9	9,9	1	1	0,4	5,0	1	1	0,4	5,0	1	1	0,4	5,0
<b>Total</b>	<b>330</b>	<b>27,2</b>	<b>236,3</b>	<b>123</b>	<b>90</b>	<b>14,4</b>	<b>132,4</b>	<b>148</b>	<b>73</b>	<b>12,5</b>	<b>116,5</b>	<b>172</b>	<b>63</b>	<b>11,1</b>	<b>103,6</b>

Onde: CC: centro de classe (cm), FO: frequência observada por hectare, V: volume (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>), FE: frequência estimada por hectare, NR: número de árvores a retirar por hectare, q: quociente De Liocourt e Gr: área basal remanescente (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>).

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Com base no incremento periódico anual em volume de 2,27%, as intensidades de corte para os ciclos de corte de 20, 25 e 30 anos foram, respectivamente, 36,17, 42,95 e 49,01%. Com isso a taxa de corte apresentou o seguinte comportamento: a intensidade de corte e a taxa de corte serão maiores quanto maior for o ciclo de corte desejado (Tabela 5).

**Tabela 5** - Determinação da taxa de corte sustentada ( $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ ) para a floresta natural de *A. angustifolia* segundo os cenários analisados.

Taxa de Corte ( $\text{m}^3\text{cc}.\text{ha}^{-1}$ )	CC (ano)	Gr ( $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ )		
		10	12	14
q	1,1	20	18,45	11,84
		25	21,90	14,06
		30	24,99	16,04
	1,3	20	30,15	20,81
		25	35,80	24,71
		30	40,85	28,19
	1,5	20	46,64	40,58
		25	55,38	48,18
		30	63,19	54,98

Onde: CC: Ciclo de corte, Gr: área basal remanescente ( $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ ) e q: quociente De Liocourt.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Segundo Putz et al. (2000) a compatibilização do ciclo de corte com o ritmo de crescimento da espécie que se deseja manejar e de suma importância para o sucesso do manejo. Schneider e Finger (2000) afirmaram que o período de tempo definido pelo ciclo de corte deve garantir a sustentabilidade da produção florestal permitindo que a floresta possa repor o volume explorado.

Trabalhos realizados visando atingir o conceito de floresta balanceada, em um fragmento de FOM, também no município de Lages, SC, tendo como finalidade projetar o manejo e regulação da estrutura sustentável florestal, como o de Hess et al. (2010), concluíram que o tempo necessário para repor o volume retirado de  $70,6 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , seria de 23 anos, considerando como diâmetro máximo desejado de 35,0 cm e uma intensidade de corte de 27,5%.

Ricken (2014), utilizando técnicas de manejo florestal, com base no quociente De Liocourt, incremento anual em diâmetro, densidade, competição e critérios morfométricos de árvores individuais, concluiu a possibilidade de exploração da

floresta, com volume a retirar de  $36,6 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , em ciclos de 25 anos e intensidade de corte de 33,1%.

Costa (2015), estudando também na serra catarinense, ao regular a produção de madeira em uma propriedade rural com alta dominância de *A. angustifolia*, projetou uma intensidade de corte de 32,6%, assumindo quociente De Liocourt de 1,30 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.

Já no Rio Grande do Sul, Schneider e Finger (2000) determinaram a taxa de corte sustentada para a Floresta Nacional de Passo Fundo, considerando uma estratégia de manejo com redução da densidade para uma área basal de, aproximadamente,  $25,0 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , quociente De Liocourt de 1,4 e diâmetro máximo desejado de 50,0 cm, com intensidade de corte para a *A. angustifolia* de 35,5% ( $60,8 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ ), considerando um ciclo de corte de 14 anos.

### 1.3.3 Sortimento

O volume com casca ( $\text{m}^3\text{cc}.\text{ha}^{-1}$ ) dos sortimentos e o número de toras, S1, S2, S3 e S4, para as alternativas de manejo, na FOM estão descritas na tabela 6. Em termos de sortimento e aplicação para o mercado, o ativo florestal, é composto principalmente de madeiras viáveis para laminação e serraria. Todas as alternativas de manejo gerariam um volume e número de toras consideráveis para esse mercado, porém a alternativa de manejo com quociente de Liocourt "q" = 1,3 e área basal remanescente de  $10,0 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  para esta floresta, computam com os sortimentos S1 e S2,  $65,3 \text{ m}^3\text{cc}.\text{ha}^{-1}$  em volume e 162 toras por hectare manejado.

**Tabela 6** – Volume ( $\text{m}^3\text{cc.ha}^{-1}$ ) e número de toras por hectare para as alternativas de manejo analisadas em uma floresta natural de *A. angustifolia*.

Alternativa de Manejo	Volume e Número de toras	Sortimento				Resíduo	Total
		S1	S2	S3	S4		
"q" = 1,1 g = 10 ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )	V	15,8	15,6	7,1	9,3	1,5	49,4
	N toras	21	63	58	282	93	517
"q" = 1,1 g = 12 ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )	V	11,4	10,0	3,9	5,8	1,2	32,3
	N toras	15	40	31	207	72	365
"q" = 1,1 g = 14 ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )	V	5,3	4,9	1,1	2,8	0,4	14,5
	N toras	7	19	9	138	45	218
"q" = 1,3 g = 10 ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )	V	34,0	31,3	10,5	3,8	2,3	82,0
	N toras	42	120	82	102	60	406
"q" = 1,3 g = 12 ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )	V	25,8	22,4	6,5	0,6	1,7	57,0
	N toras	33	86	50	9	32	210
"q" = 1,3 g = 14 ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )	V	22,7	16,9	3,5	0,0	1,4	44,5
	N toras	29	67	27	0	22	145
"q" = 1,5 g = 10 ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )	V	64,8	43,9	12,8	2,2	3,7	127,4
	N toras	70	165	100	32	66	433
"q" = 1,5 g = 12 ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )	V	59,3	38,4	9,8	1,0	3,2	111,8
	N toras	64	143	76	15	53	351
"q" = 1,5 g = 14 ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )	V	53,9	34,8	7,0	0,2	3,2	99,02
	N toras	59	129	54	2	50	294

Onde: S1: sortimento 1, S2: sortimento 2, S3: sortimento 3, S4: sortimento 4, FO: frequência observada, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ ), V: volume a retirar por hectare ( $\text{m}^3\text{cc.ha}^{-1}$ ).

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

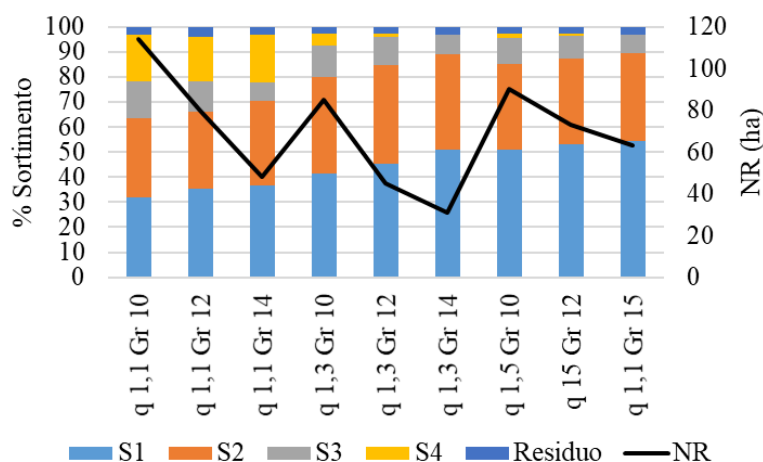
As alternativas de manejo com quociente de Liocourt "q" = 1,5 e área basal remanescente de 10,0, 12,0 e 14,0  $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ , são capazes de gerar os maiores valores em volume (108,7, 97,7 e 88,7  $\text{m}^3\text{cc.ha}^{-1}$ ) respectivamente, e número de toras (235, 207 e 188 toras por hectare) para os sortimentos S1 e S2, em razão desta alternativa de manejo permitir a retirada de árvores nas classes diamétricas médias e altas.

A porcentagem de sortimento para as alternativas de manejo e número de árvores a retirar por hectare para a FOM (figura 4). A alternativa de manejo que possui maior porcentagem em volume do fuste classificado em sortimento S4, com 19,9 % (2,8  $\text{m}^3\text{cc.ha}^{-1}$ ) é a alternativa com quociente de Liocourt "q" = 1,1 e área basal remanescente de 14,0  $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ , isso é explicado por essa alternativa de manejo priorizar a retirada das

árvores de menor diâmetro, consequentemente árvores mais jovens e cônicas, permitindo a classificação das árvores para este sortimento.

Já as alternativas de manejo com quociente de Liocurt " $q$ " = 1,5, que permitem a retirada de árvores nas maiores classes diamétricas, possuem porcentagem de S4 muito irrelevante com média de 0,94 %, isto pode ser explicado pela forma do fuste das árvores, que se altera com a idade. Figueiredo et al. (2018) afirmam que o afilamento diminui com o avanço da idade, ou seja, os fustes tornam-se mais cilíndricos, e que no geral, esses resultados são esperados do ponto de vista biométrico, resultado também encontrado por Friedl (1989), estudando a evolução da forma de árvores para a espécie *A. angustifolia*.

**Figura 4** – Porcentagem de sortimento para as alternativas de manejo e número de árvores a retirar por hectare para a floresta natural de *A. angustifolia*.



Onde: S1: sortimento 1, S2: sortimento 2, S3: sortimento 3, S4: sortimento 4 e NR: número de árvores a retirar por hectare.

