

MANEJO FLORESTAL

para sustentabilidade e excelência



EDUARDO PAGEL FLORIANO

**Rio Largo, Alagoas, Brasil
2018**

Eduardo Pagel Floriano

MANEJO FLORESTAL:
para sustentabilidade e excelência

1ª edição

Edição do autor

Rio Largo, AL, Brasil

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias

Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

F635m Floriano, Eduardo Pagel
Manejo florestal: para sustentabilidade e excelência / Eduardo
Pagel Floriano. – Rio Largo: Edição do autor, 2018.
356 p. ; il.

Inclui bibliografia
ISBN 978-85-918170-4-7

1. Produção florestal – Planejamento. 2. Cadeias produtivas. 3.
Economia florestal. 4. Modelagem florestal. I. Floriano, Eduardo
Pagel. II. Título.

CDU: 630*2

PREFÁCIO

A motivação para elaborar este compêndio vem da necessidade de um texto auxiliar no ensino do manejo florestal para futuros Engenheiros Florestais. Os poucos textos em Língua Portuguesa, ou não estão disponíveis para aquisição, ou não possuem a abrangência necessária para servirem de base para a disciplina.

Manejo florestal é um assunto extremamente amplo, abrangendo tecnologias diversas, de diferentes subáreas, com o objetivo de subsidiar a produção de bens florestais, tangíveis e intangíveis, de forma sustentada e com excelência. Usualmente, os Engenheiros se especializam em uma ou poucas áreas correlacionadas do manejo florestal, devido à abrangência e complexidade do assunto, tendo por vezes até mesmo que apelar para profissionais de outras áreas, como a biologia, geografia, matemática, etc, para resolver os problemas que surgem ao manejar florestas.

Aqui, procurou-se fazer uma introdução dentro do escopo das principais técnicas atuais de manejo florestal utilizadas no Brasil, fornecendo-se uma referência, principalmente aos acadêmicos, de forma simples e resumida e de fácil compreensão.

Rio Largo, 25 de novembro de 2018.

Eduardo Pagel Floriano

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1.1 Requisitos do manejo florestal sustentável	19
1.1.1 Requisitos gerais	21
1.1.2 Requisitos específicos	21
1.2 Elementos do manejo florestal	22
2 ABORDAGENS DO MANEJO FLORESTAL	23
2.1 Florestas com objetivo de conservação	23
2.1.1 Unidades de Proteção Integral	23
2.1.2 Unidades de Uso Sustentável.	23
2.2 Florestas com objetivo de proteção	24
2.3 Florestas com objetivo de produção	26
3 FASES DO MANEJO FLORESTAL	29
3.1 Ambiente socioeconômico	30
3.1.1 Identificação dos atores	30
3.1.2 Caracterização socioeconômica	31
3.1.3 Políticas de desenvolvimento	31
3.1.4 Infraestrutura	32
3.1.5 Avaliação comparativa (Benchmarking)	32
3.2 Ambiente biofísico	33
3.3 Caracterização da cadeia produtiva	33
3.3.1 Características das indústrias de base florestal	34
3.3.2 Produtividade Industrial	35
3.4 Escolha de espécies	41
3.4.1 Objetivos da produção	41
3.4.2 Adaptação	44
3.4.3 Produtividade	45
3.5 Estatísticas	47
3.6 Caracterização das árvores e povoamentos	48
3.6.1 Diâmetro	49
3.6.2 Altura	52
3.6.3 Área Basal	53
3.6.4 Volume	55
3.6.5 Formas das árvores	57

3.6.6	Forma do tronco	66
3.6.7	Biomassa	70
3.6.8	Mortalidade	71
3.6.9	Qualidade da madeira	72
3.7	Espaço florestal	74
3.7.1	Áreas de preservação e conservação	74
3.7.2	Divisões e subdivisões espaciais	75
3.7.3	Rede viária	76
3.8	Tempo	79
3.8.1	Idade	80
3.8.2	Classes de idade	81
3.9	Estrutura florestal	81
3.9.1	Espécies	82
3.9.2	Índices de diversidade α	83
3.9.3	Índices de diversidade β	87
3.9.4	Diversidade por agrupamento	91
3.9.5	Estrutura Horizontal	99
3.9.6	Estrutura vertical	106
3.10	Crescimento	112
3.10.1	Fatores que afetam o crescimento	112
3.10.2	Representação matemática do crescimento	115
3.10.3	Incrementos	116
3.10.4	Curva de crescimento	117
3.10.5	Métodos de estudo do crescimento	119
4	MODELOS FLORESTAIS PARA O PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO	123
4.1	Classificação dos modelos matemáticos	126
4.1.1	Classes de objetivos da modelagem	126
4.1.2	Classificação teórico-empírica	126
4.1.3	Classificação pela técnica empregada	127
4.1.4	Classificação pela relação com o tempo	127
4.1.5	Classificação pelo tipo de previsão	127
4.1.6	Classificação de acordo com o tipo de dados	128
4.2	Modelagem linear por seleção de variáveis	128
4.3	Modelos de relação hipsométrica	130
4.4	Modelos para volume do tronco	131
4.5	Modelos para fator de forma	132
4.6	Modelos para casca	133

4.7 Modelos de crescimento florestal	134
4.7.1 Modelagem do crescimento	135
4.8 Modelos de distribuição de diâmetros	140
4.8.1 Florestas plantadas	140
4.8.2 Florestas inequiâneas	144
4.9 Modelos para forma e afilamento do tronco	145
4.9.1 Equação de afilamento do tronco	145
4.10 Tabelas de produção	148
4.11 Obtenção de dados para modelagem	149
4.11.1 Ajuste e construção de modelos	151
4.11.2 Avaliação de modelos	152
4.11.3 Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj})	155
4.11.4 Validação das equações de regressão	156
4.12 Análise de covariância	161
5 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS	162
5.1 Método da curva guia	164
5.2 Método da equação de diferença	166
5.3 Método da regressão aninhada	167
6 COMPETIÇÃO	168
6.1 Índices de competição	168
6.2 Índices baseados nas copas das árvores	173
6.2.1 Fator de Competição de Copas (FCC)	173
6.2.2 Índice de Ocupação do Espaço (IOE)	177
7 DENSIDADE DOS POVOAMENTOS	178
7.1 Densidade populacional	180
7.2 Área basal por unidade de área	181
7.3 Superfície de copa por unidade de área	181
7.4 Volume por unidade de área	182
7.5 Índices de densidade	182
7.5.1 Fator de Wilson	182
7.5.2 Índice de espaçamento relativo de Hart-Becking	183
7.5.3 Índice de densidade de Reineke	184
7.6 Controle da densidade	185
7.6.1 Densidade de plantio	185
7.6.2 Desbastes	186
7.7 Efeitos dos desbastes sobre a floresta e as árvores	187

7.7.1 Intensidade e Idade do 1º desbaste	189
7.7.2 Critérios para o 1º desbaste	190
7.7.3 Escolha das árvores a desbastar	190
7.7.4 Considerações sobre os Desbastes	190
7.7.5 Marcação de Desbastes	191
7.7.6 Cálculo de desbaste	191
7.7.7 Cálculo de desbaste pelo Índice de Hart-Becking	192
7.7.8 Método Inglês de desbaste	192
7.7.9 Método de Abetz de desbaste	193
7.7.10 Fator do espaçamento de Wilson	194
7.7.11 Método mexicano de desbaste	195
7.7.12 Método “croata” de desbaste	196
7.7.13 Considerações finais sobre densidade e desbastes	196
7.8 Desrama das florestas plantadas	197
8 ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA	203
8.1 Valor Presente Líquido (VPL)	205
8.2 Razão Benefício/Custo (B/C)	206
8.3 Taxa interna de retorno (TIR)	207
8.4 Valor Anual Equivalente (VAE)	208
8.5 Valor Esperado da Terra (VET)	209
9 ROTAÇÃO FLORESTAL	210
9.1 Rotação de máxima produtividade	210
9.2 Rotação de máximo resultado financeiro	210
9.2.1 Rotação de máximo VET	211
9.2.2 Rotação de máximo VAE	212
10 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL	213
10.1 Processo de planejamento e regulação da produção	213
10.2 Exemplo 1 – Produção de lenha para uma indústria de laticínios	216
10.3 Exemplo 2 – Regulação da produção de lenha para abastecimento de um frigorífico	220
11 PESQUISA OPERACIONAL FLORESTAL	224
11.1 Introdução	224
11.2 Métodos de Pesquisa Operacional	227
11.3 Benefícios da PO	229
11.4 Limitações da PO	229

11.5 Aplicações da PO	230
11.6 Programação Linear (PL)	231
11.6.1 Modelos de programação linear no manejo florestal	233
11.6.2 Exemplo 1 – Otimização de produtos a fabricar	239
11.6.3 Exemplo 2 – Otimização do transporte para a fábrica	241
11.6.4 Exemplo 3 – Otimização de máquinas na colheita	244
11.6.5 Exemplo 4 – Planejamento da produção florestal	246
11.7 CPM - Critical Path Method	253
11.7.1 Programação para Frente (Data Cedo)	254
11.7.2 Programação para Trás (Data Tarde)	254
11.7.3 Determinação do Caminho Crítico:	254
12 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS	259
12.1 Métodos de AIA para a fase de identificação e sumarização	260
12.2 Métodos de AIA para a fase de avaliação	261
12.3 Princípios e critérios para avaliação ambiental	261
12.4 Classificação dos impactos ambientais	263
12.4.1 Classificação qualitativa:	267
12.4.2 Classificação absoluta:	268
12.4.3 Classificação relativa	269
12.4.4 Dimensionamento dos impactos	272
13 GESTÃO DE RISCOS	275
13.1 Introdução	275
13.2 Classificação de riscos	277
13.3 Identificação e quantificação de riscos	279
13.4 Tratamento de riscos	285
13.5 Análise de risco financeiro (método de Monte Carlo)	286
14 MONITORAMENTO	288
14.1 Introdução	288
14.2 Análise de decisão	291
14.2.1 Propósito da decisão (Objetivo da Decisão)	291
14.2.2 Critérios	292
14.2.3 Alternativas	293
14.2.4 Comparação das alternativas	294
14.2.5 Avaliação dos riscos	295
14.2.6 Grau de conforto das decisões	296
14.2.7 Ações sobre os riscos	297

14.3 Metodologia para desenvolvimento de sistemas de monitoramento operacional	298
14.3.1 Levantamento de informações	302
14.4 2. Monitoramento de formigas cortadeiras	304
14.4.1 Considerações a respeito do sistema de monitoramento de formigas cortadeiras	312
14.5 3. Monitoramento de ervas daninhas	313
14.5.1 A situação	313
14.5.2 Levantamento de informações	313
14.6 4. Monitoramento de transporte de madeira	320
14.7 Monitoramento das florestas	327
14.7.1 Áreas de produção	327
14.7.2 Áreas de conservação e preservação	328
14.8 Monitoramento de solos	329
14.9 Monitoramento de estradas florestais	329
14.9.1 Seção transversal imprópria	332
14.9.2 Drenagem na estrada	333
14.9.3 Corruções	334
14.9.4 Poeira	334
14.9.5 Buracos	335
14.9.6 Sulcos	337
14.9.7 Perda de agregação	337
14.9.8 Inspeção e avaliação de estradas vicinais	339
14.9.9 Monitoramento das obras de arte e sinalização	340
14.10 Monitoramento de pragas e doenças	341
14.11 Monitoramento de incêndios florestais	341
15 GESTÃO DOS ESPAÇOS FLORESTAIS	343
15.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sistemas de Processamento de Imagem	344
15.2 Uso da tecnologia LiDAR na área florestal	347
16 REFERÊNCIAS	348

INTRODUÇÃO

Floresta: Terrenos com uma extensão de mais de 0,5 hectares com árvores de mais de 5 metros e um copado de mais de 10 por cento, ou árvores que possam alcançar esses limiares in situ. Não inclui terra que está predominantemente sob uso agrícola ou urbano (FAO, 2010).

“Manejo florestal é a ordenação científica dos povoamentos para a contínua produção de bens e serviços” (BAKER, 1950).

O manejo florestal é a ciência que trata da produção sustentável de bens florestais tangíveis e intangíveis com o objetivo de satisfazer as necessidades humanas, tendo como princípio a otimização dos recursos naturais e sua sustentabilidade.

“Manejo Florestal” consiste na gestão de florestas com bases científicas para atingir determinados objetivos, que podem ser de conservação, proteção, produção, educação ou recreação (Figura 1).

O ser humano surgiu há cerca de 200 mil anos e desde então tem usado intensamente todos os recursos das florestas de diferentes maneiras. As florestas não são apenas uma comunidade de árvores. Também fazem parte delas o solo, os mananciais e cursos de água, os animais e toda sua flora e fauna. No início, o homem vivia em pequenos grupos de coletores que simplesmente extraíam do ambiente o que ele oferecia naturalmente. Mas, com a evolução da civilização esses recursos passaram a ser usados exaustivamente. Em vários locais, desde a antiguidade, os recursos florestais passaram a ser escassos e até mesmo a serem extintos. Na antiguidade, governos de povos como os chineses e os romanos chegaram a emitir normas que disciplinavam e restringiam o uso das florestas com o objetivo de salvaguardar e manter a produção florestal de forma mais sustentável.

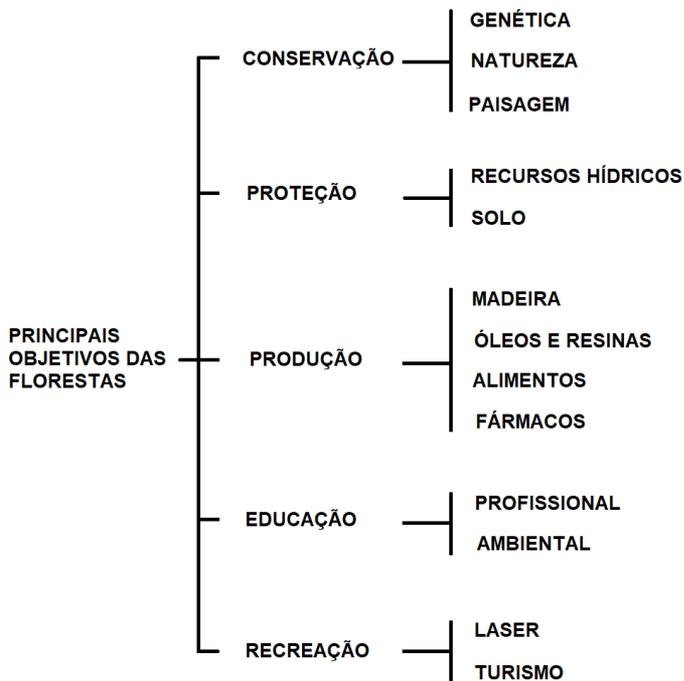


Figura 1 – Principais objetivos das florestas.

Esforços foram realizados no passado com o objetivo de manejar florestas e um dos compêndios mais antigos que trata do assunto é o de Hans Carl von Carlowitz que, em 1713, publicou a obra *Sylvicultura Oeconomica*. Ele escreveu que as florestas devem ser utilizadas com base nas suas características naturais para o bem estar da população, manejadas e conservadas com cuidado e com a responsabilidade de deixar um bom legado para as futuras gerações (GROBER, 2002).

O enfoque maior do manejo florestal é a produção de madeira, mas outros serviços da floresta beneficiam a civilização e proporcionam bem estar às pessoas, como abrigo e alimento para a fauna, proteção dos mananciais de água, amenização do clima, fixação do carbono do ar, produção de nuvens, conservação da diversidade genética, alimentos e, ainda, lazer e turismo.

Assim, o conceito atual de manejo florestal pode ser expresso como a ciência que trata da produção sustentável de bens e serviços florestais com o objetivo de satisfazer as necessidades humanas, tendo como princípio a otimização dos recursos naturais, sua conservação e sustentabilidade.

Alguns fatos históricos caracterizaram a evolução da preocupação com as florestas e são citados a seguir:

- 1122 a.C., um Imperador Chinês contratava um silvicultor com o objetivo de realizar desbaste, poda e limpeza de povoamentos.
- 23-79 d.C., os romanos começaram a planejar a utilização das florestas e já conheciam o regime de manejo em alto fuste e talhadia.
- 742 – 814 d.C. – início do ordenamento florestal, na Europa Central (França, Alemanha, Áustria e Suíça).
- 1669 - França - lei requeria que houvesse uma autorização oficial para todo tipo de corte, e que no caso de cortes finais fossem especificados a forma de cubicação da madeira, extensão e procedimento de tratamentos. Nessa época, também, foram desenvolvidos esforços esporádicos na Inglaterra.
- Durante a Idade Média, a madeira situava-se como um recurso importante devido a seu amplo uso em construções domésticas, naval e como combustível.
- Na Alemanha do século XIV foram realizadas práticas de rendimento sustentado mediante o método de divisão de áreas. No século XVIII, devido ao grave perigo de escassez de madeira, houve a elaboração de uma teoria de ordenamento. Começava-se a regular o corte com base no volume em vez da área da floresta.
- Em 1713 Hans Calowitz desenvolveu o primeiro conceito de sustentabilidade florestal nos termos que se entende ainda hoje.
- A primeira Escola Florestal foi fundada por Hans Dietrich von Zanthier, em Wernigerode, na Alemanha, que foi fechada com a morte do seu fundador, em 1778.
- A Escola Prusiana, fundada em 1779, em Hessen, por Georg Ludwig Hartig, teve grande importância no desenvolvimento da ciência florestal.
- A Hartig e Cotta deve-se a formulação, em 1804, da idéia básica de manejo florestal sustentado, que tinha por significado: manejar as florestas de maneira que os descendentes obtivessem dela pelo menos os mesmos benefícios que a geração atual.

- No século XIX, foi formulado o famoso Modelo da Floresta Normal, por Hundeshagen e Meyer. Esse modelo serviu como base da maioria dos métodos de regulação de corte. Ainda, nesse século, foram executados muitos estudos de produção e montadas várias tabelas de volume e de produção, assim como, o cálculo com juros compostos, realizado por Pressler em 1860.
- A primeira parte do século XX foi marcada por uma estagnação do desenvolvimento florestal, causado principalmente pela luta inútil entre a Escola de Renda Líquida do Terreno, que observa os juros sobre o valor do povoamento como custo, e a Escola de Renda Líquida da Floresta, que não inclui os juros sobre o valor dos povoamentos no cálculo de custos.
- Uma fase muito promissora do ordenamento começou depois da segunda guerra mundial com o desenvolvimento da pesquisa operacional, principalmente na Inglaterra e EUA. Os modelos matemáticos formulados por esta disciplina são, especialmente, a otimização linear, a otimização dinâmica, o sistema PERT/CPM e as técnicas de simulação que, quando aplicadas ao manejo florestal, permitem soluções mais realísticas de problemas mais complexos do que as técnicas clássicas de ordenamento.

No Brasil, pode-se dizer que não houve preocupação com o manejo de florestas até a metade do Século XX, embora em 1934 tenha sido promulgado o primeiro código florestal, o Decreto 23.793/34, que previa algumas ações de proteção à fauna e à flora, como a limitação de desmatamento máximo de 75% da superfície das propriedades, bem como a reposição das florestas homogêneas exploradas intensivamente, e a obrigatoriedade das siderúrgicas em manter área suficiente cultivada com florestas para garantir o abastecimento industrial; não havia preocupação com o manejo das florestas para melhorar a produtividade, ou garantir produção constante. Em 1960, o país contava com somente 500 mil hectares plantados, com manejo florestal insipiente. Mas, no início da década de 1960, a exploração indiscriminada das florestas de pinheiros do sul do país começaram a dar sinais de necessidade de maior regulação no setor e do melhoramento do manejo das florestas. Em 1965, foi promulgada a Lei nº 4.771 – Novo Código Florestal, que previa

a obrigatoriedade de planos de manejo para a floresta amazônica, mas somente em 1986 apareceu o termo manejo sustentado na legislação brasileira (Lei nº 7.511, de 1986).

Em 30 de maio de 1960, foi criada em Viçosa a primeira Escola Nacional de Florestas pelo Decreto nº 48.247, transferida para Curitiba em 1963, que formou a primeira turma de Engenheiros Florestais do Brasil em 8 de dezembro de 1964. Com isso, a ciência florestal brasileira iniciou seu caminho para a excelência atingida no Século XXI.

No Brasil, os cultivos florestais iniciaram com Navarro de Andrade, que introduziu o *Eucalyptus* em 1903 para produção de dormentes de estradas de ferro (SNIF, 2018).

Em 1966, o Brasil começou o programa de incentivos fiscais para criar a base de uma cadeia de produção florestal com a promulgação a Lei 5.106, permitindo a aplicação em florestamento de parte do imposto de renda a pagar, iniciando-se assim o processo de formação da base florestal que existe hoje. Depois, em 1970, veio o Decreto Lei 1134, que permitia também a participação acionária em empresas florestadoras com incentivos fiscais. Com isso, foram efetivamente plantados cerca de 5,5 milhões de hectares em todo o país até final dos anos 1980. Ainda, a partir de meados da década de 1970, iniciou-se a implantação de indústrias de base florestal com apoio do governo e, a partir de 2000, a cadeia produtiva da madeira passou a andar com suas próprias pernas. De acordo com o IBGE (2018), as áreas dedicadas à silvicultura brasileira somavam cerca de 10 milhões de hectares em dezembro de 2016, sendo 7,5 milhões de hectares de *Eucalyptus*, 2,1 milhões de hectares de *Pinus* e o restante com outras espécies (Tabela 1).

A maioria das florestas plantadas brasileiras tem como proprietários a indústria de celulose (34%), seguidas pelos produtores independentes (29%) e depois pelas siderúrgicas (14%) (Figura 2).

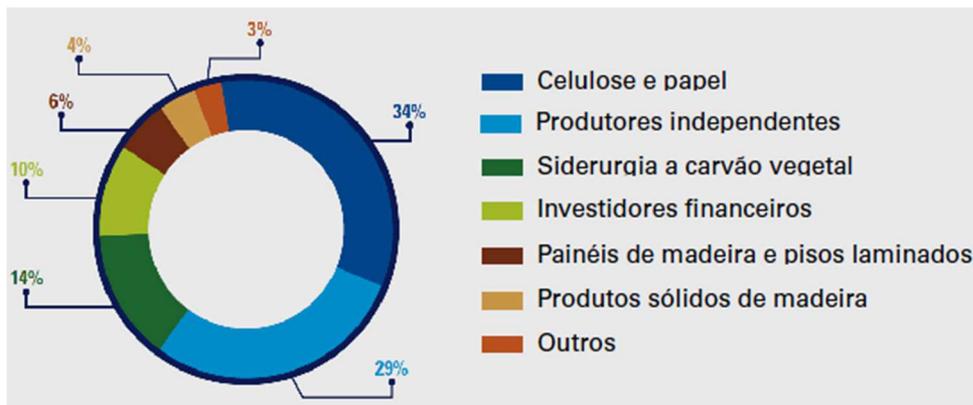


Figura 2 – Plantações florestais por tipo de proprietário. Fonte: IBA e POYRY (2017).

Recentemente, a monocultura florestal tem dado espaço para novos plantios em sistemas agroflorestais e silvipastoris com resultados econômicos positivos, menos agressivos ao ambiente e socialmente mais justos. Na Figura 3 pode-se visualizar a distribuição das florestas plantadas por unidade da federação.

As florestas plantadas no Brasil apresentam muitos aspectos desejáveis, como a redução da pressão sobre florestas nativas, restauração de terras degradadas pela pecuária e agricultura, maior sequestro de carbono do que a maioria das atividades rurais, proteção dos mananciais de água e do solo, ciclos de rotação mais curtos em relação aos países com clima temperado e menor risco com as variações do clima em relação às culturas anuais.

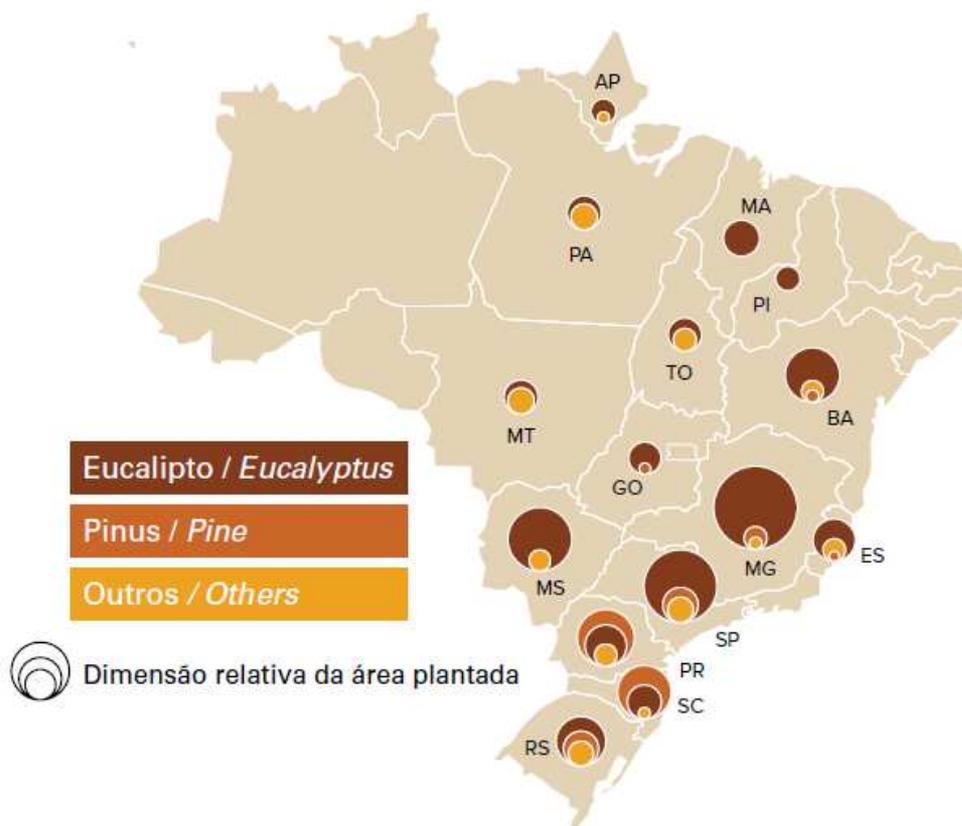


Figura 3 – Plantações florestais por Estado. Fonte: IBA (2018).

A silvicultura brasileira está distribuída na Região Sudeste (34%), Sul (37%), Nordeste (9%), Norte (6%) e Centro-Oeste (14%), conforme a Tabela 1 (IBGE, 2018).

A produtividade inicial dos plantios de *Eucalyptus*, lá pelos idos de 1970, não passava de $25 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e hoje a média supera os $35 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (Figura 7).. Enquanto que algumas empresas já atingem os $60 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ em rotações de 7 anos de *Eucalyptus* (SNIF, 2018).

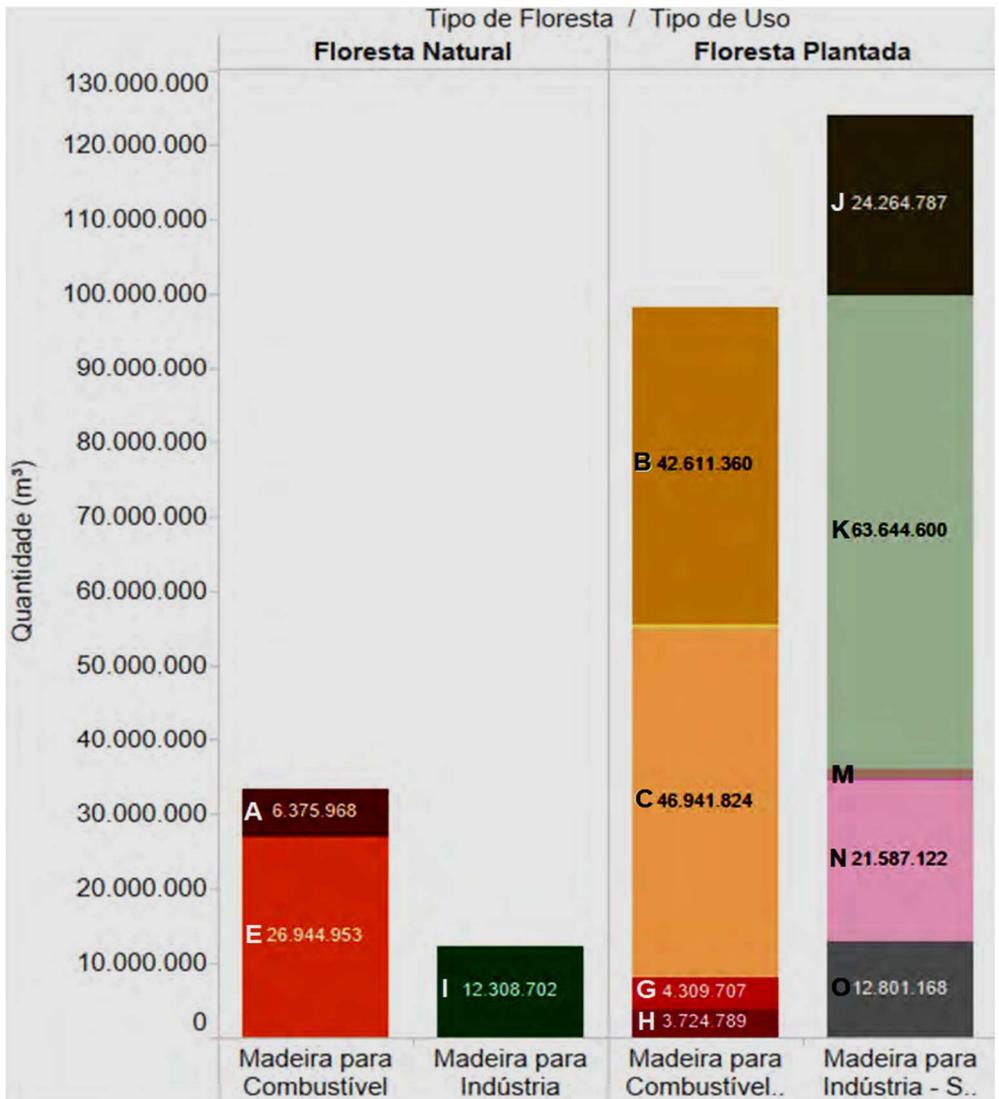
Tabela 1– Área de silvicultura por unidade da federação, por espécie.

Unidades da Federação, Mesorregiões, Microrregiões e Municípios	Área existente em 31.12.2016 dos efetivos da silvicultura (ha)			
	Total	Espécie florestal		
		Eucalipto	Pinus	Outras espécies
Norte	602,403	511,772	5,291	85,340
Rondônia	28,000	2,600	4,800	20,600
Acre	-	-	-	-
Amazonas	-	-	-	-
Roraima	10,390	-	-	10,390
Pará	201,714	154,907	-	46,807
Amapá	221,252	219,545	48	1,659
Tocantins	141,047	134,720	443	5,884
Nordeste	908,832	900,757	575	7,500
Maranhão	261,616	261,605	-	11
Piauí	36,316	36,316	-	-
Ceará	270	7	-	263
Rio Grande do Norte	461	-	-	461
Paraíba	6,084	1,040	-	5,044
Pernambuco	1,291	228	-	1,063
Alagoas	11,967	11,337	-	630
Sergipe	3,363	3,335	-	28
Bahia	587,464	586,889	575	-
Sudeste	3,363,590	3,129,918	227,207	6,465
Minas Gerais	1,880,538	1,839,459	38,933	2,146
Espírito Santo	289,376	287,057	2,047	272
Rio de Janeiro	37,373	36,552	8	813
São Paulo	1,156,303	966,850	186,219	3,234
Sul	3,736,702	1,678,478	1,832,974	225,250
Paraná	1,635,583	684,382	920,251	30,950
Santa Catarina	1,015,801	341,130	647,322	27,349
Rio Grande do Sul	1,085,318	652,966	265,401	166,951
Centro-Oeste	1,411,549	1,322,782	13,115	75,652
Mato Grosso do Sul	998,083	993,807	4,276	-
Mato Grosso	266,017	191,995	-	74,022
Goiás	144,049	134,280	8,139	1,630
Distrito Federal	3,400	2,700	700	-
Brasil	10,023,076	7,543,707	2,079,162	400,207

Fonte: IBGE (2018).

Outras espécies, além dos *Eucalyptus* e *Pinus* também tem sido cultivadas com objetivos específicos em diferentes regiões do país, como acácia negra (*Acacia mearnsii*), seringueira (*Hevea spp.*), teca (*Tectona grandis*), paricá (*Schizolobium parahyba*), araucária (*Araucaria angustifolia*), álamo (*Populus sp.*), cedro australiano (*Toona ciliata*) e mogno africano (*Khaya ivorensis* e *Khaya anthotheca*).

Os tipos de produtos obtidos das florestas cultivadas no Brasil são diversos e com diferentes objetivos, como se vê na Figura 4, com isso, diferentes formas de manejo são aplicadas para cada tipo de floresta, em cada local, para atingir os objetivos de produção e abastecimento do mercado de produtos florestais.



A) Carvão vegetal (extrativismo); B) Carvão vegetal de *Eucalyptus* (silvicultura); C) Carvão vegetal de outras espécies (silvicultura); D) Carvão vegetal de *Pinus* (silvicultura); E) Lenha (extrativismo); F) Lenha de *Eucalyptus* (silvicultura); G) Lenha de outras espécies (silvicultura); H) Lenha de *Pinus* (silvicultura); I) Madeira em tora (extrativismo); J) Madeira em tora de *Eucalyptus* para outras finalidades (silvicultura); K) Madeira em tora de *Eucalyptus* para papel e celulose (silvicultura); L) Madeira em tora de outras espécies para outras finalidades (silvicultura); M) Madeira em tora de outras espécies para papel e celulose (silvicultura); N) Madeira em tora de *Pinus* para outras finalidades (silvicultura); O) Madeira em tora de *Pinus* para papel e celulose.

Figura 4 – Produção por tipo de produto e de floresta no Brasil em 2015. Fonte: SFB (2016).

1.1 Requisitos do manejo florestal sustentável

Requisitos são as condições exigidas para que o manejo florestal seja sustentável, otimizando recursos e maximizando a produção com mínimo impacto ambiental negativo e máximo impacto positivo socioeconômico. Muito se escreveu sobre esses requisitos de forma desordenada no passado. Os sistemas de certificação florestal os organizaram em normas claras. Os dois sistemas de certificação mais conhecidos no Brasil são o Programa Brasileiro de Certificação Florestal (Cerflor) e o *Forest Stewardship Council* (FSC)¹. O FSC adota três requisitos básicos, exigindo que o manejo florestal seja:

- 1) Ambientalmente Adequado – Protegendo e mantendo comunidades naturais e florestas de alto valor de conservação;
- 2) Socialmente Benéfico – Respeitando os direitos dos trabalhadores, comunidades e povos indígenas.
- 3) Economicamente Viável – Construindo mercados, agregando maior valor e criando acesso equitativo aos benefícios.

Os princípios adotados pelo FSC para o bom manejo florestal são:

- Princípio 1: Conformidade com as Leis e Princípios do FSC;
- Princípio 2: Posse e Direitos e Responsabilidades de Uso;
- Princípio 3: Direitos dos Povos Indígenas;
- Princípio 4: Relações Comunitárias e Direitos dos Trabalhadores;
- Princípio 5: Benefícios da Floresta;
- Princípio 6: Impacto Ambiental;
- Princípio 7: Plano de Manejo;
- Princípio 8: Monitoramento e Avaliação;
- Princípio 9: Manutenção de Florestas de Alto Valor de Conservação;
- Princípio 10: Plantações.

O Cerflor adota cinco requisitos básicos na forma de princípios, como segue:

¹ Conselho de Manejo Florestal

Princípio 1 - Cumprimento da legislação, o empreendimento florestal deve ser gerido por meio de atitudes e ações que assegurem o cumprimento das legislações federal, estadual e municipal, assim como os acordos, tratados e convenções internacionais aplicáveis ao manejo florestal. A organização deve fornecer uma proteção adequada da floresta, de forma a prevenir atividades não autorizadas, como a extração ilegal de madeira e outras atividades ilegais, e a respeitar a legislação aplicável às questões de manejo florestal, como a proteção ambiental, espécies ameaçadas e protegidas, direitos de posse, propriedade e uso da terra para os povos indígenas e comunidades tradicionais, questões trabalhistas e de saúde e segurança, e ao pagamento de royalties e impostos.

Princípio 2 - Racionalidade no uso dos recursos florestais a curto, médio e longo prazos, em busca da sua sustentabilidade, o planejamento do manejo florestal deve ter como objetivo a saúde e a vitalidade dos ecossistemas florestais, buscando manter e aumentar os valores econômicos, ecológicos, culturais e sociais da floresta. Deve-se manejar a floresta de modo que a atividade contribua para conservação dos recursos naturais renováveis.

Como Princípio 3 - Zelo pela diversidade biológica, a organização deve manejar a plantação florestal de modo a minimizar os impactos negativos de sua atividade silvicultura sobre a flora e a fauna nativas. Deve zelar pela manutenção e pelo aumento da diversidade biológica.

O Princípio 4 - Respeito às águas, ao solo e ao ar o manejo florestal e o programa de desenvolvimento tecnológico indica às empresas que devem prever e adotar técnicas que considerem a conservação do solo, dos recursos hídricos e do ar.

O Princípio 5 - Desenvolvimento ambiental, econômico e social das regiões em que, se insere a atividade florestal, a empresa deve ter uma política de relacionamento com os trabalhadores florestais e comunidades locais, bem como evidências dos benefícios da atividade florestal nos aspectos sociais, ambientais e econômicos.

(TARGET, 2013).

O Cerflor é acreditado internacionalmente pelo *Program for the Endorsement of Forest Certification Schemes (PEFC)*², organismo que realiza a acreditação internacional de sistemas de certificação florestal.

² Programa para endosso de sistemas de certificação florestal (<http://www.pefc.org>).

Segundo o PEFC o manejo florestal sustentado é uma abordagem holística definida como o manejo e uso das florestas e áreas florestais de uma maneira e a uma taxa que mantenham sua biodiversidade, produtividade, capacidade de regeneração, vitalidade e potencial para cumprir, agora e no futuro, relevantes fatores ecológicos, funções econômicas e sociais, em nível local, nacional e global, sem causar danos a outros ecossistemas.

1.1.1 Requisitos gerais

Os requisitos normativos para o manejo florestal sustentado definidos em nível regional, nacional ou subnacional devem:

- a) incluir requisitos de gestão e desempenho que sejam aplicáveis em nível de unidade de manejo florestal, ou outro nível apropriado, para garantir que o objetivo de todos os requisitos sejam alcançados no nível da unidade de manejo florestal; nota: Um exemplo de uma situação em que um requisito pode ser definido como sendo diferente do nível da unidade de gerenciamento de floresta (por exemplo, grupo / região) é o monitoramento da integridade da floresta. Através do monitoramento da saúde florestal em nível regional e da comunicação dos resultados no nível da UMF, o objetivo do requisito é atendido sem a necessidade de realizar o monitoramento individual de cada unidade de manejo florestal.
- b) ser claro, objetivo e auditável;
- c) aplicar-se às atividades de todos os operadores na área florestal definida, que tenham um impacto mensurável no cumprimento dos requisitos;
- d) requerer a manutenção de registros que forneçam evidências de conformidade com os requisitos dos padrões de manejo florestal.

1.1.2 Requisitos específicos

Critério 1: Manutenção e aprimoramento apropriado dos recursos florestais e sua contribuição para o ciclo global de carbono.

Critério 2: Manutenção da saúde e vitalidade do ecossistema florestal.

Critério 3: Manutenção e incentivo das funções produtivas das florestas (madeiras e não madeiras).

Critério 4: Manutenção, conservação e melhoria apropriada da diversidade biológica nos ecossistemas florestais.

Critério 5: Manutenção e aprimoramento apropriado das funções de proteção no manejo florestal (principalmente solo e água).

Critério 6: Manutenção de outras funções e condições socioeconômicas.

Critério 7: Conformidade com os requisitos legais.

1.2 Elementos do manejo florestal

Os seis principais elementos a considerar no manejo das florestas são listados a seguir:

- 1) **Espacial** – espaços produtivo, de conservação e de preservação;
- 2) **Temporal** – ciclos, rotação;
- 3) **Econômico** – mercado, recursos e objetivos de produção;
- 4) **Ecológico** – ambiente (solo, ar, água, clima, topografia) de produção, de conservação e de preservação;
- 5) **Político** – leis, normas, políticas públicas;
- 6) **Sociocultural** – mão-de-obra, tecnologia.

Nas próximas seções, cada um destes elementos são tratados individualmente.

2 ABORDAGENS DO MANEJO FLORESTAL

Os três diferentes objetivos das florestas (econômico, social e ambiental) levam a diferentes abordagens e formas de manejo.

2.1 Florestas com objetivo de conservação

No Brasil são denominadas de Unidades de Conservação e seu manejo é regulamentado pela Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que as divide em dois grupos: as unidades de proteção integral e as unidades de uso sustentável.

2.1.1 Unidades de Proteção Integral

O objetivo das Unidades de Proteção Integral é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais.

Compõem o grupo das Unidades de Proteção Integral as seguintes categorias:

I - Estação Ecológica;

II - Reserva Biológica;

III - Parque Nacional;

IV - Monumento Natural;

V - Refúgio de Vida Silvestre.

2.1.2 Unidades de Uso Sustentável.

O objetivo das Unidades de Uso Sustentável é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos seus recursos naturais.

Constituem as Unidades de Uso Sustentável as seguintes categorias:

- I - Área de Proteção Ambiental;
- II - Área de Relevante Interesse Ecológico;
- III - Floresta Nacional;
- IV - Reserva Extrativista;
- V - Reserva de Fauna;
- VI – Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e
- VII - Reserva Particular do Patrimônio Natural.

2.2 Florestas com objetivo de proteção

As florestas de proteção são representadas principalmente pelas áreas de preservação permanente cobertas por florestas. A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, define Área de Preservação Permanente (APP) como áreas protegidas, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Em seu Artigo 4º, considera Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, em seus nove parágrafos, as áreas citadas a seguir:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;

30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

VII - os manguezais, em toda a sua extensão;

VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.

§ 1o Não será exigida Área de Preservação Permanente no entorno de reservatórios artificiais de água que não decorram de barramento ou represamento de cursos d'água naturais.

§ 2o (Revogado). (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

§ 3o (VETADO).

§ 4o Nas acumulações naturais ou artificiais de água com superfície inferior a 1 (um) hectare, fica dispensada a reserva da faixa de proteção prevista nos incisos II e III do caput, vedada nova supressão de áreas de vegetação nativa, salvo autorização do órgão ambiental competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente - Sisnama. (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

§ 5o É admitido, para a pequena propriedade ou posse rural familiar, de que trata o inciso V do art. 3o desta Lei, o plantio de culturas temporárias e sazonais de vazante de ciclo curto na faixa de terra que fica exposta no período de vazante dos rios ou lagos, desde que não implique supressão de novas áreas de vegetação nativa, seja conservada a qualidade da água e do solo e seja protegida a fauna silvestre.