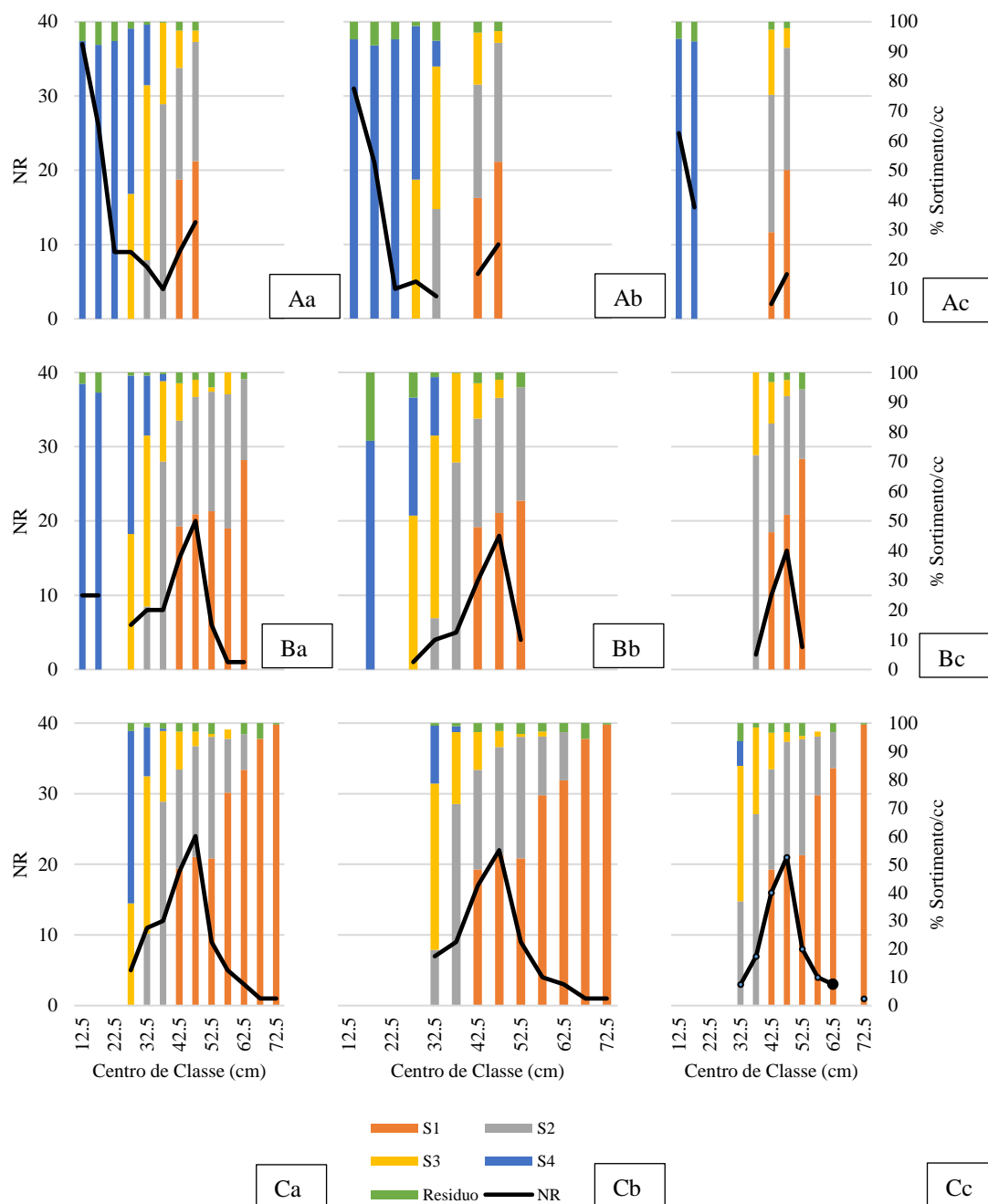
Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

A porcentagem de sortimento por CC e número de árvores por hectare a retirar (NR) para quociente De Liocourt  $q$  = 1,1 (figura 5 Aa; Ab; Ac), para os CC de 12,5 e 22,5 cm apresentaram 0,0% para os sortimentos S1 a S3, ou seja, possibilitando o uso apenas para processo, celulose ou energia, pois ainda não alcançaram diâmetro que permita a classificação para utilização para serraria e laminação.

Costa et al. (2016) descrevem o afilamento do fuste de *A. angustifolia*, e após ajuste concluíram que, uma árvore de araucária com 20 cm de diâmetro e 10,4 m de altura apresenta 0,0% de volume em sortimentos S1 a S3 e 100% de sortimento

classificado como madeira para energia ou indústria, S4, com 0,1510 m<sup>3</sup>.cc, o que corrobora com esse trabalho.

**Figura 5** – Porcentagem de sortimento por centro de classe e número de árvores por hectare a retirar (NR) para quociente De Liocourt  $q = 1,1$  (A); 1,3 (B) e 1,5 (C), e área basal remanescente variando entre 10,0 (a); 12,0 (b) e 14,0 (c) m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para o fragmento de *A. angustifolia*.



Onde: S1: sortimento 1, S2: sortimento 2, S3: sortimento 3, S4: sortimento 4, FO: frequência observada, CC: centro de classe (cm) e NR: número de árvores a retirar por hectare.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Para um quociente De Liocourt  $q = 1,3$  e área basal remanescente variando entre 10,0, 12,0 e 14,0  $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ , o maior número de árvores a retirar está no centro de classe mediano de 47,5 cm, com 20 (figura 5 Ba), 18 (figura 5 Bb) e 16 (figura 5 Bc) árvores a retirar por hectare, esta classe apresentou porcentagem em S1 médio de 45,9% para os três regimes de manejo, seguido dos demais sortimentos S2, S3 e resíduos, com as respectivas porcentagens médias, 38,5, 10,7 e 1,9%, o que demonstra o grande potencial desta floresta na produção de toras de qualidade para as serrarias e laminadoras da região.

A porcentagem de sortimento por centro de classe e número de árvores por hectare a retirar para quociente De Liocourt  $q = 1,5$ , e área basal remanescente variando entre 10,0, 12,0 e 14,0  $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ , assim como para  $q = 1,3$ , é no centro de classe 47,5 cm, porém com a retirada de árvores até o centro de classe superior de 72,5 cm este com porcentagem de S1 a retirar médio de 99,45% (figura 5 Ca; Cb; Cc).

Dentre os cenários elaborados a alternativa de manejo com  $q$  de 1,5 se mostrou mais eficiente para o fragmento, pois respeita o conceito de floresta balanceada e promove um maior equilíbrio entre volume e árvores removidas no fragmento. Neste plano o “ $q$ ” foi maior do que o original, retirando assim mais árvores de maiores dimensões, justificando assim a maior produção volumétrica.

A quantificação do sortimento é um estudo fundamental para o maior aproveitamento florestal e para determinar a qualidade e quantidade da madeira existente (MENDONÇA, 2006), isto é, a determinação do volume dos multiprodutos que a floresta é capaz de fornecer ao produtor e a utilização apropriada da produção florestal tem grande relevância, pois além de otimizar o uso dos recurso madeiro, possibilita a maximização da renda, trazendo benefícios para a floresta, o produtor e a sociedade.

O manejo florestal aliado aos estudos de sotimento traz benefícios além do financeiro e social para as comunidades locais, agrega melhorias ambientais como o retorno nas taxas de incremento (HESS et al., 2010; HESS et al., 2018b), aumento na diversidade de espécies (HESS et al., 2010; HESS, 2012; HESS et al. 2018a), redução da competição (COSTA; FINGER, 2017), aumento na taxa de ingresso (HESS et al., 2014), além de reduzir a mortalidade e escassez de recursos do ecossistema florestal (ORELLANA, VANCLAY, 2018).



Ainda favorece a regeneração natural, pois a baixa regeneração em floretas naturais de araucárias se deve ao adensamento das copas que não permitem a entrada de luz próximo ao solo (SANT'ANNA et al., 2013; HESS et al., 2014). Sendo assim o manejo florestal para as áreas naturais de araucárias traria benefícios sociais, ambientais e financeiros para as populações locais.

#### 1.4 CONCLUSÃO

A distribuição diamétrica para a FOM apresenta-se em formato de J-invertido, caracterizando assim, uma floresta não balanceada, com poucos indivíduos nas classes de diâmetro superior, sugerindo assim que houve intervenção antrópica no passado.

A taxa de corte será maior quanto maior for o ciclo de corte para os cenários analisados, mostrando que a variação em área basal é importante, pois irá gerar receitas diferentes. Sendo assim, todas essas alternativas de regimes de manejo devem ser avaliadas pela pesquisa operacional, pois esta definirá qual maximizará a renda e sustentabilidade do manejo.

A utilização do estudo do afilamento das árvores possibilitou definir que o abastecimento do mercado com os sortimentos S1 e S2, estes que são destinados a serraria e laminação, principais utilizações da madeira de *A. angustifolia* são maximizadas com as alternativas de manejo com quociente de Liocurt " $q$ " = 1,3 e 1,5 e área basal remanescente de 10,0 e 12,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.

É importante ressaltar que existe diferença no crescimento das árvores e na estrutura das florestas naturais de araucárias distribuídas na FOM, necessitando assim, o estudo local para aplicação de manejo nos pilares da sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711–728, 2014.

BARROS, N. F. Recursos do solo versus sustentabilidade florestal. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, p. 26-27, jun./ago. 2009.

BECKERT, S.M.; ROSOT, M.A.D.; ROSOT, N.C., 2014. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Sci. For.**, Piracicaba, (42)102:209-218.

BRASIL. 2006. Decreto nº 11428, 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília.

BRASIL. 2008. Decreto nº 6514, de 22 de junho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília.

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.

COSTA, E.A., FINGER, C.A.G. Efeito da Competição nas Relações Dimensionais de Araucária. **Floresta Ambiente**. 2017, vol.24, e20150145. Epub Nov 16, 2016. ISSN 1415-0980.

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

FANTINI, A.C.; SIMINSKI, A. 2007. De agricultor a “agricultor silvicultor”: um novo paradigma para a conservação e uso de recursos florestais no Sul do Brasil. **Agropecuária Catarinense** 20: 16-18.

FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F.A. de S.; KOHLER, S.V.; BECKER, M.; BRANDES, D. Efeito da Idade no Afilamento e Sortimento em Povoamentos de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, V. 22, N. 1, 2018, pp. 50-59.

FRIEDL R.A. **Dinâmica e prognose da forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze** [dissertação]. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná; 1989.

GOMIDE, L.R *et al.* Sustainable Forest Management of Native Vegetation Remnants in Brazil. In: **Sustainable Forest Management - Case Studies**. Disponível em: <<http://www.inte-chopen.com/books/sustainable-forest-management-case-studies>>. Acesso em: 27 nov. de 2016.

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

HESS, A. F.; MINATTI, M.; FERRARI, L.; PINTRO, B. A. Manejo de Floresta Ombrófila Mista pelo método De Liocourt, Município de Paineira, SC. **Cerne**, v. 20, p. 575 - 580, 2014.

HESS, A.F.; CALDAROTTO, A.R.; PINHEIRO, R.; WANGINIÁK, T.C.R. 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**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 337-345, nov./dez. 2010.

HESS, A.F.; LOIOLA, T.; SOUZA, I.A.; MINATTI, M.; RICKEN, P.; BORSOI, G. Forest management for the conservation of *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. **Floresta**. 2018(b). 49(3): 373-382.

HESS, A.F.; SILVEIRA, A.C.DA.; KREFTA, S.M.; SANTOS, D.V.DOS.; FILHO, M.D.H.V.; ATANAZIO, K.A.; SCHORR, L.P.B.; SOUZA, I.A.; BORSOI, G.B.; STEPKA, T.F.; COSTA, E.A.; LIESENBERG, V. Crown dynamics of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) in Santa Catarina region of Brazil. **Aust. J. Crop Sci.** 2018(a). 12(03):449457.

IMAÑA-ENCINAS, J., SANTANA, O.A., DE MACEDO, L.A. AND DE PAULA, J.E. (2008) Distribuição diamétrica de um trecho da Floresta Estacional Semidecidual na área do Ecomuseu do Cerrado. **Cerne**, 14, 33-45.

KOZAK, A. A variable-exponent taper equation. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 18, p. 1363-1368, 1988.

MENDONÇA, A.R. de. **Avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de *Eucalyptus* sp. em função da qualidade do fuste**; Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2006.

MMA. 2008. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 6, de 23 de setembro de 2008. Reconhece espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção e revoga a Portaria Normativa Ibama no 37- N, de 3 de abril de 1992. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 185. p. 75.

MONTIGNY, L. de. Silviculture Treatments for Ecosystem Management in the Sayward (STEMS): Establishment Report for STEMS 1, Snowden Demonstration Forest. B.C. Min. For., **Res. Br.**, Victoria, B.C. Tech. Rep. 017. 2004. <<http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Tr/Tr017.htm>>.

ORELLANA, E.; FIGUEIREDO FILHO, A.; NETTO, S.P.; DIAS, A.N. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um fragmento de floresta ombrófila mista. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.2, p.297-308, 2014.

ORELLANA, E., VANCLAY, J.K. Competition and dominance between angiosperms and *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze in the Atlantic Forest in southern Brazil. 2018. **Forest Ecology and Management**. V. 425, p. 119-125.

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

RICKEN, P.; **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de *Araucaria angustifolia* no planalto catarinense**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade do Estado Santa Catarina, Lages. 2014.

SANT'ANNA, C. S.; SEBBENN, A. M.; KLABUNDE, G. H. F.; BITTENCOURT, R.; NODARI, R. O.; MANTOVANI, A.; REIS, M. S. Realized pollen and seed dispersal within a continuous population of the dioecious coniferous Brazilian pine *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze]. **Conservation Genetic**, Arlington, v. 14, n. 3, p. 601-613, 2013.

SCHIKOWSKI, A.B.; MARTINS, A.P.M.; SCHIAVO, B.N de V.; STANG, M.B.; CORTE, A.P.D.; NETTO, A.P.; SANQUETTA, C.R. Dinâmica da distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* em um remanescente de floresta ombrófila mista no Paraná. **Rev. Bras. Biom.**, Lavras, v.34, n.1, p.163-182, 2016.

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

SILVEIRA, A.C., HESS, A.F, SCHORR, L.P.B., KREFTA, S.M., SANTOS, D.V., FILHO, M.D.H.V., ATANAZIO, K.M., COSTA, E.A., STEPKA, T.F., BORSOI, G.A. Management of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze) based on the Liocourt model in a mixed ombrophilous forest in Southern Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, Austrália, v. 12, n.02, p. 311-317, 2017.

## CAPÍTULO 2

### DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA AUXÍLIO A TOMADA DE DECISÃO NO MANEJO DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

#### RESUMO

O manejo da araucária aliada à pesquisa operacional é de extrema importância para o desenvolvimento da sociedade e manutenção dos remanescentes, demonstrando a capacidade antrópica em gerir os recursos florestais de forma sustentável. Sendo assim o objetivo deste trabalho é utilizar a pesquisa operacional (PO) para resolver problemas de regulação florestal em uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze. A proposta de melhor regime de manejo para a floresta consistiu-se da elaboração de dois problemas de PO utilizando programação linear inteira (PLI). I - o primeiro com o intuito de maximizar a renda para cada regime; e o II - segundo definir a melhor alternativa de manejo para três valores do quociente  $q$  De Liocourt de 1,1; 1,3 e 1,5, áreas basais remanescentes de 10,0, 12,0 e 14,0  $m^2 \cdot ha^{-1}$  e ciclos de corte de 20, 25 e 30 anos, criando-se assim 27 cenários de manejo. O corte seletivo é um método que concilia o manejo e a colheita florestal, visando identificar e selecionar indivíduos a serem explorados, considerando aspectos ecológicos, econômicos e produtivos no abastecimento de madeira de um empreendimento florestal. Apesar da aplicação de ciclos de corte diferentes de 20, 25 e 30 anos a alternativa de manejo que melhor utiliza os recursos e que maximizam a renda para esta área de 84 ha, no município de Lages, SC, é o " $q$ " = 1,3 com área basal remanescente de 12  $m^2 \cdot ha^{-1}$  para todos os ciclos de corte. A retirada destas árvores na floresta contribuirá para a manutenção de uma estrutura diamétrica futura, regeneração natural, conservação da espécie e taxa de incremento das árvores, bem como com a manutenção de recursos do ecossistema florestal.

**Palavras-chave:** Quociente De Liocourt, Programação linear, Regulação florestal.

## CHAPTER 2

### DEVELOPMENT OF MODELS FOR DECISION MAKING IN THE MANAGEMENT OF *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

#### ABSTRACT

The management of *Araucaria* combined with operational research is extremely important for the development of society and maintenance of forest remnants, demonstrating our capacity to manage forest resources sustainably. This study aimed to use operational research (OR) to solve problems of regulation in a natural forest of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. The proposal for a better management regime of the forest consisted of the development of two OR problems using integer linear programming (ILP): I - maximizing revenue for each management regime; and II - defining the best management alternative for De Liocourt q-ratios of 1.1; 1.3 and 1.5, residual basal areas of 10.0, 12.0 and 14.0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> and cutting cycles of 20, 25 and 30 years, totaling 27 management scenarios. Selective cutting is a method that brings together forest management and harvesting. It aims to identify and select individuals to be exploited, considering ecological, economic and productive aspects in the supply of timber of a forestry business. In spite of the application of different cutting cycles of 20, 25 and 30 years, the management alternative that best uses resources and maximizes revenue for an area of 84 ha in city of Lages (SC) is q = 1.3 with a remaining basal area of 12 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> for all the cutting cycles. The removal of these trees in the forest will contribute to the maintenance of a future diameter distribution, natural regeneration, species conservation and tree growth rate, in addition to forest ecosystem resources.

**Keywords:** De Liocourt's parameter, Linear programming, Forest regulation.

## 2.2 INTRODUÇÃO

*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, também conhecida como pinheiro brasileiro, é uma das espécies florestais de maior importância no sul do Brasil. Esta destaca-se pela alta qualidade de sua madeira e produção de sementes comestíveis (REITZ; KLEIN, 1966). Devido à exploração desordenada no passado, houve uma redução da área de cobertura com floresta de araucária (Floresta Ombrófila Mista - FOM), bem como pelo uso das áreas de floresta para agricultura e aumento das áreas urbanas.

Assim, medidas legais foram tomadas para tornar proibida a exploração da espécie, tal atitude impossibilita o manejo das áreas nativas de florestas com araucárias. O objetivo das leis é garantir a preservação e conservação, porém relatos como no levantamento socio ambiental realizado por Justen *et al.* (2012) sobre a legislação inapropriada, é indicada como prejudicial ao futuro da araucária e da bracatinga, ação constatada também por Siminski & Fantini (2007), em que os agricultores declaram a legislação atual inadequada a eles e eliminariam as formações florestais de suas propriedades se tivessem possibilidade de fazê-lo.

Desta forma, a proibição da exploração é mais prejudicial à conservação da floresta do que o manejo sustentável. As taxas de incremento tendem a estagnar (HESS *et al.*, 2018), há uma redução na diversidade de espécies, competição (COSTA; FINGER, 2017), baixa regeneração natural, baixa taxa de ingresso, maior mortalidade e escassez de recursos do ecossistema florestal (ORELLANA; VANCLAY, 2018).

Um dos desafios para o manejo florestal em pequenas propriedades é manter uma oferta regular de madeira, pressuposto para sua viabilidade econômica. Ainda, o planejamento florestal apresenta algumas dificuldades na tomada de decisões, pois segundo Arce (1997), este destaca, a incerteza sobre as futuras condições econômicas e biológicas, visto que o planejamento do processo florestal é de longo prazo, e o número de regimes de manejo possíveis é limitado.

A ferramenta atualmente utilizada para o melhor planejamento e tomada de decisão no setor florestal é a Pesquisa Operacional (PO), que é definida como a área do conhecimento que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos avançados para



auxiliar na tomada de melhores decisões nas mais diversas áreas de atuação humana. A PO teve seu início durante a Segunda Guerra Mundial, a partir da necessidade de lidar com problemas de natureza logística, tática e de estratégia militar de grandes dimensões e complexidade (SOBRAPO, 2017).