§ 6o Nos imóveis rurais com até 15 (quinze) módulos fiscais, é admitida, nas áreas de que tratam os incisos I e II do caput deste artigo, a prática da aquicultura e a infraestrutura física diretamente a ela associada, desde que:

I - sejam adotadas práticas sustentáveis de manejo de solo e água e de recursos hídricos, garantindo sua qualidade e quantidade, de acordo com norma dos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente;

II - esteja de acordo com os respectivos planos de bacia ou planos de gestão de recursos hídricos;

III - seja realizado o licenciamento pelo órgão ambiental competente;

IV - o imóvel esteja inscrito no Cadastro Ambiental Rural - CAR.

Ainda, são também consideradas florestas de proteção as áreas de Reserva Legal e aquelas com objetivo de paisagismo ou amenização do clima. A Reserva Legal (RL) é definida na Lei 12.651/2012 como: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa.

Algumas florestas de proteção podem ser produtivas, como as reservas legais, mas o seu manejo deve ser realizado em sistema de baixo impacto e sem corte raso. As demais são manejadas unicamente de forma a serem preservadas e, quando degradadas, o manejo deve visar também a sua recuperação.

Qualquer atividade em florestas de proteção definidas em lei como APP ou RL, depende de prévia autorização do órgão oficial competente.

2.3 Florestas com objetivo de produção

As florestas produtivas são todas aquelas que são utilizadas para a produção de algum bem com valor monetário. O manejo destas florestas tem sido realizado com

diferentes objetivos, que implicam em diferentes dimensões de madeira a serem obtidas e em diferentes escalas de produção. Dependendo da escala produtiva e dos objetivos da madeira, as florestas têm sido objeto de manejo em diferentes intensidades, desde o manejo extensivo sem orientação técnico-científica até o manejo intensivo para maximização da produtividade ou rentabilidade (Tabela 2).

Tabela 2 - Intensidade do manejo florestal como geralmente tem sido praticado no Brasil em função dos objetivos da madeira e escala de produção

Objetivo da madeira	Escala de produção			
	Pequena	Média	Grande	
	Mercado			
	Local	Regional	Nacional/Mundial	
Uso geral na propriedade rural	Baixa	-	-	-
Energia doméstica e pequena indústria	Baixa	Média	-	-
Madeira serrada bruta para construções	Baixa	Média	Intensivo	Intensivo
Serraria e lâminas	Média	Média	Intensivo	Intensivo
Carvão para siderurgia	-	Média	Intensivo	Intensivo
Painéis de madeira reconstituída	-	-	Intensivo	Intensivo
Celulose	-	-	Intensivo	Intensivo

As dimensões e usos da madeira implicam em técnicas apropriadas de silvicultura que farão parte do manejo dos povoamentos, como a definição do espaçamento inicial, desramas e desbastes.

Espaçamentos mais largos são usados para obtenção de madeira de grandes dimensões para serraria e lâminas, enquanto que madeira a ser usada na produção de fibras, celulose e energia é produzida com espaçamentos menores. Espaçamentos menores proporcionam o fechamento do dossel mais cedo e fazem com que as árvores tenham menor crescimento individual e maior produtividade por unidade de área, o que é uma vantagem em rotações mais curtas. Os troncos formados em povoamentos muito espaçados, são menos cilíndricos, ou mais cônicos e resultam em maior quantidade de resíduos ao serrar ou torneiar a madeira, entretanto o

crescimento individual das árvores em diâmetro é maior, compensando parcialmente as perdas na industrialização da madeira, ou até mesmo com excedente de madeira serrada em relação à árvores que cresceram menos espaçadas e com tronco de forma mais cilíndrica, mas de dimensões menores.

A desrama é realizada na produção de madeira maciça, sem nós e de melhor aspecto quando exposta à vista, mas geralmente é desnecessária na produção de madeira para energia, celulose ou fibras.

A produção de madeira de pequenas dimensões é produzida em rotações curtas, sem desbastes, enquanto que a produção de madeira de médias e grandes dimensões é realizada em rotações mais longas e com desbastes. Os espaçamentos mais largos e poucos desbastes encurtam a rotação para a produção de madeira grossa, mas os galhos se desenvolvem mais e em maior número, o que induz à implantação de espaçamentos iniciais um pouco menos largos associados com desbastes precoces.

3 FASES DO MANEJO FLORESTAL

O manejo florestal deve incluir algumas fases como as que se seguem e que podem servir de orientação para quem pretende produzir madeira de forma sustentável. A primeira fase é de levantamento de informações, depois vem a definição dos objetivos, caracterização do empreendimento, definição de espécies e dimensões da madeira, estudos de crescimento e planejamento da produção, estudos econômicos e de viabilidade, definição da idade de rotação, prognose dos impactos sociais, ambientais e econômicos, identificação dos riscos e dificuldades do empreendimento e criação de um sistema de monitoramento sobre as florestas, do ambiente natural, da infraestrutura e das operações para fornecer dados suficientes com objetivo de verificação e correção.

A maioria dos processos de tomada de decisão no manejo de florestas incluem as seguintes etapas (BETTINGER, 2009):

- 1) Permitir a participação do público e comentar sobre a gestão de uma área.
- 2) Determinar as metas para uma área de gerenciamento.
- 3) Inventariar as condições necessárias para avaliar os objetivos.
- 4) Analisar as tendências nas mudanças no uso da terra e no crescimento vegetativo.
- 5) Formular alternativas para a área.
- 6) Avaliar as alternativas para a área.
- 7) Selecionar uma alternativa e desenvolver um plano de gerenciamento.
- 8) Implementar o plano de manejo.
- 9) Monitorar o plano de manejo.
- 10) Atualizar o plano de gerenciamento.

Os passos para elaboração de um plano de manejo podem ser como segue:

- 1) Estudo do ambiente socioeconômico.
- 2) Estudo do ambiente biofísico.
- 3) Caracterização da cadeia produtiva.
- 4) Estudo do mercado.

- 5) Identificação dos objetivos:
 - a. de produção
 - b. sociais
 - c. ambientais
- 6) Caracterização da organização (empreendimento):
 - a. localização e abrangência.
 - b. áreas: produtiva, preservada, de infraestrutura.
 - c. acionistas e cotas de participação.
 - d. área de influência.
- 7) Escolha de espécies e dimensões.
- 8) Planejamento da produção:
 - a. Estudo do crescimento.
 - b. Estudo da qualidade dos sítios.
 - c. Estudo da competição.
 - d. Estudo da densidade dos povoamentos.
 - e. Modelagem da produção florestal.
 - f. Determinação dos custos de produção.
 - g. Determinação das receitas a obter.
- 9) Estudo da viabilidade econômica.
- 10) Definição da idade de rotação.
- 11) Prognose dos impactos econômicos, ambientais e sociais.
- 12) Identificação de riscos e dificuldades.
- 13) Resultados esperados.
- 14) Sistema de controle e monitoramento florestal e operacional.

3.1 Ambiente socioeconômico

3.1.1 Identificação dos atores

Os atores em um plano de produção florestal são representados pelo líderes da sociedade organizada, incluindo a sociedade local, regional e nacional, órgãos de desenvolvimento, secretarias de estado de planejamento, gestão, infraestrutura, agricultura, floresta e desenvolvimento agrário, órgãos ambientais, instituições de

ensino, pesquisa e extensão, instituições ambientais e de assistência, conselhos, agentes financeiros, fundos de pesquisa e desenvolvimento, entre outros.

3.1.2 Caracterização socioeconômica

Esta fase envolve o estudo sobre índices de crescimento econômico regional e nos demais níveis, estudo da evolução dos indicadores socioeconômicos, das características da população, sobre a rede urbana, índices de saneamento, disponibilidade e preço das terras, da agropecuária regional, das florestas plantadas e nativas, importações e exportações, mercado de produtos florestais existente e seus prognósticos. É importante também levantar dados sobre educação em todos os níveis, identificar a disponibilidade de mão-de-obra, índices de emprego e desemprego,

3.1.3 Políticas de desenvolvimento

É importante identificar as políticas de desenvolvimento governamentais que possuam interface com a área florestal e procurar formas de se enquadrar a elas como forma de obter isenções, empréstimos, redução de custos e buscar participações.

Um exemplo é o Programa Nacional de Florestas (PNF) criado pelo Decreto nº 3.420, de 20 de abril de 2000, com o objetivo de articular as políticas públicas setoriais para promover o desenvolvimento sustentável, uso e conservação das florestas brasileiras, constituído por projetos concebidos e executados de forma participativa e integrada pelos governos federal, estaduais, distrital e municipais e a sociedade civil organizada.

3.1.4 Infraestrutura

Estudar a infraestrutura pública existente é essencial para o sucesso de qualquer empreendimento.

O primeiro passo neste sentido é identificar os modais de transporte disponíveis para abastecer a silvicultura, transporte dos produtos da floresta à indústria ou mercado, meios de transporte disponíveis para acesso de colaboradores, fornecedores e clientes. Todos os modais de transporte devem ser identificados: ciclovias, rodovias, hidrovias, ferrovias, portos e aeroportos.

Segue-se o estudo da produção e distribuição de energia elétrica para abastecer a produção e disponibilidade de água para a produção da silvicultura e industrial.

3.1.5 Avaliação comparativa (Benchmarking)

Esta é uma fase que muitos esquecem, o que pode ser fatal para o fracasso de um empreendimento. Visitar, investigar e analisar outras organizações com objetivos semelhantes é o que permite a uma organização situar-se no mercado de forma construtiva e competitiva.

A análise comparativa permite identificar as melhores referências e práticas realizadas por organizações da mesma faixa de mercado em todas as áreas: quem são os seus investidores, quem são os colaboradores e como é a sua gestão de pessoas, quem são seus fornecedores e clientes e como se relacionam com eles, qual a qualidade de seu produtos e preços, que equipamentos de produção utilizam, qual sua produtividade e custos, etc.

3.2 Ambiente biofísico

A caracterização do ambiente biofísico permite a escolha correta das estirpes genéticas, práticas silviculturais e de manejo das florestas. Também auxilia na determinação dos locais próprios para a silvicultura e aqueles que devem ser priorizados para produção agropecuária, bem como as áreas que devem ser destinadas à preservação e conservação.

Na caracterização do ambiente biofísico, deve-se caracterizar a fisiografia e a vegetação natural, identificar o uso e cobertura da terra, unidades de conservação particulares e públicas, zoneamentos ambientais governamentais, disponibilidade de terras e tendências de ocupação, os tipos de solos e sua fertilidade, hipsometria, declividade das terras, hidrologia, clima (temperaturas, precipitação, evapotranspiração, insolação, balanço hídrico, etc.).

3.3 Caracterização da cadeia produtiva

As principais cadeias produtivas de base florestal são representadas pela produção para:

- Indústrias de madeira sólida: madeira serrada, laminação e faqueamento;
- Indústrias de celulose: fibra curta (angiospermas) e fibra longa (gimnospermas);
- Produção de energia da madeira: termoelétricas;
- Produção de carvão vegetal: para siderurgias e consumo doméstico;
- Placas: MDF (Medium Density Fiberboard), MDP (Medium Density Particleboard), OSB (Oriented Strand Board) e compensados (Figura 5);
- Indústria da construção civil (diversos produtos florestais, principalmente placas e madeira serrada);
- Indústria moveleira (diversos produtos florestais), principalmente placas;
- Indústrias químicas: resinas, tintas, desinfetantes, aromatizantes, medicamentos, cosméticos.

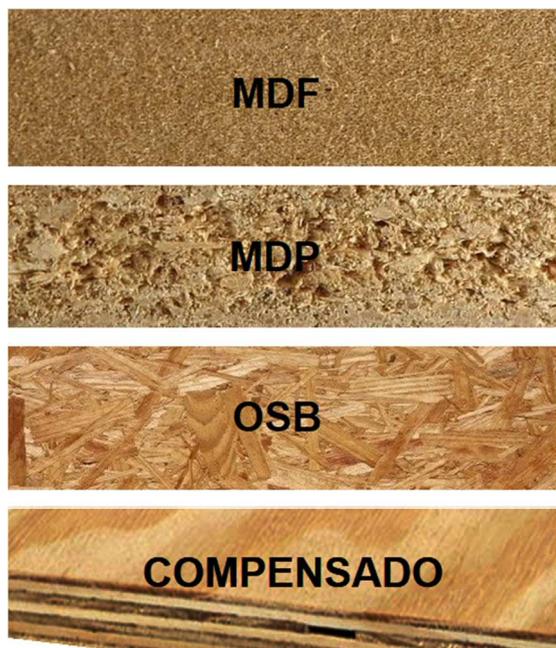


Figura 5 – Placas de madeira [de fibras (MDF), de partículas (MDP), de pedaços de lâminas orientadas (OSB) e compensados (lâminas inteiras cruzadas)].

3.3.1 Características das indústrias de base florestal

Os dados relacionados a seguir são aproximados e podem variar de acordo com o tipo de empreendimento, tecnologia, localização, investimento, etc.

Neste tópico são abordados os principais aspectos dos diferentes subsetores da cadeia produtiva da madeira quanto às necessidades e produtividades para a implantação de empreendimentos de base florestal, como:

- 1) Produção econômica mínima; volume mínimo de produção considerado sustentável e economicamente viável em longo prazo.
- 2) Consumo de água: quantidade de água necessária para a produção de uma unidade.
- 3) Consumo de energia: quantidade de energia necessária para a produção de uma unidade.
- 4) Consumo de químicos: quantidade de produtos químicos em grande volume necessários para a produção de uma unidade.
- 5) Consumo de madeira: volume de madeira necessário para a produção de uma unidade.

- 6) Área de cultivo: área de efetivo plantio necessária para a produção econômica mínima.
- 7) Área total: área total necessária incluindo as áreas de produção, as reservas e áreas de preservação permanente para atingir a produção econômica mínima.
- 8) Mão-de-obra: quantidade de trabalhadores para atingir a produção econômica mínima.
- 9) Investimento: valor do investimento médio por unidade de produção.

3.3.2 Produtividade Industrial

A produtividade da madeira de Eucalyptus pode ter uma grande variação na produção de celulose. O investimento no desenvolvimento de clones adequados tem melhorado consideravelmente o rendimento das florestas plantadas que atualmente ultrapassa as 10 toneladas de celulose por hectare por ano na maioria dos casos. Na Tabela 3 são apresentados dois cenários, sendo o primeiro referente aos rendimentos que eram obtidos nos anos 1970/80 e o segundo referente a uma situação ótima atual, que as melhores companhias estão alcançando.

Tabela 3– Rendimentos médios das plantações de Eucalyptus com sete anos de idade para produção de celulose.

Característica	Cenário 1 - pior	Cenário 2 - melhor
Produtividade em volume (m ³ /ha/ano)	30	45
Rendimento em celulose (%)	48	50
Consumo na fábrica (m ³ /t de celulose)	4,5	3,5
Produtividade florestal (t cel./ha/ano)	6,67	12,86

Os empregos gerados pelo setor de florestas plantadas no Brasil em 2016 foi da ordem de 510 mil pessoas, sendo estimados cerca de 3,7 milhões empregos indiretos.

A variação da produtividade da mão-de-obra em valor produzido anualmente por trabalhador, demonstra a fase de mudanças tecnológicas que o país atravessa, onde indústrias modernas com tecnologia avançada convivem com outras artesanais

e pouco produtivas que aos poucos tendem a desaparecer como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4- Produtividade da mão-de-obra em subsetores de base florestal.

Atividade	Produtividade do trabalho (R\$ / trabalhador)		
	Média	Limite inferior (10% menos competitivos)	Limite superior (10% mais competitivos)
Desdobro de madeira	12.246	334	32.749
Lâminas e painéis	21.985	85	54.043
Móveis	11.422	192	11.422

Fonte: IBGE (2005).

Um estudo mais consistente e abrangente do que o da Tabela 4 foi realizado por Najberg e Pereira (2004), como é apresentado na Tabela 6. Mais recentemente o SNIF publicou dados referentes a empregos no setor florestal (Tabela 5).

Tabela 5 – Evolução do número de empregos gerados por segmento florestal no Brasil.

Segmento do setor florestal	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Atividades de apoio à produção florestal 1	59197	60787	52376	44419	53069	54504	47289	39909	38530	33049
Desdobramento da madeira 2	100982	99183	87929	83114	87586	85215	81267	78078	75734	70654
Produção de celulose e papel	154419	158676	161354	163182	173219	175122	177230	181634	184767	177323
Produção de estruturas e artefatos de madeira	44386	45407	45061	43742	47559	48481	48688	48402	47540	44013
Produção de lâminas e chapas de madeira	52200	50786	45086	39491	42045	41208	40644	40888	40563	37869
Produção florestal - Florestas nativas 3	8744	8671	6443	6382	7160	8189	8380	7380	8295	7668
Produção florestal - Florestas plantadas 4	51406	62499	65454	62877	69474	70316	66734	64543	62519	63058
Produção moveleira 5	160117	168139	171218	172740	188178	196647	204743	207208	208481	191929
Total	631451	654148	634924	615947	668290	679682	674975	668042	666429	625563

* Quantidade de vínculos ativo em 31/12. 1 Atividades de apoio à produção florestal: inclui serviços de abate, derrubada e transporte de toras, avaliação de madeira, dendrometria, descarregamento de madeira e serviços ligados a silvicultura e exploração vegetal. 2 Desdobramento de madeira: inclui produção de assoalhos, pisos, dormentes, tábuas, forros, tacos, postes de madeira, etc. e beneficiamento de madeira serrada. 3 Produção florestal - florestas nativas: inclui atividades de extração, derrubada, coleta, produção de carvão e beneficiamento. 4 Produção florestal - florestas plantadas: inclui atividades de cultivo, produção de mudas, cascas, folhas e resinas, extração, derrubada e reflorestamento com abate de árvores. 5 Produção moveleira: inclui fabricação de móveis com predominância de madeira. Fonte: SNIF (2018).

Tabela 6 – Empregos Gerados por Aumento de Produção de R\$ 10 milhões, com preços médios de 2003 (Najberg e Pereira, 2004).

Setor	Número de empregos							
	Diretos	Rank	Indiretos	Rank	Efeito-Renda	Rank	Total	Rank
Agropecuária	393	4	131	15	303	7	828	3
Extrat. Mineral	90	14	126	17	266	20	481	21
Petróleo e gás	9	38	84	30	329	2	422	25
Mineral ñ metálico	99	12	117	20	261	21	477	22
Siderurgia	8	39	135	14	259	22	402	27
Metalurg. Ñ ferrosos	18	34	97	28	202	40	316	38
Outros metalúrgicos	98	13	109	22	244	27	451	23
Máquinas e equip.	62	17	80	34	278	14	420	26
Material elétrico	37	25	121	18	213	34	371	31
Equip. Eletrônicos	41	22	83	32	208	36	332	35
Autom./cam/onibus	16	35	108	24	203	39	326	37
Peças e out. Veículos	37	26	117	21	234	30	387	28
Madeira e mobiliário	293	6	219	8	294	8	805	5

Setor	Número de empregos							
	Diretos	Rank	Indiretos	Rank	Efeito-Renda	Rank	Total	Rank
Celulose, papel e gráf.	59	19	155	11	271	17	485	20
Indústria da borracha	23	32	108	23	229	31	360	33
Elementos químicos	14	37	188	9	289	11	491	19
Refino do petróleo	2	41	62	38	208	37	271	41
Químicos diversos	26	31	99	26	213	35	339	34
Farmac. E veterinária	38	24	117	19	222	33	377	30
Artigos plásticos	88	15	68	36	206	38	362	32
Ind. Têxtil	62	18	144	12	176	41	382	29
Artigos do vestuário	613	2	136	13	250	25	1000	2
Fabricação calçados	246	7	174	10	290	9	711	7
Indústria do café	41	23	356	2	323	3	719	6
Benef. Prod. Vegetais	58	20	327	4	259	23	643	11
Abate de animais	36	27	358	1	270	18	664	9
Indústria de laticínios	29	30	326	5	267	19	621	13
Fabricação de açúcar	32	29	307	6	337	1	677	8
Fab. Óleos vegetais	8	40	350	3	284	13	642	12
Outros prod. Aliment.	82	16	238	7	252	24	572	14
Indústrias diversas	124	11	126	16	250	26	501	18
S.i.u.p.	21	33	41	40	238	28	299	40
Construção civil	176	9	83	33	271	16	530	17
Comércio	449	3	84	31	278	15	810	4
Transportes	219	8	96	29	237	29	551	16
Comunicações	33	28	45	39	227	32	305	39
Instituições financeiras	47	21	80	35	310	5	437	24
Serv. Prest. À família	665	1	104	25	311	4	1080	1
Serv. Prest. empresa	293	5	63	37	288	12	645	10
Aluguel de imóveis	15	36	10	41	307	6	331	36
Administração pública	165	10	98	27	290	10	553	15

Fonte: Modelo de geração de Empregos – BNDES. Fontes de Dados: CN02, MIP96, PNAD01, POF95/96. Última atualização: fevereiro 2004.

CELULOSE DE *EUCALYPTUS*, PROCESSO KRAFT

- 1) Produção econômica mínima: 700 mil toneladas por ano.
- 2) Preço médio de 1 tonelada de celulose: US\$800,00.
- 3) Consumo de água: 25 m³ de água por tonelada de celulose.
- 4) Consumo de energia: 0,784 mW por tonelada de celulose.

- 5) Consumo de químicos: Cloro, 25 kg/t; Soda, 25 kg/t.
- 6) Consumo de madeira: 3,7 m³ de madeira por tonelada de celulose.
- 7) Área de cultivo (35 m³/ha/ano): 74 mil hectares.
- 8) Área total (com reservas nativas): 110 mil hectares.
- 9) Mão-de-obra: florestal, 2 trab./ 100 ha; industrial, 1 trab./ 1 mil t anuais.
- 10) Investimento: US\$ 1.800 / tonelada de celulose anual.