Após a 1ª Guerra Mundial, as ideias propostas para operações militares foram adaptadas para melhorar a eficiência e a produtividade do setor civil (TAHA, 2008). Vistas as vantagens do uso da PO, esta começou a ser utilizada em diversas áreas, inclusive na área florestal.

Dentre as numerosas ferramentas matemáticas atualmente aplicadas com o objetivo de otimizar o planejamento da produção florestal, as técnicas de Programação Linear (PL) constituem a ferramenta analítica mais utilizada (SILVA et al., 2003). Esta é entendida como um método da PO aplicada à solução de problemas que tem o propósito de otimizar o sistema de estudo (SILVA, 2006).

Silva (2016) afirma que a otimização pode se referir à maximização de parâmetros tais como: lucro, vendas, uso efetivo de uma área, nível de produção e uso de um determinado recurso; ou a minimização de parâmetros tais como: custo de produção, uso de determinado recurso de alto valor monetário e emprego de mão-de-obra. Independentemente do tipo de modelo abordado, a PL apresenta uma versatilidade em formular as restrições ligadas ao manejo das operações florestais (ÖHMAN; ERIKSSON, 2002).

A utilização das técnicas de PL é ampla e pode ser aplicada em diversos setores de desenvolvimento, no âmbito florestal apresenta diversas aplicações, na área do manejo florestal de nativas e plantadas, destacam-se os estudos de Hof e Joyce (1992), Hoganson e McDill (1993), Yang (1996), Paivinen et al, (1996), Borges et al, (1997), Batabyal (1998), McKenney (1999) e Strange et al, (1999).

A hipótese deste estudo é que a alternativa de manejo com “q” = 1,5, área basal remanescente de 10 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, para ciclo de corte de 20 anos será a alternativa que maximiza a renda, em uma floresta nativa de *A. angustifolia*. Sendo assim o objetivo deste trabalho foi analisar dois problemas de pesquisa operacional, utilizando programação linear inteira, sendo o primeiro com o intuito de maximizar a renda para

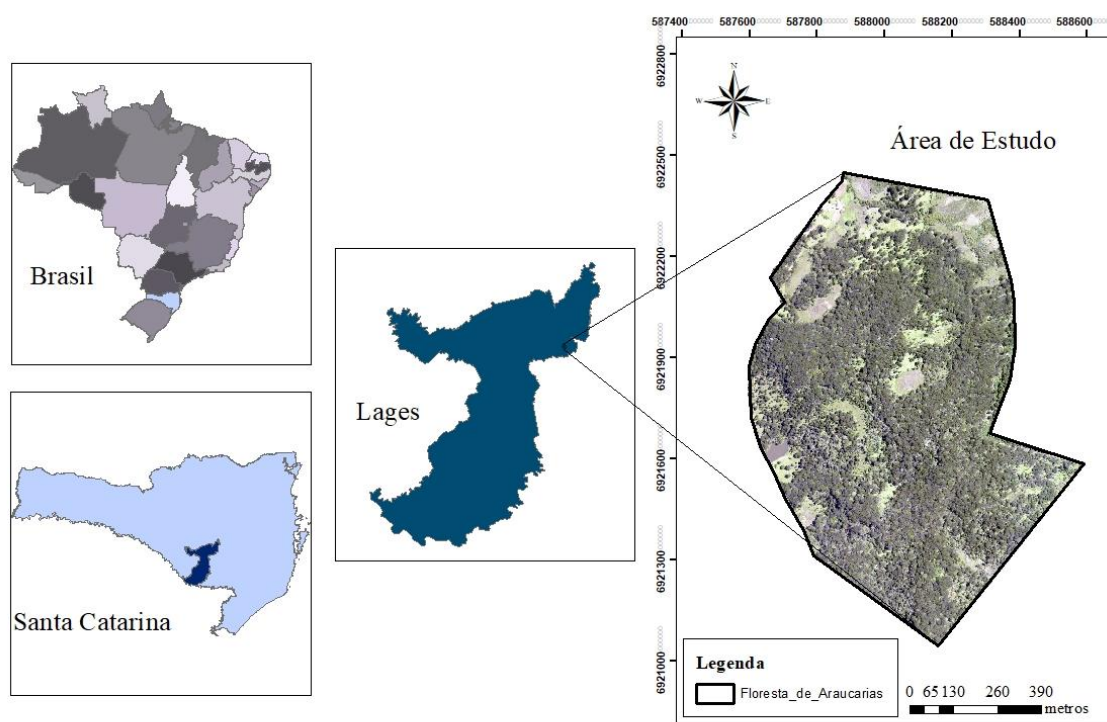
cada cenário e o segundo para a escolha da melhor alternativa de manejo para diferentes quocientes De Liocourt, área basais remanescentes e ciclos de corte.

## 2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.2.1 Área de Estudo

A área de estudo localizada no município de Lages, é um remanescente de FOM, em altitude de 1.200 m, e área total de 84 ha (Figura 6). As coordenadas geográficas do local são -27°49' e -50°06'. O A região pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Pelotas.

**Figura 6** - Mapa com a localização do fragmento natural de *A. angustifolia* estudado.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é o Cfb, temperado quente, com temperatura média do mês mais frio abaixo de 11,5 °C e possibilidades de geada. Os verões são amenos com temperatura média do mês mais quente abaixo de 21,7°C e sem

estação seca definida. A temperatura média anual da região é de 15,7 °C. A umidade média relativa é de 79%. A precipitação média anual é de 1.555,7 mm (ALVARES et al., 2014).

### **2.2.2 Coleta de dados**

Os dados para este estudo são provenientes de um inventário sistemático, com suficiência amostral de 25 parcelas com limite de erro admitido de 15%, sendo assim 25 parcelas de 400 m<sup>2</sup> (20 m x 20 m) foram alocadas, com espaçamento entre parcelas de 50 m e entre linhas de 100 m.

No levantamento foram mensuradas 332 árvores. De cada árvore a partir do diâmetro a altura do peito de 10 cm foram coletados dados dendrométricos, de diâmetro à altura do peito (DAP), com o auxílio de uma suta; altura total (h) e altura de inserção de copa (Hic), medidas com o aparelho Trupulse. A identificação da árvore foi realizada com plaquetas de alumínio com numeração ordinal.

Para a obtenção do incremento anual em diâmetro de árvores das classes diamétricas que compõem a estrutura horizontal da floresta, foi utilizado o trado de Pressler, retirado-se duas amostras perpendiculares não destrutivas de rolos de incremento na altura do DAP (1,3 m).

### **2.2.3 Processamento dos dados**

#### **2.2.3.1 Afilamento e Volume**

Para estimativa da produção de madeira em classes de sortimento utilizou-se a função de afilamento proposto por Kozak (1988), ajustado por Costa et al. (2016) para a mesma área de estudo, com R<sup>2</sup>aj. de  $\approx 98,0\%$  e Syx% de 17,4 % (equação 4).

$$di = 0,8944DAP^{1,0361}0,9994^{DAP} \left( \frac{1 - \sqrt{hi/h}}{1 - \sqrt{p}} \right)^{-0,1885 \ln\left(\frac{hi}{h}+0,001\right)+1,1267\sqrt{\frac{hi}{h}}-0,2960e^{\left(\frac{hi}{h}\right)}-0,0420\left(\frac{DAP}{h}\right)} + \varepsilon \quad (4)$$

Sendo: di = diâmetro relativo; DAP = diâmetro a altura do peito (1,30 m); hi = altura relativa; h = altura total; p = ponto de inflexão considerado em 1,3/h; ln = logaritmo natural; e  $\varepsilon$  = erro.

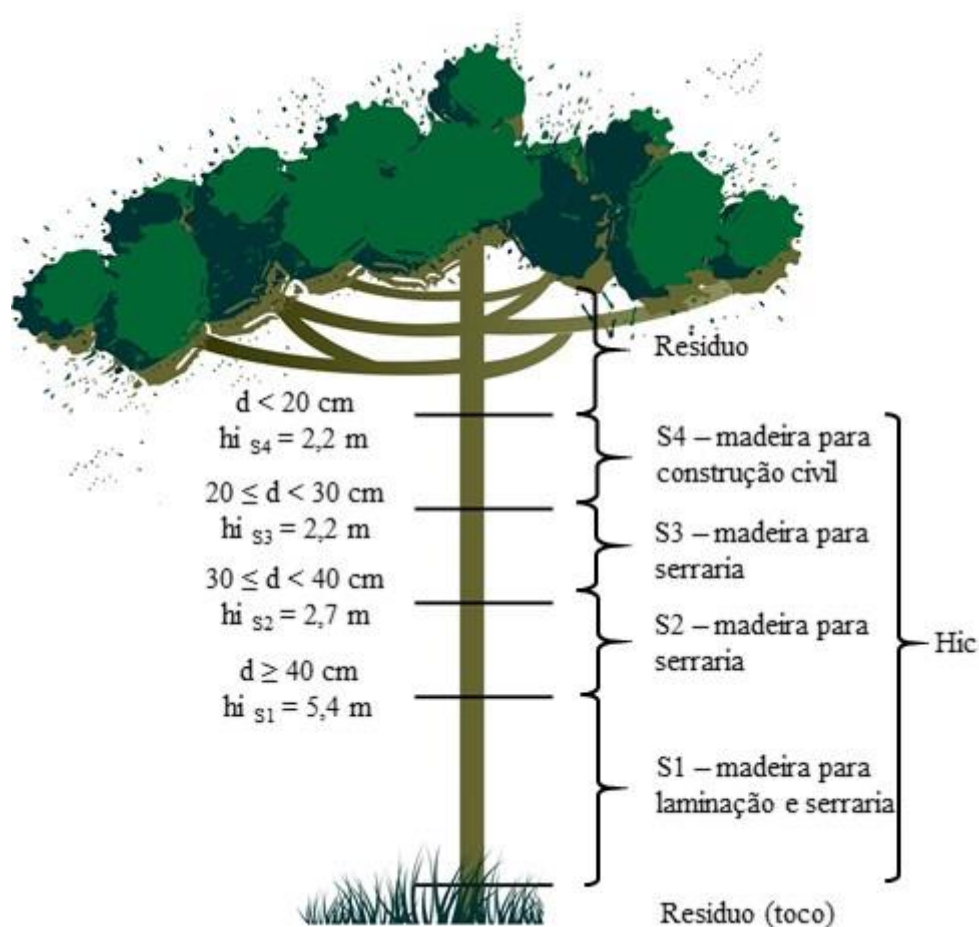
O volume total da árvore com casca (m<sup>3</sup>cc) até o ponto de inserção da copa foi determinado dividindo-se o fuste em seções de 5 e 5 cm, ajustando o afilamento para cada seção e utilizando a fórmula de Smalian para calcular o volume de cada porção.

### 2.2.3.2 Sortimento

O sortimento de madeira (figura 7) segue a metodologia, também, proposta por Costa (2016). No estabelecimento dos sortimentos, foi priorizada a formação de toras com maior diâmetro e comprimento, na sequência S1, S2, S3 e S4.

Foi considerado os seguintes sortimentos com casca: S1 = tora para serraria com diâmetro na ponta fina maior e igual a 40 cm e comprimento de 5,4 metros; S2 = tora para serraria com diâmetro na ponta fina maior ou igual que 30 cm e menor que 40 cm e comprimento de 2,7 metros; S3 = tora com diâmetro na ponta fina maior ou igual a 20 cm e menor que 30 cm e comprimento de 2,2 metros; S4 = tora para construção civil (exemplo: cobertura de casas, estruturas como vigas e caibros) com diâmetro na ponta fina menor que 20 cm e com restante do comprimento disponível do fuste.

**Figura 7** – Classificação de sortimentos para *A. angustifolia*.



Onde:  $d$ : diâmetro (cm),  $h_{i_{S1}}$ ,  $h_{i_{S2}}$ ,  $h_{i_{S3}}$  e  $h_{i_{S4}}$ : altura (m), S1: sortimento 1, S2: sortimento 2, S3: sortimento 3, S4: sortimento 4,  $h_i$ : altura da tora e Hic: altura de inserção de copa.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

### 2.2.3.3 Renda

O valor da renda em R\$/árvore foi obtido por pesquisa de preço. Valores considerados para a classificação da árvore estão descritos na tabela 7. O critério de preço para a árvore individual leva em consideração a qualidade da árvore e a quantidade de sortimentos gerados.

**Tabela 7** – Renda (R\$/árvore) conforme a classificação de qualidade e quantidade de sortimentos gerados.

Número de toras	Sortimentos			
	S1	S2	S3	S4
<b>1</b>	R\$ 300,00	R\$ 100,00	R\$ 30,00	R\$ 10,00
<b>2</b>	R\$ 325,00	R\$ 150,00	R\$ 30,00	R\$ 15,00
<b>3</b>	R\$ 350,00	R\$ 200,00	R\$ 50,00	R\$ 20,00
<b>4/5</b>	-	R\$ 250,00	R\$ 75,00	R\$ 25,00

Onde: S1: sortimento 1, S2: sortimento 2, S3: sortimento 3, S4: sortimento 4.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Considerando o valor temporal do recurso financeiro foi calculado o valor presente líquido conforme a equação 5, atribuindo uma taxa de juros de 6% ao período. Para o cálculo do fluxo de caixa foi desconsiderado os custos, pois como o mesmo não é praticado preferiu-se atribuir o valor bruto da exploração.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+Tx)^t} \quad (5)$$

Sendo: VPL: valor presente líquido; FC<sub>t</sub>: fluxo de caixa no período de 20, 25 e 30 anos; Tx: taxa de juros; t: período.

#### 2.2.3.4 Cenários para o Manejo da Araucária

Foram sugeridos três regimes de manejo para três ciclos de corte, com base em estudos realizados na área por Silveira et al. (2017), em que se obteve quociente “q” De Liocourt de 1,32, para o diâmetro máximo desejado de 42,5 cm e 4,69 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> em área basal explorada. Os cenários analisados foram: I) regime de manejo com valor do quociente “q” De Liocourt de 1,1; II) regime com valor de “q” 1,3; e, III) regime com valor de “q” de 1,5. Todos os regimes serão avaliados para área basal remanescente de 10,0, 12,0 e 14,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, permitindo diferentes níveis de exploração quanto ao número de árvores e área basal (Tabela 8).

**Tabela 8** – Regimes de manejo propostos para *A. angustifolia*.

valor de “q”	Gr (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )			Ciclo de corte
1,1(I)	10	12	14	20
				25
				30
1,3(II)	10	12	14	20
				25
				30
1,5(III)	10	12	14	20
				25
				30

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

O horizonte de planejamento foi estipulado para três ciclos de corte de 20, 25 e 30 anos para os três regimes de manejo. Com intervenções a cada 5 anos. Foram considerados os modelos para a tomada de decisão as receitas obtidas com cada alternativa De Liocourt e os sortimentos. Sendo assim, foram gerados 27 cenários.

#### 2.2.3.5 Modelo de Pesquisa Operacional (PO)

O processamento dos modelos foi realizado no suplemento *Solver* do *Microsoft Excel*, versão *Office 365*, sendo esta uma ferramenta para resolver problemas de Programação Linear Inteira. O modelo *Solver* contém os seguintes itens:

- Função objetivo (FO) que deverá ser definida com o comando MAX ou MIN (maximizar ou minimizar a FO).
- A declaração das células das variáveis;
- Definição das restrições;
- Para finalizar ordena-se o comando SOLVE.

Foi utilizado um computador com processador Intel® Core i5 2.4 GHz e 6 Gb de RAM.

### **2.2.3.5.1 Programação Linear Inteira**

O corte seletivo é um método que concilia o manejo e a colheita florestal, visando identificar e selecionar indivíduos a serem explorados, considerando aspectos ecológicos, econômicos e produtivos no abastecimento de madeira de um projeto florestal.

O princípio do método emprega critérios científicos, como fitossociologia, distribuição espacial das espécies e estrutura diamétrica, cujo objetivo é permitir uma resiliência da floresta e, com isso, garantir a produção sustentada. Contudo, após a aplicação deste conjunto de métodos, tem-se o resultado numérico da densidade de indivíduos/classe de diâmetro a ser explorado.

Porém, alguns problemas surgem, quais sejam: como será a seleção destes indivíduos no campo? E, principalmente, quais árvores  $i$  serão cortadas no ano  $j$ ? Além disso, como garantir o controle da espacialização da exploração, para que, no final, haja um menor impacto na vegetação remanescente.

Pensando em resolver o problema em questão, foi utilizada a programação linear inteira (PLI) no planejamento do manejo florestal para a espécie araucária, espécie predominante nas florestas nativas da região serrana de Santa Catarina.

Foram criados dois problemas de otimização: I) o primeiro modelo matemático foi estruturado com o objetivo de maximizar a renda para cada cenário; e o II) segundo modelo proposto consiste em definir qual a área a ser manejada no horizonte de planejamento, que maximize a renda.

#### **2.2.3.5.1.1 Modelo I**

O modelo matemático foi incorporado restrições para atender às opções relacionadas com o plano de manejo selecionado, como, por exemplo, restringir o número de árvores/classe de diâmetro a ser removido da área.

O modelo clássico da P-mediana emprega o uso de variável de decisão binária  $\{0,1\}$ , representando a ativação ou não do corte de determinada árvore selecionada de



uma determinada classe diamétrica. A equação (6) é a função objetivo do modelo e busca maximizar o somatório da renda gerada pela árvore  $i$  na classe diamétrica  $j$ . As restrições são referentes à: (7) obedecer ao conceito de Floresta Balanceada e permitir que possa ser selecionada a árvore  $i$  que gera um volume  $v$ , ao longo de toda a minha amplitude de diâmetro na classe diamétrica  $j$ , e não seja superior ao  $V$  do Plano de Manejo; (8) que seja respeitado o limite de árvores  $i$  a serem retiradas na classe diamétrica  $j$  para cada plano de manejo; e (9) restrição binária para seleção da árvore  $i$  na classe diamétrica  $j$ .

Função Objetivo

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P r_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^N v_{ij} x_{ij} \leq V_j \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = NR_{ij} \quad (8)$$

$$x_{ij} = \{1,0\} \quad (9)$$

Sendo:  $Z$ : vetor resultante do somatório da renda gerada das árvores  $i$  pertencente a classe diamétrica  $j$ ;  $r_{ij}$ : renda em reais da árvore  $i$  pertencente a classe diamétrica  $j$ ;  $x_{ij}$ : variável de decisão binária  $\{0, 1\}$  empregada para cortar a árvore  $i$  pertencente a classe diamétrica  $j$ ;  $N$ : número total de árvores inventariadas na área estudada;  $P$ : número total de classes diamétricas;  $v_{ij}$ : volume gerado pela árvore  $i$  pertencente a classe diâmetrica  $j$ ;  $V_j$ : volume do plano de manejo permitido a ser retirado de cada classe diâmetrica  $j$ ;  $NR_{ij}$ : número de árvores  $i$  a serem retiradas por classe de diâmetro  $j$  conforme o plano de manejo.

#### 2.2.3.5.1.2 Modelo II

O modelo matemático proposto consiste em definir qual a área a ser manejada no horizonte de planejamento proposto que maximize a renda para todos os cenários estudados, com ciclos de corte de 20, 25 e 30 anos, sendo assim serão criadas 27

alternativas de manejo. E foram incorporadas as restrições de volume e área conforme as prescrições que cada plano de manejo permite que seja aplicado na floresta

A equação (10) é a função objetivo do modelo e busca maximizar o somatório da renda gerada pela área manejada  $i$  no ano  $j$ . As restrições são referentes à: (11) volume permitido a ser retirado da área  $i$  conforme o plano de manejo, no ano  $j$ ; e (12) a área a ser manejada  $i$  não pode ultrapassar a área total do fragmento florestal.