MADEIRA SERRADA

- 1) Produção econômica mínima: 100 mil m³ por ano.
- 2) Preço médio da madeira serrada: US\$160/m³.
- 3) Consumo de água: 0,1 m³ de água por m³ de madeira.
- 4) Consumo de energia: 2 mWh / m³ de madeira serrada.
- 5) Consumo de madeira: 2,42 m³ de madeira em pé / m³ serrado.
- 6) Área de cultivo (30 a 32 m³/ha/ano): 8,1 mil hectares.
- 7) Área total (com reservas nativas): 13,5 mil hectares.
- 8) Mão-de-obra: florestal, 3 trab. / 100 ha; industrial, 5 trab. / 1000 m³ anuais.
- 9) Investimento: US\$ 300 / m³ serrado anual.

LAMINAÇÃO

- 1) Produção econômica mínima: 50 mil m³ por ano.
- 2) Consumo de água: 5 m³ de água por m³ de madeira laminada.
- 3) Consumo de energia: 265 kW / m³ de madeira laminada seca.
- 4) Consumo de madeira: 3 m³ de madeira em pé / m³ laminado.
- 5) Área de cultivo (30 a 32 m³/ha/ano): 5 mil hectares.
- 6) Área total (com reservas nativas): 8,3 mil hectares.
- 7) Mão-de-obra: florestal, 3 trab. / 100 ha; industrial, 7 trab. / 1000 m³ anuais.
- 8) Investimento: US\$ 330 / m³ de lâminas anual.

Conforme a Revista Expressiva (2005), uma indústria que irá produzir 6 mil m³ mensais de laminados de madeira mensais em Santa Catarina, anunciou um investimento total de R\$ 10 milhões e a geração de 500 empregos diretos.

PAINÉIS DE FIBRAS DE MADEIRA

- 1) Produção econômica mínima: 250 mil m³ por ano.
 - 2) Preço médio dos painéis de fibras: US\$400,00/m³.
 - 3) Consumo de água: 20 m³ de água por m³ de placas.
-

- 4) Consumo de energia: 0,5 mWh / m³ de placas.
- 5) Consumo de químicos: 8% de resina tanino-formaldeído.
- 6) Consumo de madeira: 1,8 m³ de madeira em pé / m³ de painéis.
- 7) Classificação: baixa densidade <0,6 g/cm³; média densidade >=0,60 e <0,8 g/cm³; alta densidade >0,80 g/cm³.
- 8) Área de cultivo (35 m³/ha/ano): 13 mil hectares.
- 9) Área total (com reservas nativas): 20 mil hectares.
- 10) Mão-de-obra: florestal, 3 trab. / 100 ha; industrial, 2 trab. / 1000 m³ anuais.
- 11) Investimento: US\$ 600 / m³ anual de painéis.

TERMOELÉTRICA

- 1) Produção econômica mínima: 5 MWh.
- 2) Valor da energia gerada: US\$95/MWh.
- 3) Consumo de água: 10 m³ por MWh.
- 4) Consumo de energia: autogerada.
- 5) Poder calorífico do *Eucalyptus*: 1915 kWh / m³.
- 6) Consumo de madeira: (13% de perdas na geração) 0,6 m³ por Wh.
- 7) Área de cultivo (35 m³/ha/ano): 2,4 mil hectares.
- 8) Área total (com reservas nativas): 3,6 mil hectares.
- 9) Mão-de-obra: florestal, 3 trab. / 100 ha; industrial, 3 trab. / MWh produzido.
- 10) Investimento: US\$ 1,73 milhões / MW por ano.

Segundo Lopes e Wipieski (2001), um módulo, com área efetiva de 2.400 ha de floresta plantada de *Eucalyptus*, tem capacidade de produzir de forma sustentada cerca de 5 MW/ano e geraria cerca de 200 empregos nas áreas florestais, de colheita e de operação, representando um investimento global de aproximadamente R\$ 8 milhões. Informam também que uma serraria com uma produção anual da ordem de 36 mil m³ serrados, pode gerar de 10,8 mil a 13,2 mWh/ano a partir de resíduos, suficientes para suprir uma demanda própria de energia.

Em 2014, o site “Celulose On Line” publicou o anúncio de implantação da maior termoelétrica da América Latina, num investimento de R\$650 milhões (cerca de US\$260 milhões á época), para gerar 150MW, necessitando de uma linha de transmissão de 230 kV numa distância de 90 km para integrá-la ao sistema nacional

(SIN), com um custo previsto de aproximadamente US\$23 milhões. Para a produção da biomassa de *Eucalyptus* foram previstos cerca de 35 mil hectares de plantio. Também foi previsto a geração de 800 empregos diretos e indiretos para a usina.

3.4 Escolha de espécies

Os principais fatores determinantes para escolha de espécies são os objetivos de produção, a adaptação das espécies e procedências ao ambiente regional e aos objetivos de produção, bem como a produtividade e rentabilidade.

3.4.1 Objetivos da produção

Os objetivos da produção devem ser estabelecidos conforme o mercado para o produto que pretende-se produzir e a escolha da espécie deve levar em consideração a sua adequação aos produtos que se pretende obter. O IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) mantém informações sobre madeiras e suas aplicações que podem ser consultadas online em https://www.ipt.br/consultas_online.

Os gêneros de árvores mais utilizados nos plantios comerciais são os *Pinus* e *Eucalyptus*.

As espécies de *Eucalyptus* se prestam a uma grande variedade de produtos, entre eles se podem citar:

- Construção civil: vigas, caibros, réguas, escoras, tapumes, andaimes e estrutura para telhado.
- Energia: lenha, carvão vegetal;
- Celulose de fibra curta: papéis para imprimir e higiênicos;
- Celulose solúvel: é usada na produção de hidroxietilcelulose, carboximetilcelulose, goma de celulose, celulose microcristalina, celulose regenerada, utilizadas em diversos segmentos relacionados a seguir. Têxteis: fabricação de viscose. Indústria automobilística: pneus de alta resistência. Indústria química: tintas, vernizes, explosivos. Alimentos: é

usada em embalagens para bombons, goma de mascar, invólucro de salsichas e linguças; na composição de alimentos para conferir cremosidade de refrescos, shakes dietéticos, sorvetes, maionese e catchup, molhos, sopas e doces. Outros: filtro para cigarro, armação de óculos, lentes de contato, filme fotográfico, creme dental, cápsulas solúveis de medicamentos, sabonetes, telas de LCD (liquid crystal display), etc.

- Óleo essencial: é utilizado na indústria de cosméticos e produtos de limpeza, na composição de medicamentos como tranquilizante, relaxante, indutor do sono, tem propriedades antibacterianas e antifúngicas na cicatrização de feridas, queimaduras ou picadas de insetos; é usado na composição de produtos para pele oleosa, diminuindo a secreção das glândulas sebáceas.

As espécies de *Pinus* cultivadas no Brasil são principalmente o *P. elliottii*, *P. taeda* e *P. caribaea*. As três espécies são usadas para produção de madeira e somente o *P. taeda* não é usado para produção de resina.

A madeira de *Pinus* é macia e fácil de trabalhar. Tem como principais aplicações as citadas a seguir. Construção civil: vigas aparentes internas; ripas; partes secundárias de estruturas; cordões; guarnições; rodapés; forros; lambris; portas internas; formas para concreto; pontaletes. Mobiliário: móveis de madeira maciça; partes internas de móveis. Outros usos: cabos de vassoura; chapas compensadas; lâminas decorativas; peças torneadas; artigos de esporte e brinquedos; embalagens; bobinas e carretéis; pincéis.

A resina dos *Pinus* tem como principais subprodutos o breu e a terebintina. O breu, principal subproduto da goma-resina, é obtido de três fontes, conforme a Figura 6, o breu de cepo (extraído com solventes a partir de resíduos e tocos deixados na colheita da madeira), breu de *tall oil* (obtido da lixívia negra, que é um resíduo da fabricação de celulose) e o produzido a partir da goma-resina extraída de árvores vivas, apresentando muitas aplicações, tais como: colas utilizadas na fabricação do

papel, tintas e vernizes, hot melt, adesivos, borrachas sintéticas; indústria cosmética e alimentícia, entre outras (NEVES et al., 2001).

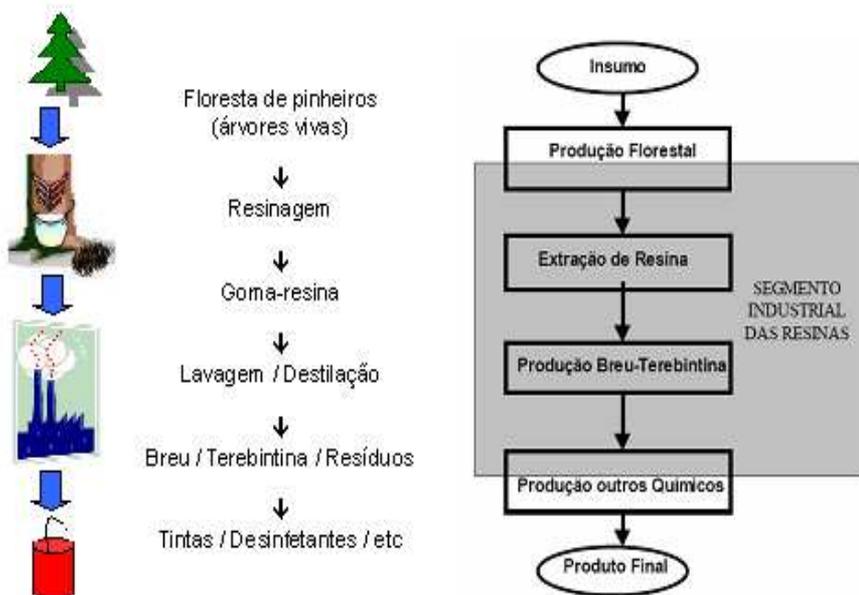


Figura 6 - Sistema agroindustrial da goma-resina e seus derivados. Fonte: Adaptado de Ferreira (2001).

Outras espécies são cultivadas em menor escala como a *Acacia meamsii* (acácia negra) cultivada no Rio Grande do Sul para produção de tanino e lenha; a teca cultivada no centro-oeste para produção de madeira para serrar e laminar; o cedro australiano (*Toona ciliata*) e o mogno africano (*Khaya spp.*), cultivados no sudeste, também para serrar e laminar, usados como madeira aparente para carpintaria e marcenaria.

Entre as espécies nativas, Carvalho (2003-2014) descreve em cinco volumes, sob o título “Espécies Arbóreas Brasileiras”, as características e potenciais de cada uma. As características de algumas espécies descritas pelo autor e são disponíveis no endereço <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/>>, onde são relacionadas

como potenciais ou promissoras, com incremento médio anual em volume superior a $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, as 21 espécies relacionadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Espécies nativas potenciais ou promissoras para produção de madeira.

Nome científico	Nome popular	IMA (até)	Idade (anos)	Massa específica aparente (g/cm ³)
<i>Hymenaea courbaril</i> var. <i>stilbocarpa</i>	Jatobá	10.25	10	0,90 a 1,10
<i>Nectandra lanceolata</i>	Canela-amarela	10.4	9	0,47 a 0,70
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Pau-marfim	12	26	0,80 a 0,90
<i>Colubrina glandulosa</i> var. <i>reitzii</i>	Sobrasil	12.9	7	0,80 a 1,00
<i>Parapiptadenia rigida</i>	Angico-gurucaia	13.4	12	0,75 a 1,00
<i>Cabralea canjerana</i> subsp. <i>canjerana</i>	Canjarana	13.5	10	0,45 a 0,75
<i>Centrolobium robustum</i>	Araribá-rosa	13.7	9	0,70 a 0,80
<i>Prunus brasiliensis</i>	Varoveira	14.45	10	0,69 a 0,92
<i>Talauma ovata</i>	Baguaçu	15.45	15	0,56 a 0,65
<i>Caesalpinia leiostachya</i>	Pau-ferro	17.2	14	0,99 a 1,27
<i>Cariniana estrellensis</i>	Jequitibá-branco	17.2	25	0,70 a 0,78
<i>Myracrodruon balansae</i>	Pau-ferro-do-sul	18	28	1,10 a 1,25
<i>Centrolobium tomentosum</i>	Araruva	19.3	14	0,70 a 0,80
<i>Peltophorum dubium</i>	Canafístula	19.6	7	0,75 a 0,90
<i>Dalbergia nigra</i>	Jacarandá-da-bahia	20.8	14	0,75 a 1,22
<i>Cariniana legalis</i>	Jequitibá-rosa	21.7	14	0,50 a 0,65
<i>Cordia trichotoma</i>	Louro-pardo	23	13	0,57 a 0,78
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	Ipê-felpudo	24	4	0,75 a 0,80
<i>Araucaria angustifolia</i>	Pinheiro-do-paraná	27	20	0,50 a 0,61
<i>Schefflera morototoni</i>	Mandiocão / morototó	33	8	0,53 a 0,60
<i>Joannesia princeps</i>	Boleira	40	20	0,40 a 0,55

Fonte: CARVALHO (s.d.).

3.4.2 Adaptação

A adaptabilidade de uma espécie a uma região está relacionada com: o clima (insolação, ocorrência de geadas e déficit hídrico); solo (profundidade, estrutura e fertilidade); e, com a fitossanidade (ocorrência de pragas como as formigas

cortadeiras, besouro amarelo, sirex, pulgões, lagartas desfolhadoras) e doenças causadas por agentes biológicos ou fisiológicos (ferrugem, gomose, cancro, seca de ponteiros, armilarirose).

A adaptação das espécies de *Eucalyptus* deve levar em consideração os seguintes fatores de acordo com Ferreira (1990): região bioclimática, clima e localidades, altitude (m), temperatura média anual (°C), precipitação média anual (mm), distribuição, geadas (dias/ano), temperatura mínima ambiente (°C), deficiência hídrica e a vegetação nativa. Existem espécies do gênero que não suportam geadas (*E. grandis*, *E. citriodora*, *E. urophylla*), outras são mais resistentes (*E. saligna*, *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. camaldulensis*), algumas são resistentes às secas (*E. camaldulensis*; *E. paniculata*; *E. citriodora*). Ferreira (1979) faz recomendações para as espécies do gênero para cada caso, que podem ser encontradas em: <<http://www.ipef.br/identificacao/Eucalyptus/>>.

O primeiro passo do silvicultor deve ser o de testar espécies e procedências adequadas aos objetivos de produção na região para determinar quais se adaptam. O segundo passo são os plantios de comprovação, seguidos de melhoramento genético das espécies e procedências selecionadas.

3.4.3 Produtividade

De nada adianta se ter árvores de espécies adequadas aos objetivos de produção se não apresentarem produtividade adequada e proporcionarem uma boa rentabilidade.

Em geral, as espécies de *Pinus* e *Eucalyptus* apresentam alta produtividade e boa rentabilidade em todo o Brasil, mas outras espécies que estão sendo introduzidas ainda necessitam de testes para determinar seu crescimento e rentabilidade. A teca tem seu cultivo estabelecido em áreas do Centro-Oeste e demonstra boa

rentabilidade; alguns plantios de cedro australiano e mogno africano já apresentam resultados positivos no Sudeste, mas ainda não têm um mercado consolidado para sua madeira e fora destas regiões, onde estão sendo cultivados, não há informações sobre seu crescimento e sua viabilidade. Das espécies nativas, pouco se sabe, exceto por alguns raros estudos sobre Paricá (*Schizolobium parahyba*) e Araucária (*Araucaria angustifolia*).

A produtividade inicial dos plantios de *Eucalyptus*, lá pelos idos de 1970, não passava de $25 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e hoje a média supera os $35 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto que algumas empresas já atingem os $60 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ em rotações de 7 anos de *Eucalyptus* em alguns plantios comerciais (SNIF, 2018). Em 2016, o Brasil atingiu uma produtividade de $35,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ ao ano para os plantios de *Eucalyptus* e $30,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ ao ano nos plantios de *Pinus* (Figura 7).

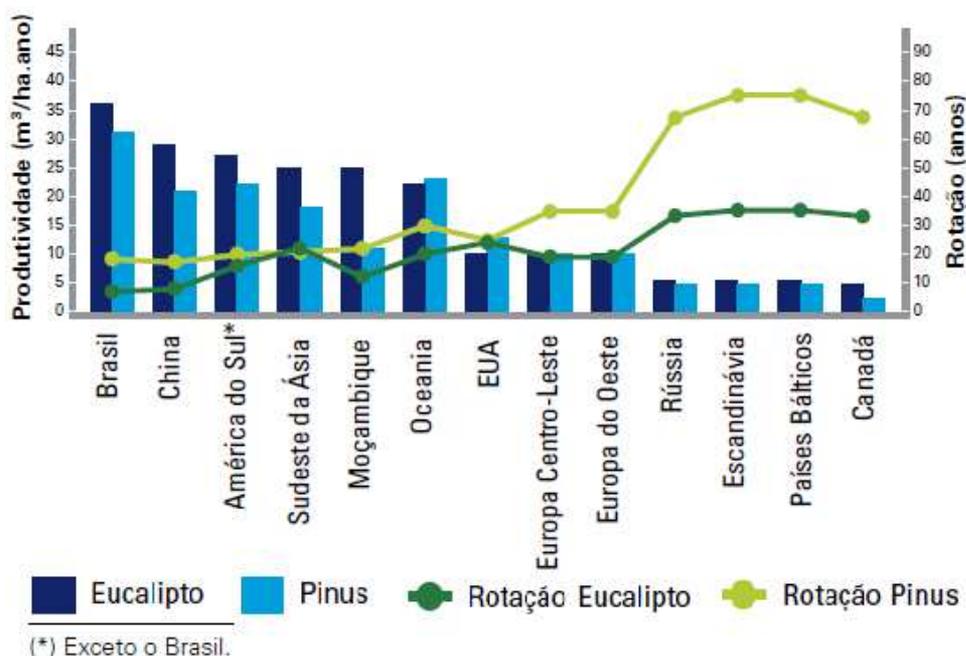


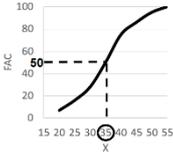
Figura 7 – Produtividade e rotação média em diferentes regiões. Fonte: IBA (2017).

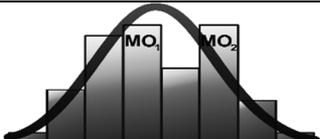
3.5 Estatísticas

As estatísticas florestais mais comuns para descrever a estrutura das florestas são referentes à medidas de tendência central, medidas de dispersão e de relação entre variáveis. Depois da descrição da estrutura, passa-se ao estudo do crescimento e, então à modelagem das árvores e povoamentos, para finalmente prognosticar o crescimento e a produção, geralmente por classes de sítio.

As principais estatísticas usadas para descrever florestas e correlações entre variáveis são relacionadas na Tabela 8.

Tabela 8- Estatísticas comumente usadas para descrever florestas e relações entre variáveis.

Tipo	Estatística	Observações	Equação
Tendência central	Média aritmética (\bar{X})	É obtida pela soma dos valores observados, dividida pelo número de elementos	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$
	Média quadrática (X_q)	É obtida pela raiz quadrada da soma do quadrado dos valores observados, dividida pelo número de elementos.	$X_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n}}$
	Média ponderada (X_p)	É obtida atribuindo-se pesos (p_i) que podem ser proporções de ocorrência, proporção da área total, etc.	$X_p = \left(\frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot X_i^2}{\sum_{i=1}^n p_i} \right)$
	Mediana (ME)	É o elemento que divide a população em duas partes com mesmo número de elementos.	

Tipo	Estatística	Observações	Equação
	Moda (MO)	É(são) o(s) elemento(s) de maior frequência na população.	
	Amplitude de variação	Amplitude (AV) é a diferença entre o maior (LS=limite superior= X_n) e o menor valor (LI=limite inferior= X_1) de uma variável X	$AV = LS - LI = X_n - X_1$
Dispersão	Variância (S^2)	É o quadrado médio dos desvios da média.	$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$
	Desvio padrão (S)	É a raiz quadrada da variância.	$S = \sqrt{S^2}$
	Coefficiente de variação (CV)	É a expressão do desvio padrão em percentagem da média.	$CV = \frac{100 \cdot S}{\bar{X}}$
Correlação entre variáveis	Correlação de Pearson	Usada para dados com distribuição normal.	$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$
	Correlação de postos de Spearman	Usada para dados sem distribuição normal.	$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}$

Fonte: Wonnacott e Wonnacott (1980).

3.6 Caracterização das árvores e povoamentos

A caracterização das florestas é realizada pelas variáveis dendrométricas, espaço, tempo, comunidade florestal e estrutura dos povoamentos florestais.

- Características dendrométricas – diâmetro, altura, área basal, volume, forma do tronco e copas das árvores;

- Espaço: localização, área ocupada e espaços influenciados pelas atividades florestais, industriais e comerciais decorrentes do empreendimento florestal;
- Tempo: idade dos povoamentos, ciclos e rotação florestal;
- Comunidade florestal: espécies que compõem os povoamentos comerciais e demais áreas florestais;
- Estrutura da floresta: densidade, frequência e dominância das espécies; riqueza e diversidade das espécies, etc.

3.6.1 Diâmetro

É uma das variáveis mais importantes para o manejo florestal. O diâmetro das árvores é definido como o diâmetro tomado na altura do peito, que varia de país para país, sendo tomado na altura de 1,3 m a partir da base da árvore no Brasil, nos Estados Unidos a 1,37 m, na Inglaterra e outros países europeus, a 1,29 m e a 1,25 m no Japão.