Função Objetivo

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^N r_{ij} a_{ij} \quad (10)$$

sujeito a

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} y_{ij} \leq V \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^P a_{ij} = A \quad (12)$$

Sendo:  $Z$ : vetor resultante do somatório da renda gerada pela área manejada  $i$  no ano  $j$ ;  $r_{ij}$ : renda em reais gerada pela área manejada  $i$  no ano  $j$ ;  $a_{ij}$ : área a ser manejada  $i$  no ano  $j$ ;  $N$ : número de períodos de corte  $N= 5, 10, 15, 20, 25$  e  $30$  anos;  $y_{ij}$  = volume colhido na área  $i$  no ano  $j$ ;  $V$  = volume do plano de manejo permitido a ser retirado na floresta;  $A$  = área total da floresta.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Modelo I: para maximizar a renda

O modelo matemático proposto a fim de selecionar as árvores a serem manejadas (Anexo A), para cada cenário proposto em FOM, gerou um volume total com casca ( $\text{m}^3\text{cc.ha}^{-1}$ ) e rendas ( $\text{R}\$. \text{ha}^{-1}$ ). A valoração foi realizada com base no produto do número médio de toras por classe de tora de cada árvore, com número de árvores exploradas por hectare e respectivos preços. Estes dados servirão de *input* no modelo II para escolha do melhor plano de manejo.

Considerando o ciclo de corte de 20, 25 e 30 anos e com base no Incremento Periódico Anual em Volume (%) e com intensidade de corte para a FOM, foi possível determinar a taxa de corte ( $\text{m}^3\text{cc.ha}^{-1}$ ) (Tabela 9) e renda para cada cenário (R\$/ha) (tabela 10), em que quanto menor a área basal remanescente maior a renda gerada, e quanto maior o ciclo de corte, maior a renda para a mesma área.

**Tabela 9** - Determinação da taxa de corte sustentada para a floresta natural de *A. angustifolia* segundo os cenários analisados.

Taxa de Corte ( $\text{m}^3\text{cc.ha}^{-1}$ )	CC (ano)	Gr ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )		
		10	12	14
Q	1,1	20	18,45	11,84
		25	21,90	14,06
		30	24,99	16,04
	1,3	20	30,15	20,81
		25	35,80	24,71
		30	40,85	28,19
	1,5	20	46,64	40,58
		25	55,38	48,18
		30	63,19	54,98

Onde: CC: Ciclo de corte, Gr: área basal remanescente e q: quociente De Liocourt.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

**Tabela 10** - Determinação da renda bruta para a floresta natural de *A. angustifolia*, para os cenários analisados.

Renda (R\$.ha <sup>-1</sup> )	CC (ano)	Gr ( $\text{m}^2\text{.ha}^{-1}$ )		
		10	12	14
Q	1,1	20	3.662,39	2.412,65
		25	4.348,54	2.864,67
		30	4.961,85	3.268,69
	1,3	20	5.762,15	4.217,62
		25	6.841,71	5.007,80
		30	7.806,64	5.714,09
	1,5	20	8.093,42	7.143,91
		25	9.609,74	8.482,34
		30	10.965,07	9.678,67

Onde: CC: Ciclo de corte, Gr: área basal remanescente e q: quociente De Liocourt.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

A intensidade de corte e a taxa de corte, será maior quanto maior e o ciclo de corte desejado. A compatibilização do ciclo de corte com o ritmo de crescimento da espécie que se deseja manejar é de suma importância para o sucesso do manejo (PUTZ

et al. 2000), pois o período de tempo definido pelo ciclo de corte deve garantir a sustentabilidade da produção florestal permitindo que a floresta possa repor o volume explorado (SCHNEIDER; FINGER 2000).

A variação em área basal é importante, pois fornece receitas diferentes bem como está vinculada a taxa de incremento de cada fragmento, sendo que quanto maior a taxa, mais rápido o sítio retorna à produção retirada. Assim, todas essas alternativas de regimes de manejo devem ser avaliadas pela pesquisa operacional, pois ela informa qual maximizará a renda e sustentabilidade do manejo.

### **2.3.2 Modelo II: definição da área a ser manejada no horizonte de planejamento**

A alternativa de manejo a que maximizou a renda para o ciclo de corte de 20 anos foi o quociente De Liocourt de 1,3, com área basal remanescente de 12 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (tabela 12), o número de árvores a retirar para esta alternativa de manejo é de 45 árvores.ha<sup>-1</sup>, permitindo intervenções nos centros de classe diamétricas na amplitude de 17,5 a 52,5 cm (tabela 11), abrangendo quase todas as classes diamétricas da floresta de araucárias, possibilitando assim estabilidade para este remanescente após o manejo. O valor que maximizou a renda para essa alternativa de manejo foi 200.512,85 reais para a área total a ser explorada de 84 ha.

As alternativas de manejo com quociente De Liocourt de 1,1, e área basal remanescente de 10, 12 e 14 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, junto com a quociente De Liocourt de 1,3, e área basal remanescente de 12 e 14 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, para o ciclo de corte de 20 anos, não utilizaram toda a área disponível para o manejo isso ocorre pois o problema é restrito pelo volume limitado que estas alternativas de manejo disponibilizam para o problema (tabela 9), reduzindo a área a ser manejada para atender a restrição de volume a ser retirado da área.

**Tabela 11** – Número de árvores a retirar por classe diamétrica, para a floresta natural de *A. angustifolia*.

11. Angashipana.										
CC (cm)	FO (ha <sup>-1</sup> )	"q" = 1,1			"q" = 1,3			"q" = 1,5		
		Gr (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )								
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
NR										
12,5	69	37	31	25	10					
17,5	65	26	21	15	10	1				
22,5	35	9	4							
27,5	33	9	5		6	1		5		
32,5	29	7	3		8	4		11	7	3
37,5	24	4			8	5	2	12	9	7
42,5	27	9	6	2	15	12	10	19	17	16
47,5	29	13	10	6	20	18	16	24	22	21
52,5	13				6	4	3	9	9	8
57,5	7				1			5	4	4
62,5	5				1			3	3	3
67,5	2							1	1	
72,5	2							1	1	1
Total	206	114	80	48	85	45	31	90	73	63

Onde: CC: centro de classe (cm), q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente, FO: frequência observada e NR: número de árvores a retirar.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

**Tabela 12** – Função Objetivo (R\$) para a floresta de *A. angustifolia* segundo os regimes de manejo estipulados e ciclo de corte de 20 anos.

q	Gr (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Área a ser manejada por alternativa de manejo e período (ha)				FOb (R\$)
		5	10	15	20	
1,1	10	21,0	21,0	21,0	8,1	182.204,20
1,1	12	21,0	21,0	7,2	-	137.094,78
1,1	14	21,0	6,3	-	-	78.059,00
1,3	10	21,0	21,0	21,0	21,0	195.916,03
1,3	12	21,0	21,0	21,0	16,7	200.512,85
1,3	14	21,0	21,0	20,7	-	173.349,49
1,5	10	21,0	21,0	21,0	21,0	177.860,34
1,5	12	21,0	21,0	21,0	21,0	180.460,16
1,5	14	21,0	21,0	21,0	21,0	181.928,33

Onde: q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Para o ciclo de corte de 25 anos, assim como para o CC de 20 anos, a alternativa de manejo a que maximizou a renda foi o quociente De Liocourt de 1,3, com área basal remanescente de 12 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (tabela 13). O valor que maximizou a renda para o ciclo de corte de 25 anos foi 203.079,15 reais para a área total a ser explorada de 84 ha.

**Tabela 13** - Função Objetivo (R\$) para a floresta de *A. angustifolia* segundo os regimes de manejo estipulados e ciclo de corte de 25 anos.

q	Gr (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Área a ser manejada por alternativa de manejo e período (ha)					FOb (R\$)
		5	10	15	20	25	
1,1	10	16,80	16,80	16,80	16,80	9,72	188.463,62
1,1	12	16,80	16,80	16,80	0,63	-	149.963,41
1,1	14	16,80	10,44	-	-	-	89.024,01
1,3	10	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	191.487,97
1,3	12	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	203.079,15
1,3	14	16,80	16,80	16,80	16,80	1,25	181.665,60
1,5	10	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	173.840,37
1,5	12	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	176.381,43
1,5	14	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	177.816,41

Onde: q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Para o ciclo de corte de 30 anos, as alternativa de manejo que maximizou a renda foi o quociente De Liocourt de 1,3, com área basal remanescente de 12 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, (tabela 14), a alternativa de manejo para CC de 30 anos segue a tendência para 20 e 25 anos, o valor que maximiza a renda para essa alternativa de manejo foi 189.029,32 reais para a área total a ser explorada de 84 ha.

**Tabela 14** - Função Objetivo (R\$) para a floresta de *A. angustifolia* segundo os regimes de manejo estipulados e ciclo de corte de 30 anos.

q	Gr (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Área a ser manejada por alternativa de manejo e período (ha)						FOb (R\$)
		5	10	15	20	25	30	
1,1	10	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	11,64	181.895,89
1,1	12	14,00	14,00	14,00	14,00	1,39	-	150.964,56
1,1	14	14,00	14,00	0,94	-	-	-	96.628,24
1,3	10	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	178.240,07
1,3	12	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	189.029,32
1,3	14	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	3,93	176.788,83
1,5	10	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	161.813,40
1,5	12	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	164.178,66
1,5	14	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	165.514,37

Onde: q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Assim como no ciclo de 20 anos, para os ciclos de corte de 25 e 30 anos algumas alternativas de manejo não utilizam a área total de 84 ha, sendo estas “q” = 1,1, e área basal remanescente de 10, 12 e 14 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, e “q” = 1,3, e área basal remanescente de 14 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, isso se dá pelo mesmo motivo do ciclo de corte de 20 anos, em que a área a ser manejada é reduzida, para atender a restrição de volume a ser retirado. Porém como a intensidade de corte para os ciclos de corte de 25 e 30 são maiores, a restrição de volume permite uma área maior a ser maneja para uma mesma alternativa de manejo.

Apesar da aplicação de Ciclos de corte diferentes de 20, 25 e 30 anos a alternativa de manejo que melhor utiliza os recursos e que maximizam a renda para esta área de 84 ha, sob as condições impostas para o problema, é o “q” = 1,3 com área basal remanescente de 12 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para todas as alternativas de manejo.

Com o preço definido por árvore individual em pé, a relação do volume a ser retirado para a quantidade de árvores na alternativa de manejo “q” = 1,3 com área basal remanescente de 12 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> é a que melhor utiliza o recurso florestal para as restrições estabelecidas nas condições propostas, sendo assim o problema tende a maximizar a renda nessa alternativa de manejo.

O quociente q’ De Liocourt de 1,33 foi considerado como melhor alternativa, onde as classes de árvores a serem removidas de 35 a 40 cm para um remanescente de FOM na mesma região deste estudo, removendo indivíduos nas classes intermediárias e superiores, comprovando a resiliência da floresta em recrutar indivíduos para essas classes de diâmetro (Hess et al 2010). Ainda em um remanescente florestal natural de araucárias no município de Painei, Santa Catarina, o quociente q’ De Liocourt de 1,33 é elucidado como a melhor alternativa, porém as árvores das classes diamétricas a serem removidas são 10, 15, 40, 45 e 50 cm (Hess 2012), validando desta forma os dados dessa pesquisa.

A alternativa de manejo ‘q’ de 1,5 e área basal remanescente de 12 ou 14 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, para o mesmo fragmento de araucária é considerada a melhor alternativa de manejo no ponto de vista que as árvores a serem retiradas estariam nas classes de maiores diâmetros e as classes com diâmetros menores teriam um maior número de árvores, proporcionando assim uma estabilidade ao fragmento (Silveira et al. 2017)

O objetivo de definir a opção de colheita em bases sustentadas para florestas de várzea no estuário amazônico, a manutenção da estrutura original das classes de diâmetro, com o Quociente De Liocourt original é de 1,74, porém os resultados indicaram que a floresta pode ser manejada adotando-se o plano de colheita que utiliza um Quociente De Liocourt 50% maior do que o original ( $q = 2,61$ ) e remoção de 30 % da área basal, o que corresponde a um lucro potencial de US\$ 3,945,40/ha (Gama et al 2005).

O manejo florestal segundo Sanquetta (2008), para a espécie *A. angustifolia* auxiliaria na regeneração natural, aumentaria a taxa de crescimento das árvores remanescentes, além de reduzir as taxas de mortalidade, sendo então fator decisivo para a sobrevivência da espécie.

## 2.4 CONCLUSÃO

Os modelos matemáticos de programação linear inteira são essenciais no planejamento operacional da colheita florestal, quando se objetiva a otimização do processo, permitindo a definição de quais árvores são retiradas da floresta dentre aquelas passíveis de corte.

A taxa de corte, será maior quanto maior e o ciclo de corte desejado e o cálculo da renda gerada para os cenários mostra que a variação em área basal é importante, pois fornece receitas diferentes.

Apesar da aplicação de Ciclos de corte diferentes de 20, 25 e 30 anos a alternativa de manejo que melhor utiliza os recursos e que maximizam a renda para esta área de 84 ha, no município de Lages, SC, é o “ $q$ ” = 1,3 com área basal remanescente de  $12 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  para todos os ciclos de corte.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711–728, 2014.

ARCE, J.E. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando a minimização de custos**. 98 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

BATABYAL, A.A. On some aspects of the decision to conserve or harvest old growth forest. **Journal of Environmental Management**, v.54, n.1, p.15-21, Sept, 1998.

BORGES, G.J.; OLIVEIRA, A.C.; COSTA, M.A. A quantitative approach to cork oak forest management. **Forest Ecology and Management**, v.97, n.3, p. 223-229, 1997.

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.

COSTA, E.A.; FINGER, C.A.G. Efeito da Competição nas Relações Dimensionais de Araucária. **Floresta Ambient**. 2017, vol.24, e20150145. Epub Nov 16, 2016. ISSN 1415-0980.

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

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

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A.R.; PINHEIRO, R.; WANGINIÁK, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze utilizando o quociente De Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 30, p. 337 – 345. 2010.

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

HESS, A.F.; LOIOLA, T.; SOUZA, I.A.; MINATTI, M.; RICKEN, P.; BORSOI, G. 2018. Forest management for the conservation of *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. **Floresta**. 49(3): 373-382.

HOF, J.G.; JOYCE, L.A. Spatial optimization for wild life and timber in managed forest ecosystems. **Forest Science**. V.38, p.489-508, Aug, 1992.

HOGANSON, H.M.; MCDILL, M.E. More on forest regulation: an LP perspective. **Forest Science**, v. 39, n.2, p. 321-347, 1993.

KOZAK, A. A variable-exponent taper equation. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 18, p. 1363-1368, 1988.

JUSTEN, J.G.K; MULLER, J.J.V., TORESAN, L. 2012. Levantamento Socioambiental. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**. Cap. 13, p. 242-259.

MCKENNEY, D.W. Multiple-use planning: an application of FORPLAN to an Australian forest. **Australian Forestry**. V.53, n.2, p.113-123, 1990.

ÖHMAN, K.; ERIKSSON, L.O. Allowing for spatial consideration in long-term forest planning by linking linear programming with simulated annealing, **Forest Ecology and Management**, Netherlands. v. 161, n. 1, p. 221-230. 2002.

ORELLANA, E.; VANCLAY, J.K. Competition and dominance between angiosperms and *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze in the Atlantic Forest in southern Brazil. 2018. **Forest Ecology and Management**. V. 425, p. 119-125.

PAIVINEN, R.; ROIHUVUO, L.; SIITONEN, M. Large-scale forestry scenario models: experiences and requirements. In: **European Forest Institute**, 5., Joensuu, 1996.

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

REITZ, R.; KLEIN, R.M. 1966. **Araucariáceas, Flora Ilustrada Catarinense**. Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí, 62 p.

RICKEN, P.; **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de *Araucaria angustifolia* no planalto catarinense**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade do Estado Santa Catarina, Lages. 2014.

SANQUETTA, C. R. **Manual para instalação e medição de parcelas permanentes nos Biomas Mata Atlântica e Pampa**. S.I.: RedeMap. Curitiba: Funpar. 2008. 43p.

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

SILVA, G.F.; LEITE, H.G.; SILVA, M.L. da; RODRIGUES, F.L.; SANTOS, H. do N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Revista Árvore**. Viçosa, v.27, n.5, p.677-688. 2003.

SILVA, J.C. Fundamentos de Programação Linear-PL. Boletim técnico: MS: 02/06 em 01/02/2006- Universidade Federal do Espírito Santo.

SILVEIRA, A.C., HESS, A.F, SCHORR, L.P.B., KREFTA, S.M., SANTOS, D.V., FILHO, M.D.H.V., ATANAZIO, K.M., COSTA, E.A., STEPKA, T.F., BORSOI, G.A. Management of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze) based on the Liocourt model in a mixed ombrophilous forest in Southern Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, Austrália, v. 12, n.02, p. 311-317, 2017.

SIMINSKI, A.; FANTINI, A.C. 2007. Roça-de-toco: uso de recursos florestais e dinâmica da paisagem rural no litoral de Santa Catarina. **Ciência Rural** 37: 1-10.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL. O que é PO? Disponível em: < <http://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>, > Acesso em: 10 julho 2017.

STRANGE, N.; TARP, P., HELLES, F.; BRODIE, J.D. A four-stage approach to evaluate management alternatives in multiple-use forestry. **Forest Ecology and Management**. V.124, n.1, p.79-91, 1999.

TAHA, H.A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. P. 359.

YANG, Y.C. Forest resource management planning under fuzzy decision environments. **Quarterly Journal of the Experimental Forest of National Taiwan University**. V.9, n.4, p.1-17, 1995. 1996.

## ANEXO

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continua).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 12,5	94	1	1	1	1	0				
	x1	1	1	1	1	0				
	189	1	1	1	1	0				
	35	1	1	1	1	0				
	246	1	1	1	1	0				
	60	1	1	1	1	0				
	12	1	1	1	1	0				
	79	1	1	1	1	0				
	x2	1	1	1	1	0				
	177	1	1	1	1	0				
	152	1	1	1	0	0				
	159	1	1	1	0	0				
	175	1	1	1	0	0				
	260	1	1	1	0	0				
	x3	1	1	1	0	0				
	120	1	1	1	0	0				
	190	1	1	1	0	0				
	196	1	1	1	0	0				
	209	1	1	1	0	0				
	268	1	1	1	0	0				
	75	1	1	1	0	0				
	185	1	1	1	0	0				
	106	1	1	1	0	0				
	192	1	1	1	0	0				
	238	1	1	1	0	0				
	128	1	1	0	0	0				
	219	1	1	0	0	0				
	81	1	1	0	0	0				
	90	1	1	0	0	0				
	131	1	1	0	0	0				
	287	1	1	0	0	0				

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continuação).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 12,5	133	1	0	0	0	0				
	146	1	0	0	0	0				
	227	1	0	0	0	0				
	46	1	0	0	0	0				
	139	1	0	0	0	0				
	129	1	0	0	0	0				
	198	0	0	0	0	0				
	202	0	0	0	0	0				
	103	0	0	0	0	0				
	166	0	0	0	0	0				
	172	0	0	0	0	0				
	262	0	0	0	0	0				
	15	0	0	0	0	0				
	18	0	0	0	0	0				
	58	0	0	0	0	0				
	293	0	0	0	0	0				
	34	0	0	0	0	0				
	275	0	0	0	0	0				
	25	0	0	0	0	0				
	132	0	0	0	0	0				
	259	0	0	0	0	0				
	306	0	0	0	0	0				
	232	0	0	0	0	0				
	52	0	0	0	0	0				
	264	0	0	0	0	0				
	84	0	0	0	0	0				
	295	0	0	0	0	0				
	308	0	0	0	0	0				
	215	0	0	0	0	0				
	210	0	0	0	0	0				
	59	0	0	0	0	0				
	180	0	0	0	0	0				
	49	0	0	0	0	0				