O diâmetro é a variável que sempre é tomada de todas as árvores das unidades amostrais nos inventários florestais, pois é de fácil medição e está intimamente relacionada com as demais variáveis das árvores, como a altura, o volume do tronco e o diâmetro da copa. A unidade de medida do diâmetro é o centímetro e geralmente é representado com só uma casa decimal.

EXPRESSÕES DO DIÂMETRO

O diâmetro pode ter diferentes expressões, as principais têm as seguintes definições:

- Diâmetro médio aritmético (\bar{d}) – é a média aritmética dos diâmetros;
- Diâmetro da árvore de área basal média (d_g) – é a média quadrática dos diâmetros; pode ser obtido por $d_g = \sqrt{\bar{d}^2 + S^2}$;
- Diâmetro de Weise (d_w) – é o diâmetro situado a uma probabilidade acumulada de 0,6 e aproxima-se da árvore o volume médio do povoamento;

- Diâmetro médio da árvore central de área basal (d_z) – é o diâmetro obtido à metade da área basal acumulada do povoamento;
- Diâmetros de Hohenadl (d , d_+) – são os diâmetros obtido a partir da diminuição e soma de um desvio padrão (s) à média (d): $d = \bar{d} - s$; $d_+ = \bar{d} + s$.

A relação entre as expressões do diâmetro de uma floresta equiânea são as seguintes:

$$d < \bar{d} < d_g < d_w < d_z < d_+$$

DISTRIBUIÇÃO DOS DIÂMETROS

Os resumos estatísticos usualmente são realizados classificando-se os diâmetros em classes de tamanho e estudando-se a sua distribuição. A distribuição de diâmetros é analisada em classes de diâmetros com intervalos calculados por qualquer método como a regra de Sturges ($k = 1 + 3,3 \log_{10} n$), ou de Floriano ($k = n^{0,175} \cdot \Delta d^{0,3}$), onde k é o número de classes a ser utilizado, n é o número de observações (árvores) e Δd é a amplitude dos diâmetros das árvores.

Nas florestas plantadas, a distribuição de diâmetros geralmente aproxima-se da distribuição normal. Mas, quando há irregularidades no ambiente, ou após desbastes, a distribuição normal pode não se ajustar mais à característica da floresta. Nesses casos, recorre-se ao ajuste de outros tipos de modelos, como a distribuição de Weibull, Beta, Gama, Lognormal, entre outros (ver seção 4.8). A Figura 8 apresenta o ajuste de funções de distribuição de densidade de probabilidade para os diâmetros de uma plantação de candeia (*Eremanthus erythropappus*), realizado por Ribeiro et al (2014).

Para as florestas inequiâneas são usados modelos exponenciais negativos, ou modelos de distribuição acumulada que geralmente são mais adequados neste caso.

Nas florestas naturais, a distribuição aproxima-se de uma exponencial negativa, mas geralmente há uma deformação na curva, pois as árvores jovens quando atingem a maturidade têm mais resistência a doenças, pragas e intempéries e se mantêm saudáveis por um longo período até entrarem na senilidade, quando a mortalidade aumenta novamente.

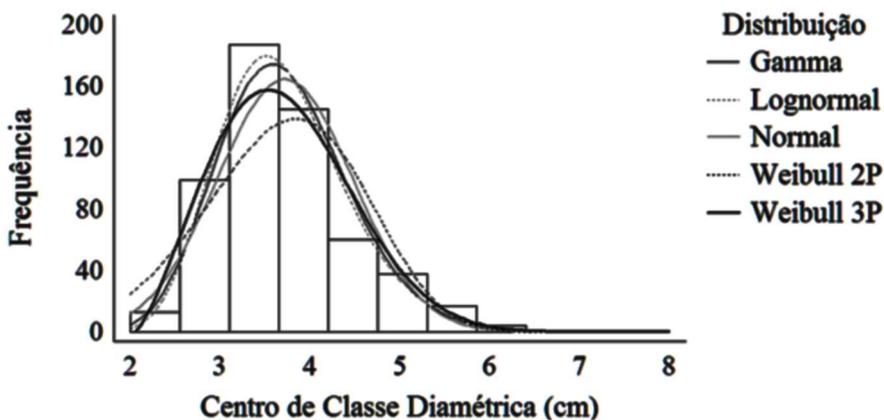


Figura 8 - Distribuição diamétrica e funções de densidade de probabilidade ajustadas para um plantio experimental de candeia. Fonte: Ribeiro et al (2014).

Um exemplo é a distribuição de andirobeiras encontrada por Abreu et al (2014) no Amapá (Figura 9), onde se percebe perfeitamente os erros de estimativas em relação às observações pela equação exponencial negativa ajustada.

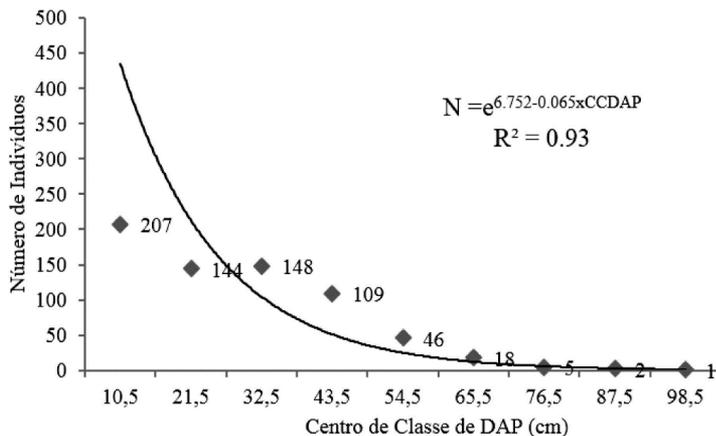


Figura 9 - Distribuição de frequência de andirobeiras em uma área da APA da Fazendinha, Macapá. Fonte: Abreu et al (2014).

3.6.2 Altura

As principais expressões estatísticas da altura das árvores de um povoamento florestal são as seguintes:

- Altura média aritmética (\bar{h}) – é a média aritmética das alturas das árvores;
- Alturas das árvores de Hohenadl (h_-, h_+) - são as alturas das árvores de Hohenadl com d_- e d_+ , estimadas por relação hipsométrica [$d=f(h)$];
- Altura da árvore de área basal média (h_g) – é a altura da árvore com o diâmetro da árvore de área basal média, obtido por relação hipsométrica;
- Altura da árvore de Weise (h_w) – é a altura correspondente à árvore com diâmetro médio de Weiss, obtida por relação hipsométrica;
- Altura da árvore de área basal central (h_z) – é a altura da árvore com diâmetro correspondente à árvore de área basal central, obtida por relação hipsométrica.
- Altura de Lorey (h_L) – é a altura obtida pela ponderação das alturas com a área basal; nos inventários pelo método de Bitterlich é a altura média aritmética das árvores da unidade amostral, pois a altura já está ponderada pela área basal neste tipo de amostragem; pode ser calculada para as unidades amostrais de área fixa pela equação:

$$h_L = \left(\sum_{i=1}^n gi \cdot hi \right) / \sum_{i=1}^n gi ;$$

- Altura dominante de Assmann (h_{100}) – é altura média das 100 árvores mais grossas por hectare;
- Altura dominante de Weise (h_0) – é a altura média das 8% mais grossas árvores do povoamento por hectare;

3.6.3 Área Basal

A área basal individual (g) de uma árvore é determinada pelo quadrado do diâmetro (d) multiplicado pela razão de $\pi/4$ ($g = \pi \cdot d^2 / 4$), ou seja, é a superfície transversal do tronco ao nível do peito (1,3 m de altura). A área basal do povoamento (G) é definida como a soma das áreas basais individuais das árvores por hectare. A unidade de medida da área basal é o metro quadrado e, quando expressa para o povoamento, é dada em metros quadrados por hectare.

A área basal dos povoamentos (G) é importante para a silvicultura porque, assim como o diâmetro é correlacionada com o volume do tronco e com a competição entre as árvores e pode ser usada para controle da densidade dos povoamentos quando associada com a idade e qualidade dos sítios. A área basal das florestas tende a aumentar com a idade à medida que as árvores crescem; povoamentos mais antigos suportam maior área basal e competição entre as árvores do que povoamentos jovens. A área basal por hectare varia também com a densidade de árvores. Em povoamentos jovens, ou com densidade de estocagem muito baixa, a área basal pode estar próxima de zero, enquanto que em povoamentos antigos, com alta densidade populacional, pode exceder 100 m²/ha (WEST, 2009).

Na Figura 10 e Figura 11 são delineadas curvas para controle da densidade de *Pinus elliottii* na Serra do Sudeste, no Rio Grande do Sul, em função da área basal

mínima e máxima por hectare, por idade e índice de sítio; os índices de sítio referem-se à altura dominante na idade de referência de 22 anos (FLORIANO, 2006).

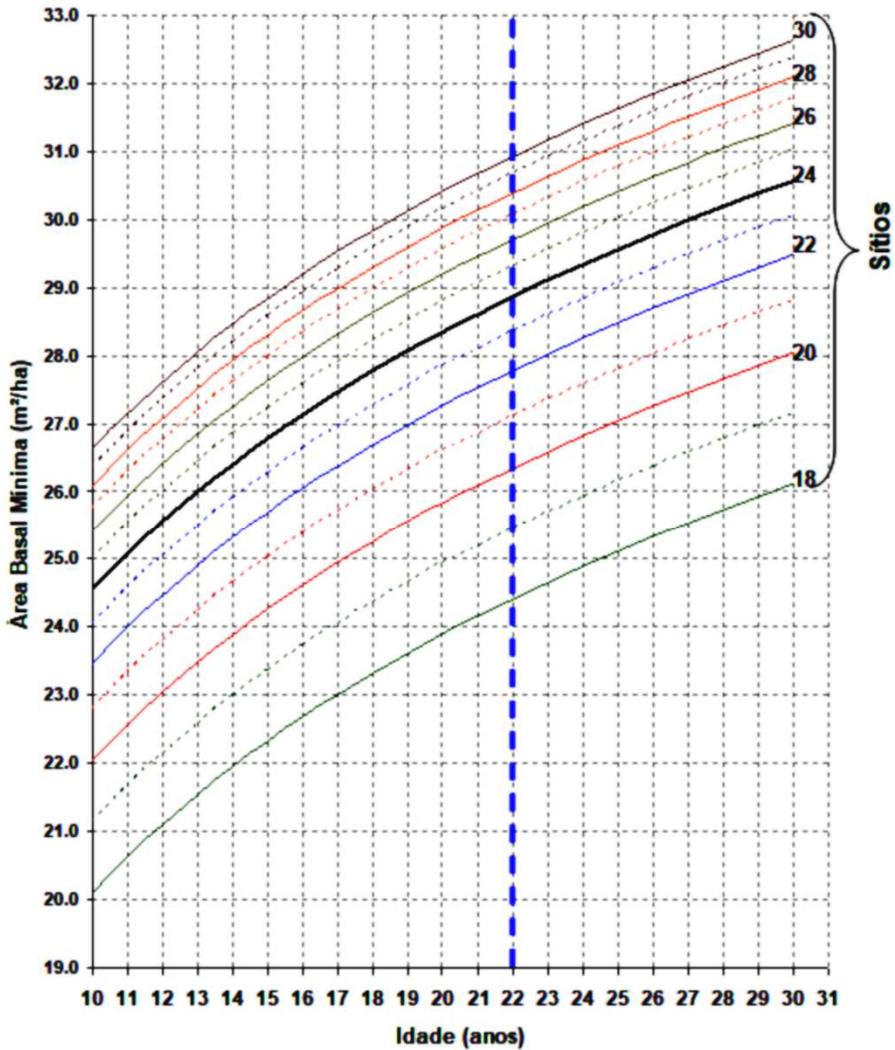


Figura 10 - Curvas de área basal mínima por hectare, para *Pinus elliottii* na Serra do Sudeste – RS. Fonte: Floriano (2006).

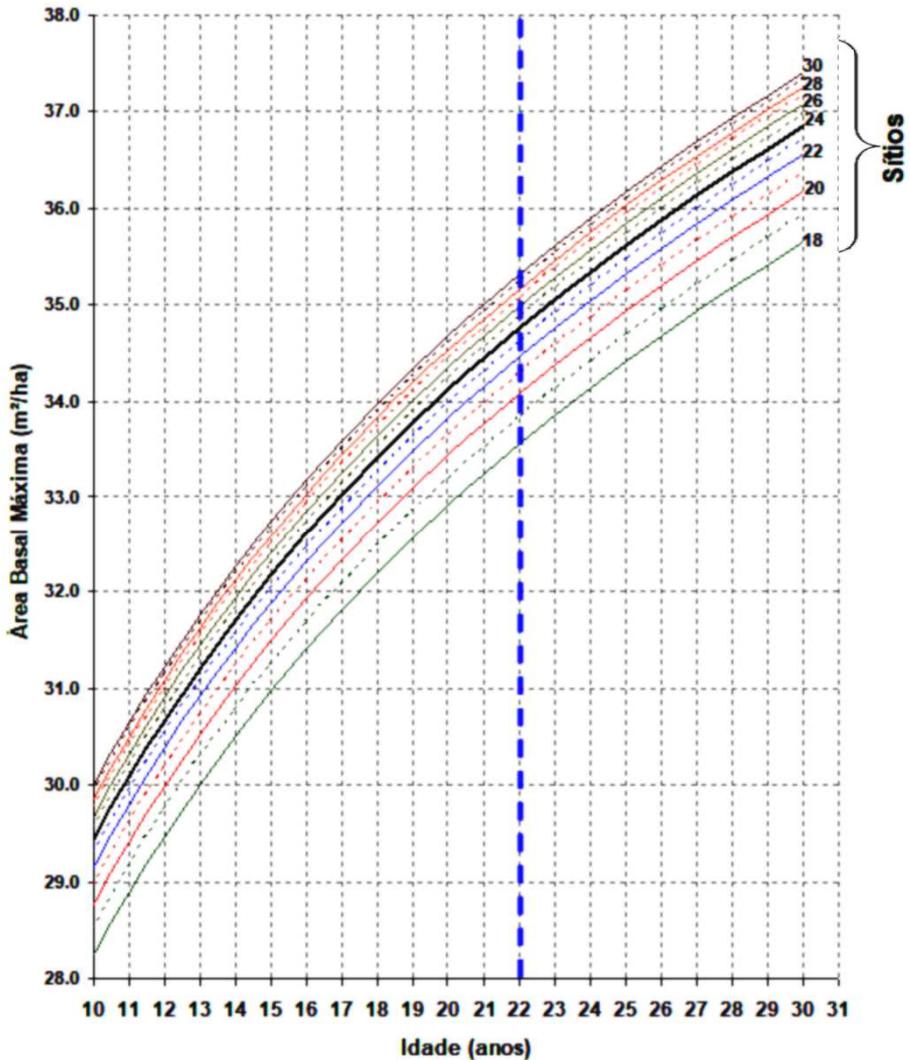


Figura 11 - Curvas de área basal máxima por hectare, para *Pinus elliottii* na Serra do Sudeste – RS. Fonte: Floriano (2006).

3.6.4 Volume

O volume de madeira do tronco das árvores é o principal produto comercial das florestas cultivadas e contém uma quantidade significativa da biomassa total.

O volume é o resultado do incremento acumulado num determinado período de tempo, cuja quantidade depende da espécie, idade, sítio, rotação e sistema de manejo empregado.

O volume das unidades de produção é a variável mais importante para o planejamento da produção, por isso interessa ao manejo os seguintes tipos de volumes: volume real, volume normal, volume ideal e volume desejado.

VOLUME REAL

É o estoque de madeira que realmente existe no povoamento, determinado com procedimento de amostragem, estando condicionado a um erro de amostragem tolerável.

VOLUME NORMAL (FLORESTAS EQUIÂNEAS)

É o volume determinado para uma classe de manejo, que está condicionado à semelhança de composição em espécies, sítio, mesma rotação e sistema de manejo, sendo obtido com base no modelo de floresta normal.

VOLUME IDEAL (FLORESTAS INEQUIÂNEAS)

É o volume que melhor corresponde às condições do sítio e povoamento. É o volume determinado como ideal para o manejo de florestas inequiâneas, obtido em função do modelo de floresta balanceada

VOLUME DESEJADO

É o volume definido para determinados objetivos de planejamento da produção. Normalmente é determinado com base na distribuição ideal dos povoamentos em classes de idade.

3.6.5 Formas das árvores

Os principais componentes das árvores são a raiz, o tronco e a copa e podem assumir muitas formas (Figura 12).

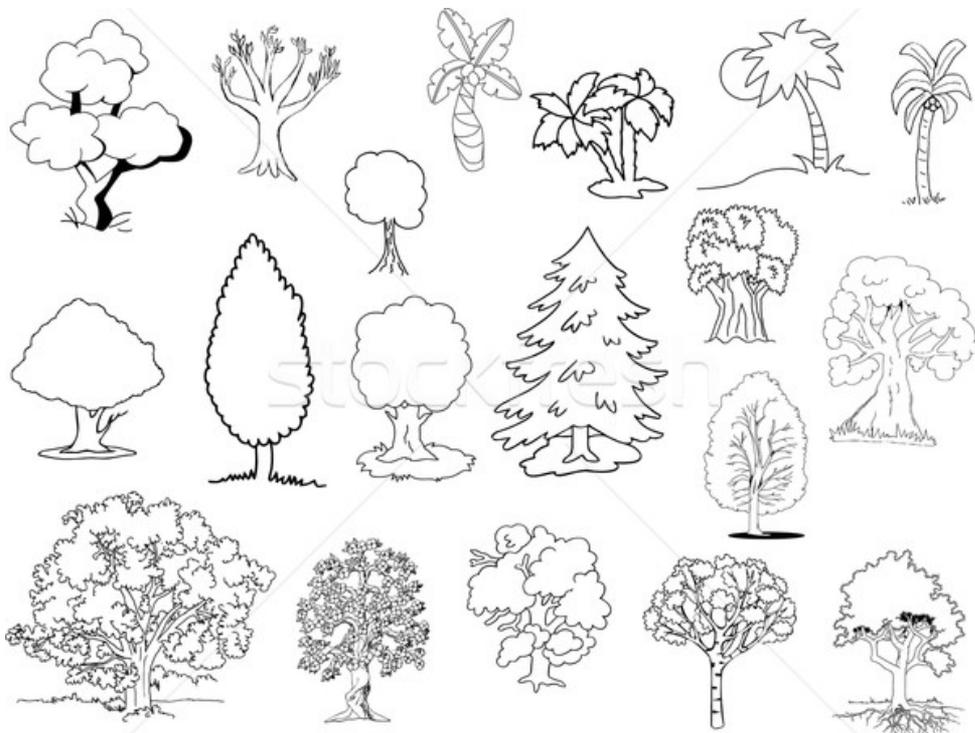


Figura 12 - Diferentes formas das plantas de grande porte. Fonte: Gennia News (2018).

FORMA DA RAIZ

As raízes árvores e pinheiros, geralmente apresentam uma raiz pivotante não muito longa e forma-se uma taça com os extremos das raízes, mas isso irá depender das características da espécie, áreas férteis e resistência do terreno. As palmeiras, que também podem ser consideradas árvores, apresentam raiz fasciculada. O estudo das raízes é realizado cavando-se trincheiras em raios a partir do tronco e por amostragem, desenhando-se e pesando-se as raízes da trincheira e medindo-se o

volume da trincheira, é possível traçar um perfil e estimar a biomassa de raízes de toda a árvore.

COPA DAS ÁRVORES

Tipos de copas

Árvores que crescem livres de concorrência apresentam a copa mais ampla e o tronco mais grosso na base e geralmente são mais baixas, ao que se denomina de forma florestal, enquanto que as árvores que crescem no interior da floresta, têm a copa mais longa e estreita, o tronco mais cilíndrico e maior altura, cuja forma é denominada de florestal. Em função do tipo de crescimento, podem apresentar uma única gema apical dominante, formando copas mais longas e piramidais ou alongadas, sendo denominadas de monopodiais (com dominância apical; outras não apresentam dominância de uma gema na copa e os galhos crescem todos da mesma forma, formando múltiplos galhos de mesmo porte, conferindo uma forma mais arredondada, sendo denominadas de simpodiais (sem dominância apical) (Figura 13).

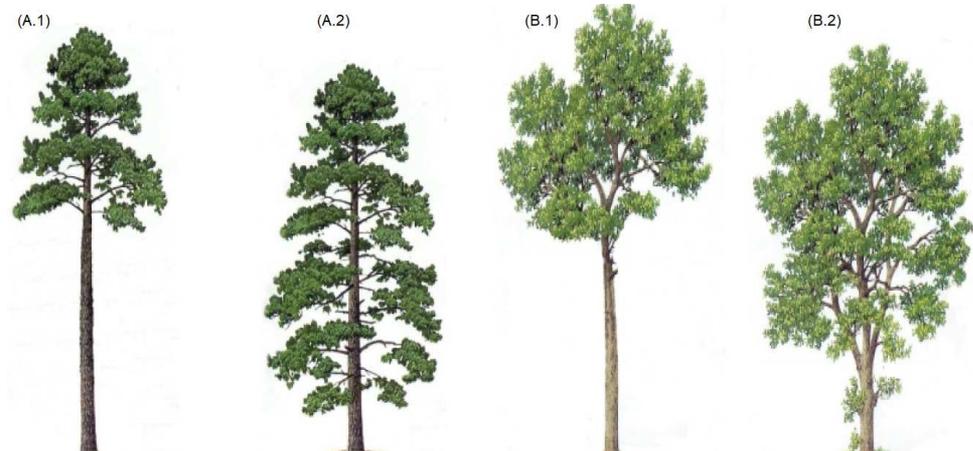


Figura 13 - A) Crescimento monopodial, forma florestal (A.1), forma natural (A.2); B) Crescimento simpodial, forma florestal (B.1), forma natural (B.2). Fonte: Imaña et al (2002).