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continuação).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 12,5	181	0	0	0	0	0				
	225	0	0	0	0	0				
	239	0	0	0	0	0				
	247	0	0	0	0	0				
	240	0	0	0	0	0				
CC 17,5	323	1	1	1	1	0				
	3	1	1	1	1	0				
	6	1	1	1	1	0				
	86	1	1	1	1	0				
	19	1	1	1	1	0				
	130	1	1	1	1	0				
	311	1	1	1	1	0				
	73	1	1	1	1	0				
	179	1	1	1	1	0				
	158	1	1	1	0	0				
	291	1	1	1	0	0				
	154	1	1	1	0	0				
	328	1	1	1	0	0				
	309	1	1	0	0	0				
	26	1	1	0	0	0				
	134	1	1	0	0	0				
	200	1	1	0	0	0				
	205	1	1	0	0	0				
	20	1	1	0	0	0				
	32	1	1	1	1	1				
	28	1	1	0	0	0				
	235	1	0	0	0	0				
	5	1	0	0	0	0				
	253	1	0	0	0	0				
	244	1	0	0	0	0				
	31	1	0	0	0	0				
	123	0	0	0	0	0				
	313	0	0	0	0	0				

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continuação).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 17,5	98	0	0	0	0	0				
	319	0	0	0	0	0				
	110	0	0	0	0	0				
	322	0	0	0	0	0				
	17	0	0	0	0	0				
	214	0	0	0	0	0				
	87	0	0	0	0	0				
	199	0	0	0	0	0				
	112	0	0	0	0	0				
	51	0	0	0	0	0				
	234	0	0	0	0	0				
	243	0	0	0	0	0				
	277	0	0	0	0	0				
	325	0	0	0	0	0				
	167	0	0	0	0	0				
	183	0	0	0	0	0				
	307	0	0	0	0	0				
	143	0	0	0	0	0				
	226	0	0	0	0	0				
	266	0	0	0	0	0				
	236	0	0	0	0	0				
	115	0	0	0	0	0				
	155	0	0	0	0	0				
	274	0	0	0	0	0				
	77	0	0	0	0	0				
	125	0	0	0	0	0				
	109	0	0	1	0	0				
CC 22,5	228	0	0		0	0				
	95	0	0		0	0				
	188	0	0		0	0				
	74	0	0		0	0				
	47	0	0		0	0				
	176	0	0		0	0				

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.



**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continuação).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 22,5	71	0	0		0	0				
	29	0	0		0	0				
	299	0	0		0	0				
	93	0	0		0	0				
	140	0	0		0	0				
	21	0	0		0	0				
	233	1	1		0	0				
	13	1	1		0	0				
	83	1	1		0	0				
	204	1	1		0	0				
	284	1	0		0	0				
	186	1	0		0	0				
	195	1	0		0	0				
	8	1	0		0	0				
	108	1	0		0	0				
	184	0	0		0	0				
	161	0	0		0	0				
	206	0	0		0	0				
	265	0	0		0	0				
	165	0	0		0	0				
	70	0	0		0	0				
	121	0	0		0	0				
	11	0	0		0	0				
	40	0	0		0	0				
	292	0	0		0	0				
	237	0	0		0	0				
	126	0	0		0	0				
	104	0	0		0	0				
	314	0	0		0	0				
CC 27,5	170	1	1		1	0		1		
	113	1	1		1	1		1		
	147	1	0		1	0		1		
	171	1	0		0	0		1		

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continuação).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 27,5	117	1	0		0	0		1		
	289	1	0		0	0		0		
	135	0	0		0	0		0		
	30	0	0		0	0		0		
	276	0	0		0	0		0		
	63	0	0		0	0		0		
	191	0	0		0	0		0		
	27	0	0		0	0		0		
	100	0	1		0	0		0		
	173	0	0		0	0		0		
	111	0	0		0	0		0		
	55	0	0		0	0		0		
	69	0	1		0	0		0		
	269	0	0		0	0		0		
	66	0	0		0	0		0		
	91	0	0		0	0		0		
	278	0	0		0	0		0		
	182	0	0		0	0		0		
	178	0	0		0	0		0		
	329	0	0		0	0		0		
	221	0	0		0	0		0		
	222	0	0		0	0		0		
	211	0	0		1	0		0		
	114	0	0		0	0		0		
	187	0	0		0	0		0		
	16	0	0		0	0		0		
	80	1	0		0	0		0		
	116	1	1		1	0		0		
	331	1	0		1	0		0		
CC 32,5	257	1	0		1	1		1	1	0
	312	1	0		1	0		1	1	0
	149	1	0		1	1		1	1	0
	169	1	0		1	1		1	1	0

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continuação).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 32,5	122	1	0		1	0		1	1	0
	279	1	0		1	0		1	1	0
	261	0	0		1	0		1	0	0
	326	0	0		0	0		0	0	0
	14	0	0		0	0		1	0	0
	203	0	0		0	0		1	0	0
	41	0	0		0	0		1	0	0
	168	0	0		0	0		0	0	0
	300	0	0		0	0		0	0	0
	119	0	0		0	0		0	0	0
	107	0	0		0	0		0	0	0
	305	0	0		0	0		0	0	0
	194	0	0		0	0		0	0	0
	273	0	0		0	0		0	0	0
	318	0	0		0	0		0	0	0
	164	0	0		0	0		0	0	0
	145	0	0		0	0		0	0	0
	45	0	0		0	0		0	0	0
	64	0	0		0	0		0	0	0
	127	0	1		0	0		0	0	1
	162	0	0		0	0		0	0	0
	37	0	0		0	0		0	0	0
	4	0	1		0	0		0	0	1
	36	0	0		0	0		0	0	0
	245	1	1		1	1		1	1	1
CC 37,5	231	0	0		0	0	0	0	0	1
	156	0	0		0	0	0	0	0	0
	118	0	0		0	0	0	1	1	0
	201	0	0		0	0	0	0	0	0
	148	0	0		1	0	0	0	0	0
	54	0	0		0	0	0	0	0	0
	321	0	0		0	0	0	0	0	0
	267	0	0		0	0	0	0	0	0

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continuação).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 37,5	251	0	0		0	0	0	0	0	0
	144	1	0		1	1	1	1	1	1
	2	0	0		0	0	0	1	0	0
	141	1	0		1	1	1	1	1	1
	43	0	0		0	0	0	0	0	0
	48	0	0		0	0	0	0	0	0
	23	0	0		1	1	0	1	1	1
	85	0	0		0	0	0	0	0	0
	105	0	0		0	0	0	1	0	0
	218	0	0		0	0	0	0	1	0
	263	0	0		1	0	0	1	1	0
	97	0	0		0	0	0	1	0	0
	174	1	0		1	1	0	1	1	1
	280	0	0		1	0	0	1	1	0
	82	0	0		0	0	0	1	0	1
	193	1	0		1	1	0	1	1	1
CC 42,5	320	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	157	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	153	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	102	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	88	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	212	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	272	1	0	0	1	1	1	1	1	1
	67	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	89	1	0	0	1	1	1	1	1	1
	301	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	39	0	0	0	1	1	0	1	1	1
	217	0	0	0	1	1	0	1	1	1
	294	0	0	0	1	0	0	1	1	1
	255	0	0	0	1	0	0	1	1	1
	62	0	0	0	1	0	0	1	1	1
	304	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	316	0	0	0	0	0	0	1	1	0

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continuação).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 42,5	252	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	256	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	197	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	258	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	248	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CC 47,5	297	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	99	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	137	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	271	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	160	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	213	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	317	1	0	0	1	1	1	1	1	1
	282	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	224	1	0	0	1	1	1	1	1	1
	163	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	101	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	38	0	1	0	1	1	1	1	1	1
	9	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	61	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	150	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	302	0	0	0	1	1	0	1	1	0
	22	1	0	0	1	1	0	1	1	0
	33	0	1	0	1	0	0	1	1	1
	207	0	0	0	1	0	0	1	1	0
	298	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	327	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	136	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Continuação).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 47,5	78	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	68	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	288	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	324	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	138	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	285	1	1	0	0	0	0	0	1	1
CC 52,5	72				1	1	0	0	0	1
	303				1	0	0	1	1	1
	330				1	0	0	1	1	1
	50				0	0	0	1	1	0
	223				1	0	0	1	1	1
	270				0	0	0	1	1	1
	42				0	0	0	1	1	1
	250				0	0	0	1	1	0
	286				0	0	0	0	0	0
	65				1	1	1	1	1	1
	310				0	0	0	0	0	0
	10				1	1	1	1	1	1
	296				0	1	1	0	0	0
CC 57,5	254				1			1	1	1
	151				0			1	1	1
	142				0			1	1	1
	315				0			1	1	1
	249				0			1	0	0
	57				0			0	0	0
	281				0			0	0	0
CC 62,5	76				0			0	1	1
	290				0			1	0	1
	241				0			0	0	0
	53				0			0	0	0
	124				0			1	1	0
	216				1			1	1	1
CC 67,5	283							1	1	0

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

**Anexo A** – Resultado do problema binário de seleção de árvores de *Araucaria angustifolia* a serem cortadas para cada alternativa de manejo, para cada cenário proposto (Conclusão).

CC	Árvore	q 1,1			q 1,3			q 1,5		
		10	12	14	10	12	14	10	12	14
CC 67,5	220							0	0	0
CC 72,5	229							0	0	0
	230							1	1	1

Onde: CC: centro de classe diamétrica, q: quociente De Liocourt, Gr: área basal remanescente e FO: função objetivo.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.