As diferentes formas que as copas podem apresentar são representadas na Figura 14.

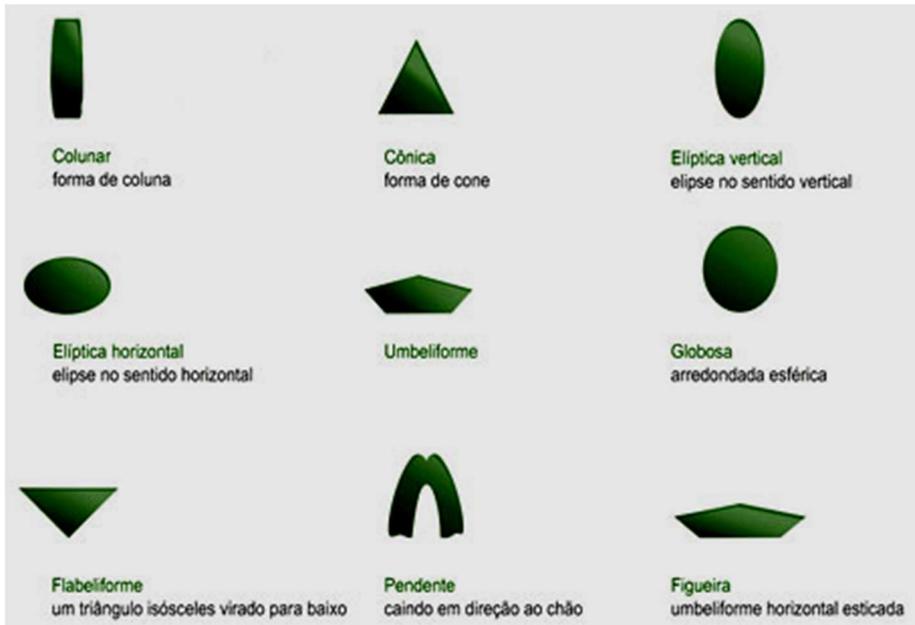


Figura 14 - Diferentes formas das copas das árvores. Fonte: Copel (2018).

MEDIÇÕES DA COPA

A copa das árvores é responsável pela fotossíntese e, portanto, pelo seu crescimento. Quanto mais a árvore realiza fotossíntese, mais ela cresce. A intensidade da fotossíntese está relacionada com o tamanho da copa, principalmente com a área atingida diretamente pela luz do sol e com o potencial genético das árvores.

Em relação ao povoamento florestal, quanto mais a superfície das copas cobre a superfície do terreno, maior a produtividade por unidade de área do terreno. Portanto, a medição dos diâmetros das copas das árvores e consequente cálculo da superfície de projeção das copas sobre o solo permite estimar o percentual de cobertura do solo.

A densidade de copas também é utilizada como índice de densidade do povoamento, permitindo estimar a necessidade de desbastes.

A determinação da superfície de projeção da copa (SPC) de uma árvore é realizada medindo-se quatro raios da copa nos sentidos norte (RN), leste (RL), sul (RS) e oeste (RO), sendo a superfície de projeção calculada por:

$$SPC = (\pi/4) \cdot [(RN+RL+RS+RO)/2]^2$$

Alguns autores sugerem a medição de um maior número de raios das copas das árvores, mas isso só é necessário quando se pretende estudá-las individualmente; nesse caso pode ser necessário de 8 a 16 raios (LAAR e AKÇA, 2007; ASSMANN, 1970). Para modelagem ou cálculos estatísticos, geralmente quatro raios são suficientes, mas dependendo das irregularidades das copas e entre as mesmas, podem ser necessários até 8 raios para garantir precisão nas estimativas.

A superfície total da copa é estimada pelo cálculo da superfície de sólidos de revolução a que a forma da copa dos indivíduos se assemelha, sendo necessário calcular a integral do topo até a base da copa para obter a superfície. O mesmo ocorre com estimativas do volume das copas.

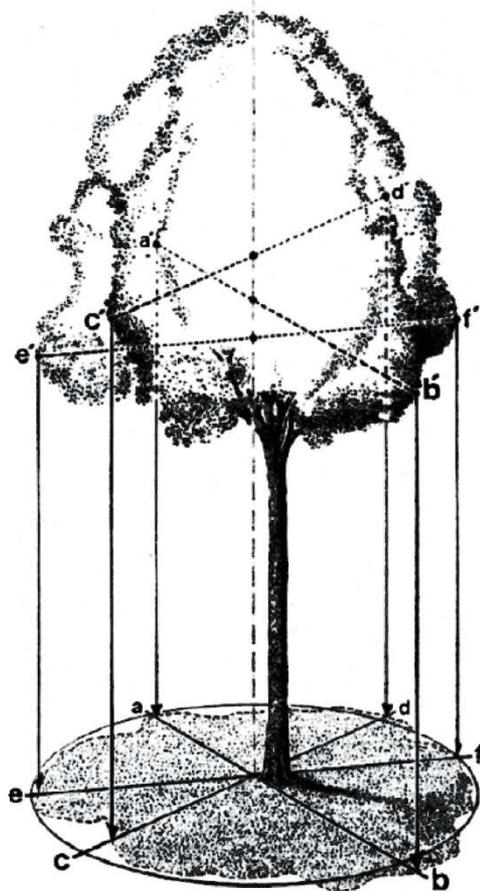
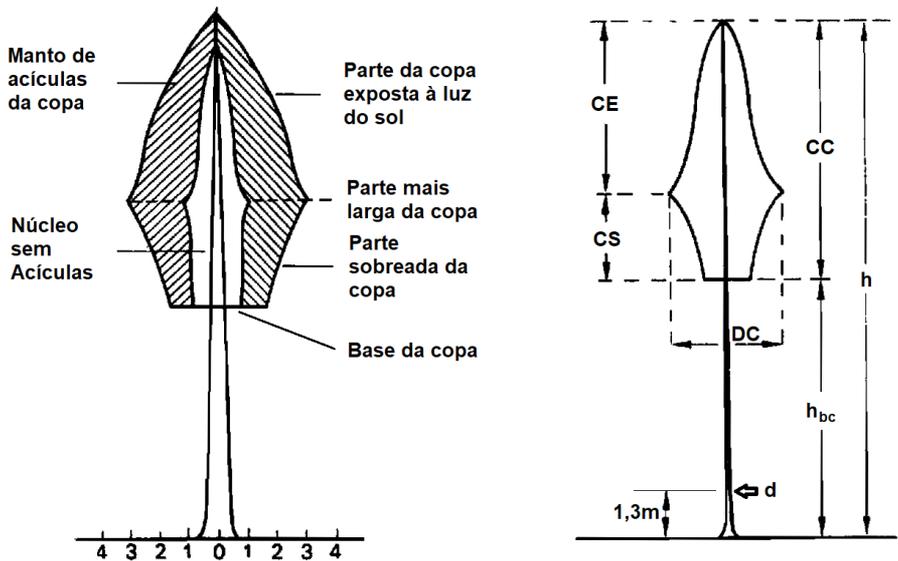


Figura 15 - Medição dos raios da copa para determinação da superfície de projeção sobre o solo. Fonte: Laar e Akça (2007).

Segundo Laar e Akça (2007) as características da copa são úteis para prognosticar o crescimento. Nos ensaios de espaçamento, desbastes e fertilização a copa pode ser correlacionada com o crescimento e disponibilidade de água no solo, em que se pode verificar a estreita relação entre o tamanho da copa e a quantidade de folhagem fotossinteticamente ativa. O aumento do raio da copa com o aumento da idade das árvores é controlado principalmente pela competição de árvores vizinhas. Em posições densas, a excentricidade da copa é bastante alta, devido à competição desigual das árvores ao redor. Por esta razão, o raio da copa é geralmente medido

em 4 sentidos ou mais. A morfologia geral da copa de uma árvore é ilustrada na Figura 16.



Onde: CE = comprimento da copa exposto ao sol; CS = comprimento da copa sob sombra; DC = largura da base da copa; CC = comprimento da copa; h_{bc} = altura da base da copa; h = altura da árvore; d = diâmetro da árvore.

Figura 16 - Morfologia da copa de *Picea*. Fontes: Burger (1939), Assmann (1970).

MORFOMETRIA

A morfometria das árvores pode ser definida como o estudo da forma das árvores por meio das dimensões da copa, do diâmetro e altura das árvores e das relações entre essas variáveis. As relações entre o diâmetro do tronco, altura da árvore e dimensões da copa, relacionadas na Figura 17, são úteis para avaliação da competição entre os indivíduos, prognose do crescimento e prever a necessidade de tratamentos silviculturais.

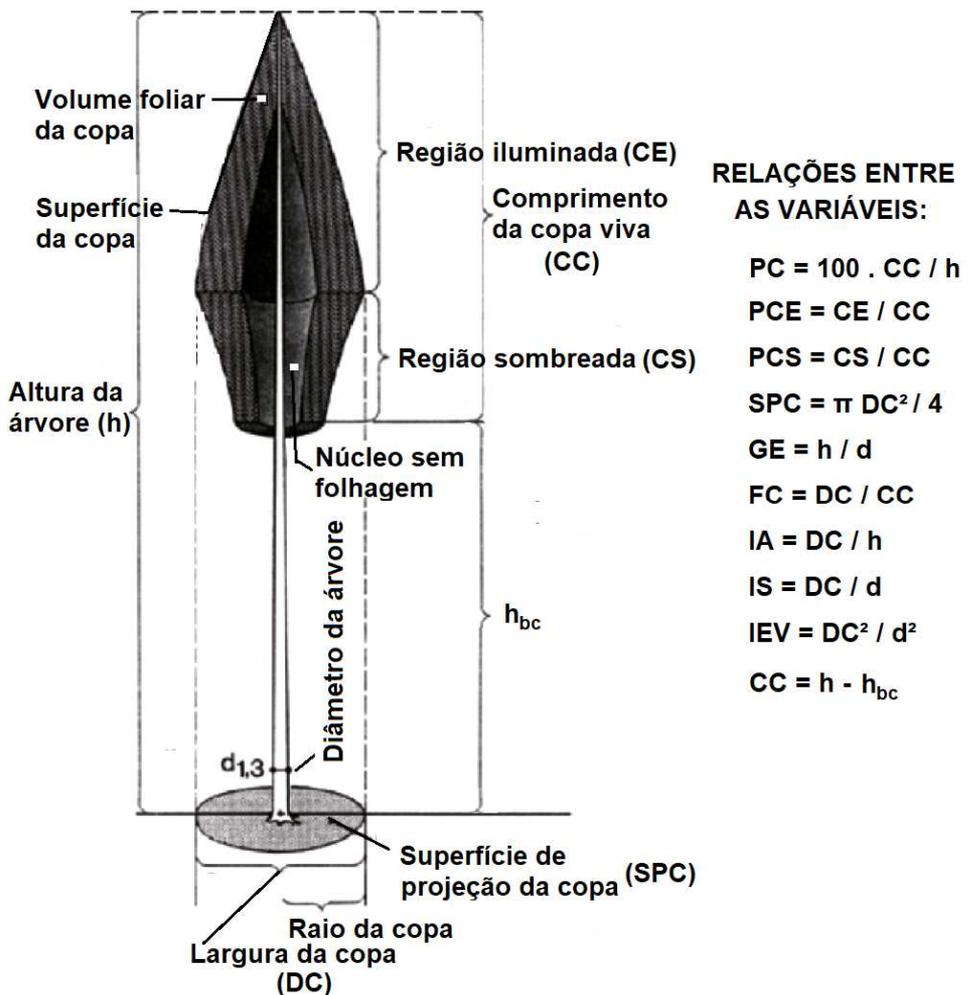


Figura 17 - Morfologia e relações morfométricas da copa de *Picea abies*. Fonte: Burger (1939); Assmann (1970); Laar e Akça (2007).

As relações entre as variáveis permitem investigar sobre a situação de competição e crescimento das árvores.

O comprimento da copa é determinado pela altura total da árvore (h) subtraindo-se a altura da base da copa (h_{bc}). É preciso atenção na determinação da altura da base da copa que vai do solo até o início da copa verde. Algumas vezes esta

altura se confunde com a altura do fuste (h_f), mas os conceitos são diferentes, pois a altura do fuste é a altura da parte comercial do tronco e nada tem a ver com a copa.

A Percentagem de Copa ($PC = 100 \cdot CC / h$) mostra o quanto da altura é coberta por copa viva. Floriano (2004) estudou o efeito da desrama artificial em *Pinus elliottii* e demonstrou que o efeito da redução da copa começa a ser sentido quando se remove a copa de mais de 40% da altura total da árvore, sendo já bastante significativa quando se remove 50%.

A Proporção de Copa Exposta à luz do sol ($PCE = CE / CC$) é a parte da copa que é responsável pela maior parte da fotossíntese realizada pela árvore e portanto, por seu crescimento. Enquanto que a parte sombreada pode até mesmo consumir mais nutrientes do que produzir. Muitas espécies tendem a perder os galhos inferiores quando eles passam a ser sombreados pelos demais. Quando a Proporção de Copa Sombreada ($PCS = CS / CC$) for grande, pode ser um indicativo de que há muita competição lateral. Também pode ser interpretada como necessidade de desrama. Quanto mais alongada a copa, maior a superfície da mesma para uma mesma área de projeção no solo e, portanto, mais luz a copa recebe, tornando a árvore mais eficiente em aproveitar a área do terreno.

A Superfície de Projeção da Copa ($SPC = \pi DC^2 / 4$) é usada para avaliar a cobertura do solo. Enquanto as árvores crescem livres de competição, as copas são amplas e ao começarem a se tocar e sombrear umas às outras, as copas passam a ficar mais estreitas e o crescimento individual é afetado, sendo tanto mais reduzido quanto menor for a árvore em relação às demais, até o grau extremo de competição com a morte das árvores menores, ao que se denomina de autodesbaste. De acordo com Assmann (1970) o número médio de árvores por hectare (N) pode ser determinado em função do espaço ocupado pelas copas das árvores crescendo livres de competição, da seguinte forma:

- Em espaçamento quadrado: $N = 10000 / DC^2$;
- Em espaçamento triangular (ou hexagonal): $10000 / (0,866.DC^2)$;
- Em espaçamento misto (entre quadrado e hexagonal): $10000 / (0,933.DC^2)$.

A superfície de projeção da copa (SPC) de uma árvore individual pode ser referenciada como aproximadamente proporcional ao espaço de crescimento ou área nominal ocupada por esta árvore (SEEBACH *apud* Assmann, 1970).

O Grau de Esbeltes ($GE = h / d$) é um indicador de cilindridade do tronco; quanto maior, maior a cilindridade, o que pode indicar excesso de densidade da população por longos períodos.

O Formal de Copa ($FC = DC / CC$) é o correspondente para a copa do grau de esbeltes do tronco. Copas mais alongada estão relacionadas a maior competição entre as árvores, mas se for característica natural da espécie também pode ser indicador de que a espécie é mais eficiente na ocupação do espaço, pois a copa mais alongada recebe mais luz do que uma copa mais arredondada.

O Índice de Abrangência ($IA = DC / h$) é um indicador da ocupação do espaço em função da altura; copas mais abrangentes significa que as árvores tem pouca concorrência entre si.

O Índice de Saliência: ($IS = DC / d$), também conhecido como Fator de espaço de crescimento de Seebach, ou proporção de projeção da copa, mostra o quanto as copas estão contribuindo para o engrossamento do tronco da árvore; quanto menor o IS, mais o tronco está engrossando com menor diâmetro de copa.

O Índice de Espaço Vital ($IEV = DC^2 / d^2$), também é conhecido como cociente da área de cobertura do solo e mostra o quanto de espaço vital está sendo ocupado pela árvore em relação à área basal da mesma. O estudo de limites mínimos e

máximos de IEV por espécie e classe de sítio permite determinar o mínimo e máximo de superfície a ser ocupada por uma árvore (ASSMANN, 1970).

CLASSIFICAÇÃO DAS COPAS

Um sistema de classificação para as copas das árvores em relação à posição que ocupam em relação ao dossel florestal é útil na discussão de desenvolvimento dos povoamentos, como o que segue:

- 1) Emergentes – São as árvores que projetam suas copas bem acima do dossel, ficando acima até mesmo das dominantes; recebem plena luz de cima e laterais; sua ocorrência é muito pequena e geralmente são selecionadas para entrar em programas de melhoramento genético;
- 2) Dominantes – Árvores com copa se estendendo acima do dossel que recebem pleno sol de cima e em parte dos lados. As copas são bem desenvolvidas e mais largas que as do dossel;
- 3) Codominantes – São árvores com copas que formam o nível do dossel e recebem plena luz de cima, mas pouca dos lados; suas copas possuem um raio médio;
- 4) Intermediárias – Essas árvores são mais baixas que os das classes anteriores, possuem o diâmetro da copa mais reduzido e seu topo recebe luz direta, mas nenhuma dos lados;
- 5) Suprimidas (overtopped) – São árvores cujas copas situam-se abaixo do nível do dossel e não recebem luz direta.
- 6) Lobas – São árvores que se desenvolvem e crescem livres de concorrência; apresentam galhos de todos os lados, com ramos bem abaixo do nível do dossel; suas copas recebem luz direta do alto e em boa parte das laterais.
- 7) Mortas – São as árvores mortas, independentemente de sua posição no dossel; as árvores suprimidas tendem a morrer pelo excesso de competição e algumas das demais classes podem morrer por ataque de doenças ou pragas, ou mesmo por serem atingidas por fenômenos naturais como raios.

3.6.6 Forma do tronco

O tronco das árvores pode apresentar diferentes formas, desde as mais regulares como a araucária (*Araucaria angustifolia*), ou tortuosas como a mangabeira (*Hanconia speciosa*) (Figura 18). A parte mais importante do tronco é o fuste, que é a

parte comercial do tronco das árvores, sendo o principal objeto de estudo para quantificação da madeira comercial (ORMOND et al., 2006).

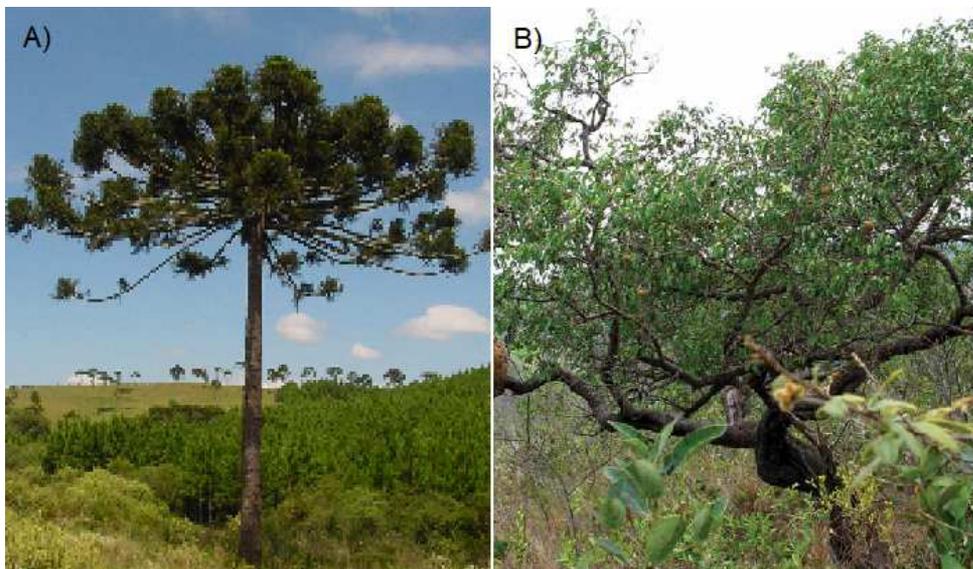


Figura 18 - *Araucaria angustifolia* (A) e *Hancornia speciosa* (B). Fontes: A) autor; B) Lima (2010).

O estudo da forma do tronco geralmente é associado a sólidos de revolução como cilíndrico, parabólico, cônico ou neilóide, que pode ser realizado por meio da seguinte função (GARCÍA, 2004):

$$S_x = p \cdot x^r$$
$$v = \int_{x=0}^h S_x \cdot dx$$

Onde: v = volume do sólido de revolução; S_x = superfície transversal do tronco à distância x em relação ao topo (m^2); x = distância (m) do topo; p , r = coeficientes, sendo p o parâmetro que representa o tamanho, r é o parâmetro que representa a forma.

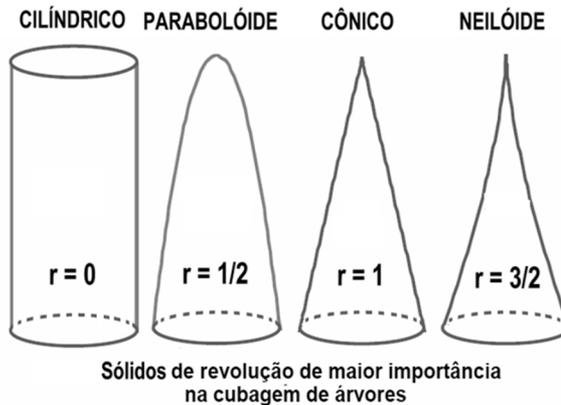


Figura 19 - Relação das formas geométricas das quais os troncos das árvores se aproximam e o valor do parâmetro (r) da função $g_x = p \cdot x^r$.

FATOR DE FORMA ARTIFICIAL ($F_{1,3}$)

O fator de forma artificial ($f_{1,3}$) permite realizar uma estimativa grosseira do volume das árvores, sendo determinado pela razão entre o volume real da árvore e um cilindro com diâmetro igual ao diâmetro da árvore (d) e mesma altura (h):

$$f_{1,3} = (\text{volume real}) / (h \cdot \pi \cdot d^2 / 4)$$

O volume da árvore pode ser calculado por:

$$v = f_{1,3} \cdot h \cdot \pi \cdot d^2 / 4$$

FATOR DE FORMA NATURAL ($F_{0,9}$)

Neste caso, o diâmetro da árvore considerado é o $d_{0,9}$ da cubagem pelo método de Hohenadl e o fator de forma ($f_{0,9}$) se calcula pela fórmula:

$$f_{0,9} = \text{volume real de Hohenadl (v)} / \text{volume do cilindro (vc)}$$

O fator de forma natural pode ser encontrado pela equação:

$$f_{0,9} = v / (h \cdot \pi \cdot d_{0,9}^2 / 4)$$

Ou, o volume da árvore pode ser calculado por:

$$v = f_{0,9} \cdot h \cdot \pi \cdot d_{0,9}^2 / 4$$

COCIENTE DE FORMA

Quociente de forma é a razão entre o diâmetro a uma determinada altura (d_i) e o diâmetro do tronco a 1,3 m do solo (DAP). Não possui unidade de medida, é expresso em proporção, sendo >0 e geralmente <2 . Calcula-se pela função:

$$q_{0,ih} = d_{0,ih} / DAP$$

Onde: $q_{0,ih}$ = quociente de forma a $0,i$ vezes a altura; $d_{0,ih}$ = diâmetro da árvore a $0,i$ vezes a altura; DAP = diâmetro a altura do peito, tomado a 1,3 m da base do tronco; $0,i$ = proporção da altura de medição do diâmetro.

O quociente de forma pode ser maior do que 1 quando se mede diâmetros abaixo do DAP, ou em árvores de troncos de formatos incomuns, como *Ceiba glaziovii*, ou ainda com deformações.

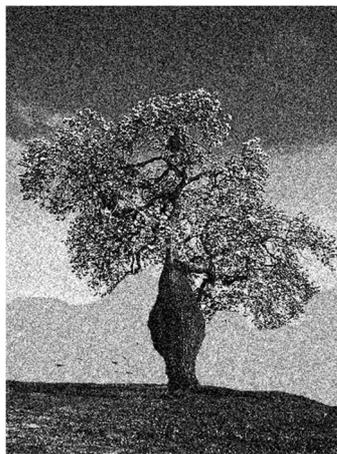


Figura 20 - *Ceiba glaziovii* apresenta tronco com quocientes de forma acima de 1.

Quociente de forma artificial ($q_{0,5h}$)

É calculado medindo o diâmetro na metade da altura total ($d_{0,5}$) da base ao topo da árvore e dividindo-se pelo diâmetro a 1,3 m de altura (DAP).

$$q_{0,5h} = d_{0,5h} / DAP$$

Quociente de forma natural ($\eta_{0,5h}$)

É o quociente entre o diâmetro a 50% da altura ($d_{0,5h}$) e o diâmetro a 90% da altura ($d_{0,9h}$), a partir do topo da árvore, ou seja com os diâmetros de Hohenadl $d_{0,1}$ e $d_{0,9}$, conforme a equação

$$\eta_{0,5h} = d_{0,1h} / d_{0,9h}$$

Quociente de forma de Hohenadl (qH)

É o quociente de forma definido pela razão entre o diâmetro ao nível de 1,3 m a partir da base (DAP) e o diâmetro a 90% da altura a partir do topo ($d_{0,9h}$):

$$qH = DAP / d_{0,9h}$$

3.6.7 Biomassa

A medição de biomassa é realizada separadamente para o tronco, galhos, folhagem e raízes.

O tronco pode ser medido por qualquer equação de cubagem de ambas as formas com e sem casca e sua densidade determinada por meio de secagem em estufa e pesagem posterior de amostras representativas tomadas ao longo do tronco, determinando-se a sua densidade e posteriormente a massa total do tronco.

Os galhos, geralmente são pesados diretamente quando ainda verdes e em seguida também se tomam amostras representativas, podendo ser proporcionais ao

nível de ramificação, que depois também passam por processo de secagem e pesagem para determinar a densidade, posteriormente, a massa total de galhos da árvore.

As folhas são submetidas a um processo semelhante aos dos galhos, pesando-se o total, ou uma amostra proporcional, e depois submetendo-se à secagem e pesagem para determinação da densidade e depois a massa de folhas da árvore.

Raízes são mais complicadas de medir por estarem no substrato da floresta. Uma das formas de estimar sua biomassa é abater a árvore e abrir uma trincheira tomando todo um diâmetro da projeção máxima da copa da árvore. Todas as raízes da trincheira devem ser classificadas por tamanho, limpas, pesadas e secas ainda verdes para pesagem e posterior determinação da massa total em função da proporção do volume da trincheira em relação ao volume calculado com a superfície de projeção da copa e a profundidade da trincheira.

3.6.8 Mortalidade

A mortalidade (M) ocorre de maneira diferenciada entre florestas plantadas equiâneas e florestas naturais inequiâneas. Nas florestas plantadas equiâneas a mortalidade inicial é maior e vai diminuindo até praticamente estabilizar, tornando-se geralmente rara, devido aos cuidados que se toma na silvicultura; portanto, ocorre por de forma diferenciada por classe de idade dos povoamentos florestais, sendo maior nas menores classes de idade. Nas florestas naturais inequiâneas, a mortalidade ocorre de maneira diferenciada por classe de diâmetro, sendo maior nas classes de diâmetro menores. Assim, a modelagem da mortalidade (M) nas florestas equiâneas deve ter como variável independente principal a idade (t) das árvores [$M=f(t)$], mas pode-se acrescentar outras como o índice de sítio (IS), representando-se as funções por [$M=f(t, IS)$]. Nas florestas inequiâneas, a modelagem da mortalidade deve ter

como variável principal o diâmetro (d), sendo representada pela função $[M=f(d)]$, sendo que pode ser modelada de forma global para todas as espécies, ou particularmente para espécies de interesse.

3.6.9 Qualidade da madeira

A qualidade da madeira é parte fundamental no planejamento da produção florestal, mesmo quando é considerada um produto secundário, como no caso de produção de casca para fabricação de tanino dos povoamentos de acácia negra, pois pode representar aumento de valor do produto, ou maior facilidade de comercialização. Nesse caso, dos povoamentos de acácia, uma maior densidade e poder calorífico da madeira poderia ser importante na hora da venda, entretanto isso é desprezado nos plantios do Sul do Brasil. A maior densidade da madeira poderia ser obtida por manejo adequado dos povoamentos e melhoramento genético, por exemplo.

A definição da qualidade da madeira a obter deve considerar o sortimento mais desejado ou de maior valor para o produtor. Em alguns casos é desejável maior densidade básica, então utiliza-se espaçamentos mais apertados e os povoamentos são manejados com maior densidade para que resulte em maior quantidade de madeira de outono-inverno (mais densa) do que de primavera-verão (menos densa). Noutros casos, o volume é que interessa, não importando a dimensão da madeira e se utiliza densidades de plantio elevadas. Mas, se a necessidade é de madeira de maiores dimensões em maior volume, o espaçamento inicial deve ser maior e o manejo da densidade deve ser realizado com maior espaço para as árvores crescerem individualmente.

Outro fator que afeta a qualidade da madeira dependendo do objetivo é a desrama, tanto natural quanto artificial. Se desejarmos madeira com menos nós e de

menores dimensões são recomendados espaçamentos iniciais mais apertados de manejo com maior densidade do povoamento, pois os galhos serão mais finos e a desrama natural será mais intensa. Entretanto, a desrama artificial geralmente tem melhor resultado e pode ser associada com espaçamentos mais largos e manejo da densidade do povoamento menor para se obter madeira de maiores dimensões em rotações mais curtas, resultando em menores juros acumulados sobre as despesas com o povoamento e conseqüente maior lucro.

A fertilidade e demais características do solo têm grande influência sobre o crescimento. A adubação proporciona maior crescimento e madeira de maiores dimensões mais rapidamente, mas geralmente de menor densidade básica, influenciando sobremaneira a qualidade da madeira.

O clima é outro fator de influência sobre a qualidade da madeira, pois em climas mais quentes e chuvosos, as árvores crescem mais.

Resumidamente, todos os fatores ambientais, de manejo e características genéticas das árvores influenciam a qualidade da madeira.

Assim, os principais fatores que influenciam a qualidade da madeira que podem ser controlados pelo homem, parcial ou completamente, são:

- o germoplasma;
- o solo - umidade, compactação, fertilidade;
- a densidade de plantio;
- o manejo da densidade dos povoamentos;
- a desrama artificial.

3.7 Espaço florestal

É representado pelas diversas unidades territoriais da empresa e pelo espaço em que se situa o seu mercado. O espaço florestal é caracterizado pelas áreas cobertas por florestas naturais e cultivadas e demais espaços associados as mesmas, tais como áreas cobertas por outros tipos de vegetação, áreas dedicadas à infraestrutura, superfície das lâminas de água, etc.

3.7.1 Áreas de preservação e conservação

O primeiro passo do manejador florestal na gestão do espaço florestal é identificar as lâminas de água e nascentes. Posteriormente, conforme determina a Lei 12.651/2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, é necessário identificar as áreas de proteção permanente e locar as áreas de reserva legal, definidas na Lei como:

- Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.
- Reserva Legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa.

Em seguida, é essencial locar os pontos de apoio para a segurança da floresta como reservatórios de água e torres de observação para detecção de incêndios. A fase seguinte é de locação das estradas florestais para então realizar a divisão das unidades produtivas e criar um sistema de identificação para as mesmas. Tanto os espaços produtivos, quanto de conservação ou preservação apresentam custos para

a empresa e portanto precisam de um tipo de identificação a contabilidade, com centros de custos que permitam acompanhar os resultados econômicos de cada unidade para facilitar sua gestão. Centro de custos representam cada unidade autônoma de uma empresa que possui autonomia quanto à administração financeira (receitas e despesas), sendo que o conjunto de resultados de todos os centros de custos irão representar o resultado de toda a empresa.

3.7.2 Divisões e subdivisões espaciais

As áreas podem ser divididas com base em classificação ecológica, produtiva e técnica. A classificação das áreas é definida particularmente por cada empresa, mas de uma forma geral podem ser definidas como segue:

- Ecológica – classificação das áreas quanto ao hábitat;
- Produtiva – é a classificação técnico-silvicultural de forma hierárquica em regiões, distritos ou horto, fazenda, unidade de manejo, talhão, secção e subsecção. As unidades de produção preferencialmente devem ter tamanho e forma padronizados; uso padronizado e controle estatístico rigoroso (estoque, corte e plantio). As unidades geralmente são definidas em até 5 níveis, como segue:
 - 1) Região: é uma área do território nacional que concentra propriedades da empresa sob uma mesma administração;
 - 2) Distritos ou hortos: são subdivisões menores das regiões que concentram fazendas próximas;
 - 3) Fazenda: usualmente são áreas contíguas com matrícula em cartório;
 - 4) Unidade de manejo – são áreas contínuas de produção, com ou sem subdivisões como talhões e secções, com plantios usualmente da mesma espécie e idade, sob o mesmo sistema silvicultural; são as unidades que recebem um centro de custo contábil; podem reunir vários talhões, não necessariamente contíguas, mas próximos, com características ambientais semelhantes; são as unidades principais para o controle, planejamento e manejo florestais;

As divisões e subdivisões devem receber uma codificação numérica hierárquica de forma a facilitar seu controle e identificação, sendo que as unidades de

manejo podem ser sempre identificadas pelo seu código de centro de custo contábil para se integrar- o manejo florestal com a contabilidade empresarial.

SUBDIVISÃO TÉCNICA DAS ÁREAS FLORESTAIS

É a classificação em classes de aproveitamento (áreas de povoamentos semelhantes de mesma espécie e rotação com mesma meta econômica). É realizada com os objetivos de controle sobre o ordenamento dos povoamentos, resumir as informações quanto às diferentes classes de sítio e idade, planejamento e controle da sustentabilidade da produção para as diferentes classes.

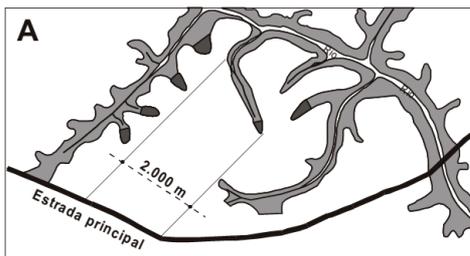
3.7.3 Rede viária

O uso dos espaços rurais, depende do acesso, portanto a locação das vias de acesso, principalmente às áreas produtivas, vem a seguir. De acordo com Carvalho (2013): “obrigatoriamente, as estradas devem atender às atividades de silvicultura, proteção florestal, pequenas atividades, vizinhos, terceiros, colheita e transporte”. Inicialmente, localiza-se os pontos obrigatórios de passagem e locais a evitar. Pontos obrigatórios são os locais onde se pode construir pontes e bueiros, pontos de acesso à vizinhos, locais de abastecimento de água (reservatórios, rios, etc), acesso a torres de observação, entre outros. Áreas a evitar, são os locais onde a construção da estrada pode afetar as áreas a serem preservadas e locais onde o custo de construção é muito caro, como encostas muito íngremes, rochas que necessitem ser explodidas, banhados, arroios e rios torrenciais.

A construção da rede viária é cara, portanto deve ser otimizada, construindo-se o mínimo para se obter a máxima capacidade de transporte. Uma das modalidades de desenho de estradas florestais é a “espinha de peixe” (Figura 21), constituídas de estradas paralelas que se inserem num ângulo de cerca de 60° a uma estrada

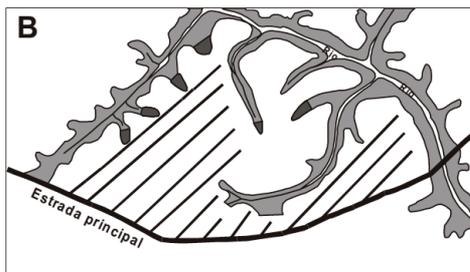
principal, que se inserem por sua vez à outras vias mais importantes da mesma maneira. O ângulo de inserção deve ser suficiente para permitir a manobra e acesso dos caminhões extrapesados utilizados na atualidade para o transporte de madeira. Nos pontos extremos da rede de vias secundárias, é preciso prever a manobra para retorno dos caminhões e parques para estacionamento, carga de madeira e descarga de materiais, insumos e máquinas utilizados na silvicultura, manutenção e colheita de madeira.

a. Início do planejamento na área mais regular.



- Área de preservação
- Área inacessível
- Área explorável
- Estrada secundária
- Estrada primária

b. Desenho das primeiras estradas secundárias.



c. Desenho das ramificações das estradas secundárias.

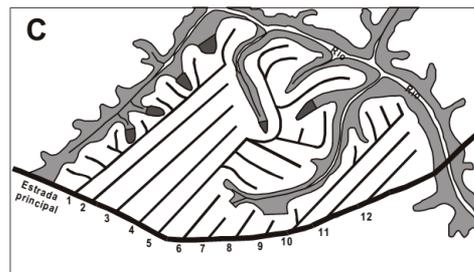


Figura 21 - Planejamento de estradas florestais em espina de peixe. Fonte: IMAZON (2015).

A época de implantação das estradas pode ser realizada como recomendado por Carvalho (2016), conforme a Figura 22.

O custo do transporte florestal está relacionado principalmente com o custo de construção da própria estrada, com sua manutenção, com os custos de extração (baldeio) e redução da área produtiva (Figura 23), e também com o custo do transporte principal até o mercado ou indústria.

Após planejar as estradas é preciso locar os limites dos talhões destinados à silvicultura, prevendo-se como a madeira será baldeada do interior do talhão para a margem das vias de acesso onde a madeira será carregada nos veículos de transporte principal (caminhões). Os talhões, preferencialmente, devem ter um tamanho que minimize o custo de baldeio da madeira do seu interior para os locais de descarga e carga.

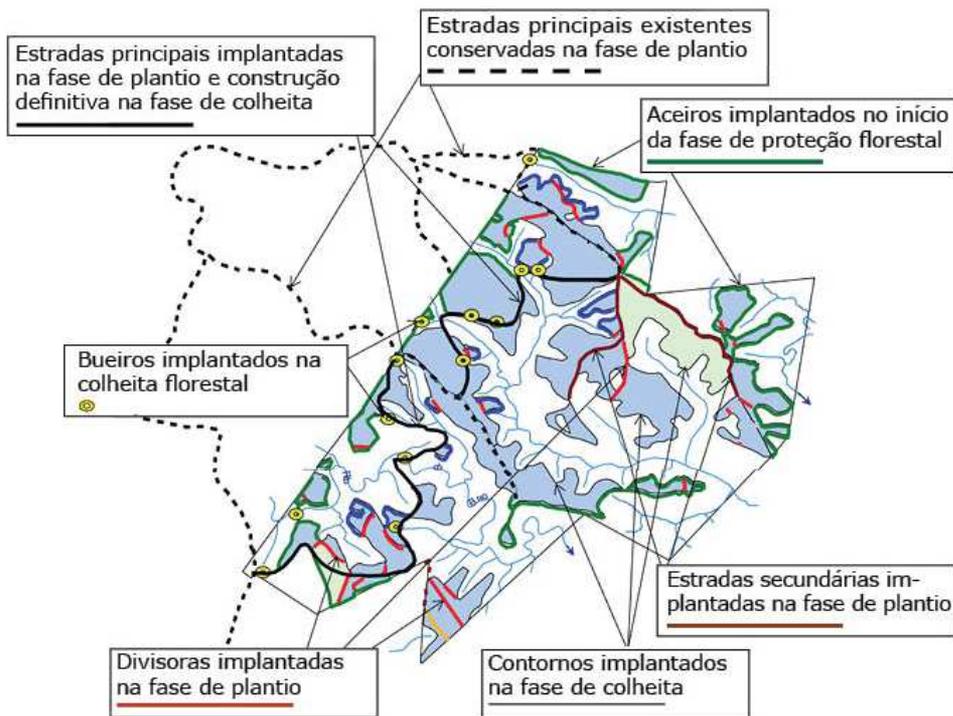


Figura 22 - Época de implantação das estradas florestais. Fonte: Carvalho (2016).

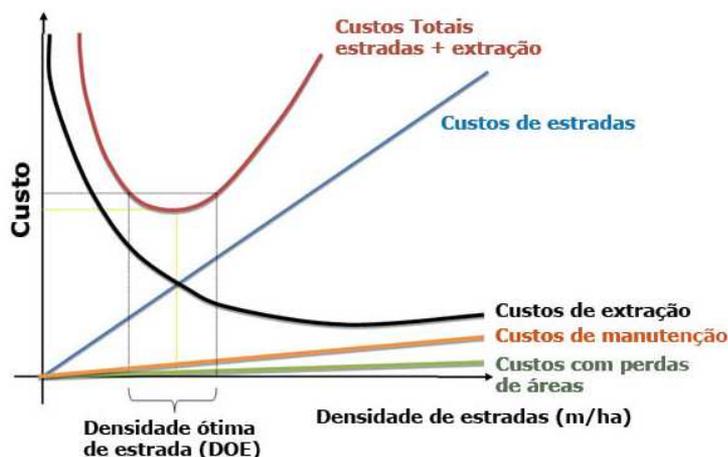


Figura 23 - Determinação da densidade ótima de estradas de acordo com Carvalho (2016).

3.8 Tempo

O tempo florestal é regulado pela idade das árvores, sendo tratado de maneira diferente para florestas naturais e florestas plantadas.

Os períodos de tempo mais comuns considerados no manejo florestal são:

- Rotação - Florestas equiâneas - Período de tempo entre o plantio e a colheita final;
- Ciclo de desbastes – Período de tempo entre um desbaste e outro;
- Ciclo de corte – é o termo usado para florestas inequiâneas que significa o tempo entre um corte de produção e outro.
- Duração da produção – é representado pela idade de aproveitamento; é o tempo que a floresta leva para tornar-se produtiva, sendo determinada em função da produtividade da floresta, do mercado, das vias de acesso, condições do tempo e mão-de-obra disponível para colheita.
- Período de renovação – período entre o corte e o início da nova cultura;
- Período de ordenamento – período de planejamento do plano de ordenamento;
- Período de transformação – período necessário para a transformação de uma floresta de um sistema silvicultural para outro;
- Período de equilíbrio – período para equilibrar a falta ou excesso de estoque em cada classe de idade;

- Horizonte de planejamento – É o período de tempo considerado para o planejamento da produção ou avaliação econômica de um empreendimento florestal.

3.8.1 Idade

Nas florestas equiâneas é o tempo transcorrido do plantio até o momento considerado. Nas florestas naturais, geralmente não há caracterização da idade, pois é particular de cada indivíduo.

O período de tempo entre o plantio e a colheita final das florestas plantadas é chamado de rotação, enquanto que o período de tempo entre um corte e outro nas florestas naturais é denominado de ciclo de corte.

Os povoamentos podem ser classificados quanto à idade (t) como equiâneos ou inequiâneos:

- Equiâneos – a amplitude de idade das árvores do povoamento está entre +/- 10% da idade média;
- Inequiâneos – a amplitude de idade das árvores do povoamento ultrapassa +/- 10% da idade média.

IDADE MÉDIA

Idade média aritmética

$$I = \sum t_i / n$$

I = idade média aritmética; t_i = idade da árvore i; n = número de árvores.

Idade média de áreas

$$I_a = \sum (t_j \cdot A_j) / \sum A_j$$

I_a = idade média de áreas; A_j = área do povoamento j; t_j = idade média das árvores do povoamento j.

Idade média de volumes

$$I_v = \sum (t_j \cdot V_j) / \sum V_j$$

I_v = idade média de volume; V_j = volume de estoque do povoamento j ; t_j = idade média do povoamento j .

3.8.2 Classes de idade

Classes naturais de idade

- Povoamentos manejados em alto fuste passam pelos estados de: renovação, denso, debaste, madeira;
- Povoamentos manejados em talhadia passam pelos estados de: brotação, ressalvo.

Classes silviculturais de idade

Os povoamentos são considerados em fase de renovação, de tratos silviculturais ou melhoramento.

Classes artificiais de idade

Neste caso, mais comum para o manejo florestal, os povoamentos são divididos em classes de idade em anos.

3.9 Estrutura florestal

A estrutura florestal é caracterizada principalmente por:

- Espécies;
- Estrutura horizontal;
- Estrutura vertical.

As áreas produtivas florestais são entremeadas com áreas de proteção e o estudo da estrutura florestal é importante não só para o manejo de florestas produtivas, mas também para as áreas de proteção. O monitoramento da estrutura

florestal permite verificar a manutenção da riqueza de espécies, biodiversidade, estado evolutivo, crescimento, densidade, etc., facilitando o planejamento da produção ou de ações para garantir sua conservação e preservação.

3.9.1 Espécies

A composição florística de um ecossistema é representada pela lista de espécies existente no mesmo, sendo quantificada principalmente pela diversidade e agregação de espécies.

DIVERSIDADE DE ESPÉCIES

Os índices de diversidade são indicadores da situação dos ecossistemas (Magurran, 1988) e estimam dois elementos básicos: riqueza e uniformidade. Riqueza é a quantidade de espécies existentes em uma comunidade. Uniformidade é a quantidade de indivíduos existente por espécie. Os índices de diversidade podem ser divididos em três tipos:

- Riqueza – mede o número de espécies em uma unidade de amostra;
- Abundância – mede a quantidade de indivíduos de uma espécie em uma comunidade;
- Abundância proporcional – mede a riqueza e a uniformidade.

Os índices de diversidade são classificados em 5 níveis pela sua ordem de abrangência de local para regional, como segue:

- Pontual – diversidade de um simples ponto, de uma única unidade amostral, ou de um micro ambiente;
- Alpha – dentro da diversidade de um hábitat; geralmente é composta por várias subamostras de um único hábitat; a diversidade alfa refere-se ao número e abundância de espécies de uma comunidade;
- Beta – diversidade de espécies de um hábitat, transecto ou de um gradiente; a diversidade beta expressa a diferença na composição e abundância de espécies entre ou dentro de comunidades;

- Gama – diversidade de uma unidade geográfica de tamanho médio, como de uma ilha, ou micro bacia hidrográfica; obtida pela contagem do número total de espécies dentro de uma área (IBGE, 2007);
- Épsilon – diversidade de uma ampla região, como um bioma, ou bacia hidrográfica de um grande rio, de 5ª ordem ou maior.

3.9.2 Índices de diversidade α

A diversidade alfa é determinada pela contagem do número de espécies e do número de indivíduos de cada espécie, ou por meio de curvas de dominância acumulada para as espécies amostradas (IBGE, 2007).

RIQUEZA DE ESPÉCIES

A riqueza de espécies é representada somente pelo número de espécies presentes num ecossistema. Comparações entre a riqueza de espécies de duas comunidades é válida se a intensidade amostral em cada uma tenha sido tal que a curva de espécies por área tenha atingido estabilidade em seu máximo; caso contrário pode ser que não se tenha obtido o número total verdadeiro de espécies das comunidades para realizar a comparação.

ABUNDÂNCIA RELATIVA DE ESPÉCIES

Representa a percentagem de indivíduos de cada espécie sobre o número total de indivíduos. É a equitabilidade da espécie ou uniformidade da abundância entre espécies.

ÍNDICE DE BERGER-PARKER

O índice de diversidade de Berger-Parker é uma medida de dominância que expressa a importância proporcional da espécie mais abundante (Newton, 2007), sendo definido pela equação:

$$d = \frac{N_{\max}}{N}$$

onde: d = dominância da espécie considerada; N_{\max} = número de indivíduos da espécie mais abundante; N = número total de indivíduos de todas as espécies.

ÍNDICE DE ENTROPIA DE RÉNYI

Entropia estatística é a medida da quantidade de incerteza que há num lote de dados.

Alfred Rényi desenvolveu um índice de entropia de ordem α , generalizando o índice de entropia de Shannon e o índice de divergência de Kullback-Leibler, criando um índice de diversidade serial amplo.

A riqueza de espécies, o índice de Shannon, o índice de Simpson, e o índice de Berger-Parker podem ser classificados como casos particulares da entropia de Rényi (RÉNYI, 1961, *apud* Bhamidipati, 2009). A entropia de Rényi de ordem α , onde $\alpha \geq 0$, é definida como:

$$H_{\alpha} = \frac{1}{1 - \alpha} \log \sum_{i=1}^S \varphi_i^{\alpha}$$

Onde: $\varphi_i = n_i/N$, ou fração de indivíduos da espécie i; $\alpha = 0, 1, 2, 3, \dots, \infty$.

ÍNDICE DE DIVERSIDADE DE SHANNON-WIENER

O índice de diversidade categórica de Shannon-Wiener é o mais utilizado (Newton, 2007), podendo ser calculado por:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \varphi_i \cdot \ln \varphi_i$$

onde: $\varphi_i = n_i/N$, ou fração de indivíduos que pertencem à espécie i; n_i = número de indivíduos amostrados para a espécie i; S = número de espécies amostradas; N = número total de indivíduos amostrados de todas as espécies.

O Índice de Shannon considera que os indivíduos são amostrados ao acaso a partir de uma população infinita de distribuição aleatória; considera que todas as espécies existentes na comunidade estejam representadas na amostra, o que geralmente não ocorre, sendo uma fonte de erro do método (Magurran apud UFSM/SEMA-RS, 2003). Apesar disso, é o mais utilizado em fitossociologia, sendo recomendado para comparação com outras comunidades florestais. Quanto maior o valor de H' , maior a diversidade florística. O valor médio situa-se entre 1,5 e 3,5; abaixo de 1,5 pode ser considerado baixo e, acima de 3,5, é alto, sendo que raramente é maior do que 4,5. É sensível à presença de espécies de fraca cobertura.

ÍNDICE DE DIVERSIDADE DE BRILLOUIN

É um índice semelhante ao índice de Shannon-Wiener (BARROS, 2007), sendo calculado por:

$$HB = (\ln N! - \sum_{i=1}^S \ln n_i!) / N$$

Onde: HB = índice de diversidade de Brillouin, n_i = número de indivíduos da espécie i ; S = número de espécies; N = número total de indivíduos de todas as espécies.

QUOCIENTE DE MISTURA DE JENTSCH

Este índice mede a diversidade da população (UBIALLI, 2007), sendo calculado por:

$$QM = \frac{S}{N}$$

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

Quanto mais próximo de 1 (um) o valor de QM, mais diversa é a população. O valor de QM pode ser apresentado em forma de proporção, ou seja, executando-se a

inversão da expressão original N/S, apresentando-se o resultado na forma de proporção do número de indivíduos em relação ao número de espécies para cada parcela e para o total.

ÍNDICE DE UNIFORMIDADE DE PIELOU

É um índice que mede a uniformidade entre comunidades (PIELOU, 1977), sendo calculado pela expressão:

$$C = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Onde: C = índice de uniformidade de Pielou; $\ln(S) = H_{\max}$ = diversidade máxima; S = número de espécies amostradas = riqueza.

O valor de C tem amplitude entre 0 e 1, onde 1 representa a máxima diversidade, ou seja, todas as espécies são igualmente abundantes.

ÍNDICE DE SIMPSON

Edward Hugh Simpson desenvolveu um índice de diversidade para os ecossistemas que indica a probabilidade de dois indivíduos colhidos aleatoriamente numa população pertencerem à mesma espécie (Newton, 2007), sendo calculado por:

$$D = \sum p_i^2$$

Onde: D = diversidade de Simpson; p_i = proporção de indivíduos da espécie i.

Para comunidade finita deve-se utilizar a seguinte equação:

$$D = \sum \left(\frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

Onde: n_i = número de indivíduos da espécie i; N = número total de indivíduos; $0 \leq D \leq 1$.

À medida que D aumenta, decresce a diversidade. Assim, o índice de Simpson é expresso normalmente como $1/D$. É sensível à presença de espécies com elevada cobertura.

3.9.3 Índices de diversidade β

As medidas de diversidade β , ou medidas de diferencial de diversidade, descrevem o quanto às comunidades são distintas (ou similares) em termos de composição de espécies. Ao se comparar duas comunidades distintas, a diversidade β é tanto maior quanto menor o número de espécies que ocorrem em ambas. Para sua obtenção é necessário garantir a suficiência amostral com a construção da curva espécie-área e realizar o cálculo de índices de similaridade entre unidades amostrais (IBGE, 2007). Os índices de diversidade β entre pares de comunidades podem ser qualitativos ou quantitativos.

São exemplos de medidas de diversidade β os índices de Jaccard e Sørensen, Morisita-Horn e Whittaker, descritos a seguir, e as medidas de Cody, Routledge, Wilson e Shmida. Os coeficientes de similaridade são medidas bastante úteis para comparação de três comunidades ou mais, permitindo verificar quais são as mais similares (ou dissimilares). Os índices são calculados para cada par de comunidades e os resultados podem ser comparados.

Ao se comparar um grande número de comunidades ou gradientes simultaneamente a determinação da diversidade β deve ser realizada por meio de análise de agrupamento.

SIMILARIDADE ENTRE COMUNIDADES

Os índices de similaridade são usados para comparar a flora de duas ou mais comunidades vegetais, indicando o grau de semelhança entre elas. O conceito de

similaridade entre comunidades vegetais foi desenvolvido por diversos pesquisadores, com diferentes interpretações subjetivas, até que começou a ser expresso matematicamente em função do número de espécies comuns entre duas comunidades, ou na forma inversa, expressando a dissimilaridade pelo número de espécies diferentes que ocorrem na primeira e não ocorrem na segunda comunidade. Podem ser distintos dois grupos de índices de similaridade: os taxonômicos e os biocenóticos. Os primeiros consideram somente a presença ou ausência de cada espécie em cada comunidade, enquanto os biocenóticos levam em consideração a quantidade de indivíduos de cada espécie presentes em cada biocenose.

Entre os índices de similaridade taxonômicos mais conhecidos e utilizados estão o de Jaccard e o de Sørensen. Entre os biocenóticos estão o de Czekanowski e o de Morisita-Horn.

ÍNDICE DE SIMILARIDADE DE JACCARD

O índice de similaridade de Jaccard é simples, sendo expresso somente pela percentagem de espécies comuns a duas comunidades em relação ao somatório de espécies presentes independentemente em ambas (Mueller-Dombois e Ellenberg, 1974). O coeficiente de comunidade de Jaccard é calculado pela equação:

$$IS_j = 100 \cdot c / (a + b + c)$$

Onde: a = número de espécies existentes na comunidade A e ausentes na comunidade B; b = número de espécies existentes na comunidade B, e ausentes na comunidade A; c = número de espécies comuns a ambas as comunidades.

É comum encontrar a equação anterior reescrita da seguinte maneira e dando o mesmo resultado:

$$IS_j = 100 \cdot c / (A + B - c)$$

Onde: A = número total de espécies existentes na comunidade A; B = número total de espécies existentes na comunidade B; c = número de espécies comuns a ambas as comunidades.

ÍNDICE DE SIMILARIDADE DE SØRENSEN

Entre os muitos índices de similaridade derivados ou inspirados no de Jaccard, o mais conhecido é provavelmente o de Sørensen. É um índice qualitativo que se baseia na presença ou ausência das espécies (Mueller-Dombois e Ellenberg, 1974), sendo calculado por:

$$IS_s = 100 \cdot c / (1/2) \cdot (A+B)$$
$$\text{ou, } IS_s = 200 \cdot c / (A+B)$$

Onde: A = número total de espécies existentes na comunidade A; B = número total de espécies existentes na comunidade B; c = número de espécies comuns a ambas as comunidades.

O índice pode ser expresso como dissimilaridade, ou Coeficiente de Distância (CD_s), pela seguinte equação:

$$CD_s = 100 - IS_s = 100 - \{ 200 \cdot c / (A+B) \}$$

ÍNDICE DE SIMILARIDADE DE CZEKANOWSKI

O índice de Czekanowski é semelhante ao de Jaccard, entretanto utiliza dados qualitativos e quantitativos, variando entre 0 (dissimilaridade absoluta) a 1 (similaridade absoluta) (IBGE, 2007).

O índice de Czekanowski (HENRIQUES *et al.*, 1996) é calculado por:

$$IS_c = 2 \cdot \min(x_i, i) / (x_i + i)$$

Onde: $\min(x_i, i)$ = menor número de indivíduos para as espécies encontradas em ambas as comunidades; x_i e i = número de indivíduos da espécie "i" encontrados nas duas áreas.

$$PS_{1,2} = \frac{2 \sum_{i=1}^N \min(X_{i1}, X_{i2})}{\sum_{i=1}^N (X_{i1} + X_{i2})}$$

Onde: X_{i1} e X_{i2} = número indivíduos da espécie i nas comunidades 1 e 2, respectivamente; $\min(X_{i1}, X_{i2})$ = mínima quantidade da espécie i comum a ambas as comunidades.

Ou, considerando-se as proporções do número de espécies:

$$PS'_{1,2} = \sum_{i=1}^N \min(Y_{i1}, Y_{i2})$$

Onde: $Y_{i1} = X_{i1} / \sum_{i=1}^N X_{i1}$; $Y_{i2} = X_{i2} / \sum_{i=1}^N X_{i2}$.

ÍNDICE DE MORISITA-HORN

Este índice é pouco influenciado pelo tamanho da unidade amostral e pela riqueza de espécies, apresentando boa aproximação do grau de dispersão (BARROS, 2007; HENDERSON, 2003, *apud* Newton, 2007). O índice de Morisita-Horn é mais complexo que os de Jaccard e Sørensen e considera a abundância das espécies, sendo calculado pela equação:

$$C_H = \frac{2 \cdot \sum X_{ij} \cdot X_{ik}}{\left[\left(\frac{\sum X_{ij}^2}{N_j^2} \right) + \left(\frac{\sum X_{ik}^2}{N_k^2} \right) \right] \cdot N_j \cdot N_k}$$

Onde: C_H = índice de Morisita-Horn; X_{ij} = número de indivíduos da espécie i na comunidade j ; X_{ik} = número de indivíduos da espécie i na comunidade k ; N_j = número total de indivíduos na comunidade j ; N_k = número total de indivíduos na comunidade k .

A percentagem de similaridade é calculada por:

$$P = 100 - 0,5 \sum_{i=1}^S (P_{ai} - P_{bi})$$

Onde: P = porcentagem de similaridade; P_{ai} = abundância percentual da espécie i na comunidade a; P_{bi} = abundância percentual da espécie i na comunidade b; S = número total de espécies.

O coeficiente de similaridade varia de 0, quando não há uma só espécie comum entre as comunidades, até 1, quando todas as espécies que ocorrem na comunidade 1 estão presentes na comunidade 2 e vice-versa. A similaridade tende a diminuir quando a abundância de espécies é considerada, caso deste índice.

MEDIDA DE WHITTAKER

A medida de Whittaker (Newton, 2007), como os coeficientes de similaridade, tem o objetivo de avaliar o quanto à composição de espécies muda ao longo de um gradiente ou transecto, sendo obtida pela equação:

$$\beta_w = \left(\frac{S}{\alpha} \right) - 1$$

Onde: β_w = medida de Whittaker; S = número total de espécies; α = número médio de espécies por unidade amostral.

3.9.4 Diversidade por agrupamento

A análise de agrupamento é realizada por meio de uma matriz de similaridade (ou dissimilaridade) de pares de amostras (Barros, 2007). Geralmente é realizada para agrupar unidades amostrais ou comunidades semelhantes com a intenção de definir as diferentes associações presentes na área de levantamento. As unidades de maior similaridade são combinadas formando grupos, originando um dendrograma. Um exemplo de levantamento fitossociológico é apresentado na Tabela 9, com cinco unidades amostrais. Foi utilizado o índice de Jaccard para determinar o coeficiente de dissimilaridade, cuja matriz está na Tabela 10. Na Figura 25 é apresentado o

dendrograma resultante. Os grupos são formados com as unidades de menor dissimilaridade.

Tabela 9- Matriz de ocorrência (1) ou ausência (0) de espécies por unidade amostral (Locais).

LOCAIS	ESPÉCIES											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Local 1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1
Local 2	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0
Local 3	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
Local 4	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
Local 5	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1

Tabela 10 - Matriz de dissimilaridade de Jaccard (ou distâncias de Jaccard)

	Local1	Local2	Local3	Local4	Local5
Local1	0.00000
Local2	0.75000	0.00000	.	.	.
Local3	0.50000	0.66667	0.00000	.	.
Local4	0.66667	0.55556	0.81818	0.00000	.
Local5	0.40000	0.70000	0.37500	0.83333	0

O Programa SAS para análise é apresentado na Figura 24 a seguir:

```

DATA A;
  INPUT LOCAL $6. SP1 SP2 SP3 SP4 SP5 SP6 SP7 SP8
SP9 SP10 SP11 SP12;
CARDS;
LOCAL1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1
LOCAL2 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 0
LOCAL3 0 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0
LOCAL4 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 0
LOCAL5 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 1
;
PROC DISTANCE DATA=A METHOD=DJACCARD ABSENT=0
OUT=DISTJACC;
  VAR ANOMINAL (SP1--SP12);
  ID LOCAL;
PROC PRINT DATA=DISTJACC;
  TITLE1 "MATRIZ DE DISTANCIAS DE JACCARD";
  ID LOCAL;

GOPTIONS VSIZE=6IN HTEXT=3PCT HTITLE=3PCT;

AXIS1 ORDER=(0 TO 1 BY 0.1);
PROC CLUSTER DATA=DISTJACC METHOD=WARD SIMPLE
TREE=TREE PRINT=14;
  TITLE1 'AGRUPAMENTO DAS UNIDADES PELO METODO DE
WARD';
  TITLE2 'EM FUNCAO DA DISTANCIA DE JACCARD';
  ID LOCAL;
  VAR LOCAL1-LOCAL5;
PROC TREE DATA=TREE NCLUSTERS=14 GRAPHICS
HAXIS=AXIS1;
RUN;
QUIT;

```

Figura 24 – Programa SAS (v. 9) para análise de agrupamento.

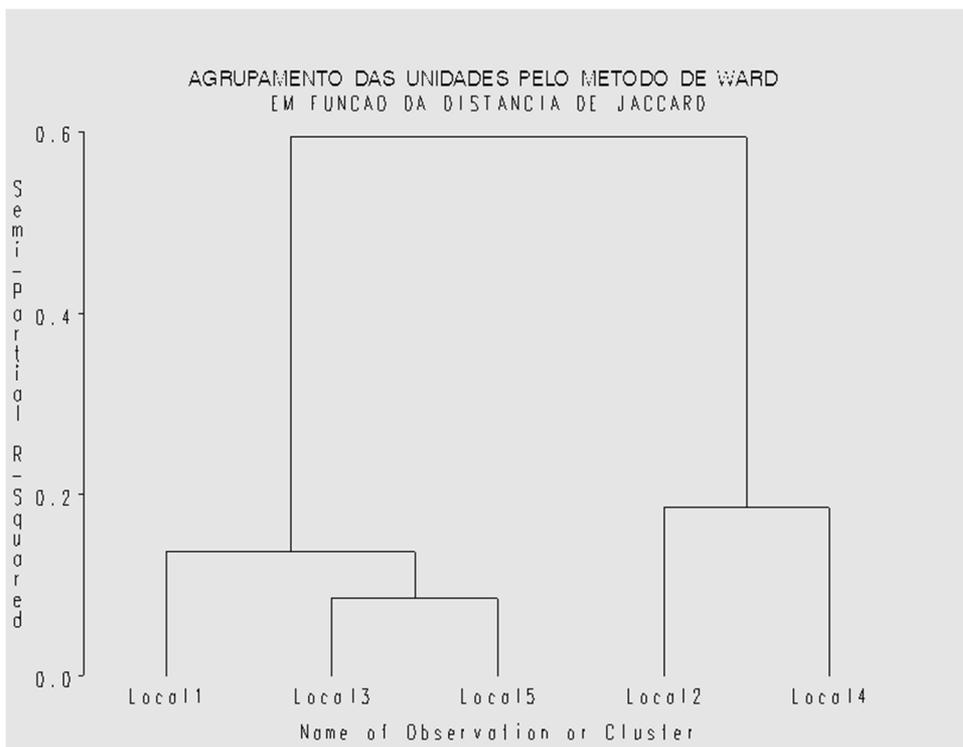


Figura 25- Agrupamento, pelo método de Ward, dos locais (unidades amostrais) em função da matriz de distâncias de Jaccard.

Entre outras medidas utilizadas para análise de agrupamento está a Distância Euclidiana (DE) (GARCIA e LOBO-FARIA, 2007), considerada um índice quantitativo, calculado por:

$$DE = \sqrt{(x^2+y^2)}$$

Onde: DE = Distância Euclidiana; x = diferença entre a abundância da espécie A e a espécie B na comunidade ou unidade amostral 1; y = diferença entre a abundância da espécie A e a espécie B na comunidade ou unidade amostral 2.

AGREGAÇÃO DAS ESPÉCIES

Os índices de agregação estimam o padrão de distribuição espacial dos indivíduos de cada espécie numa comunidade (Figura 26). Entre eles, encontram-se os índices de MacGuinnes, de Fracker e Brischle e o de Payandeh.

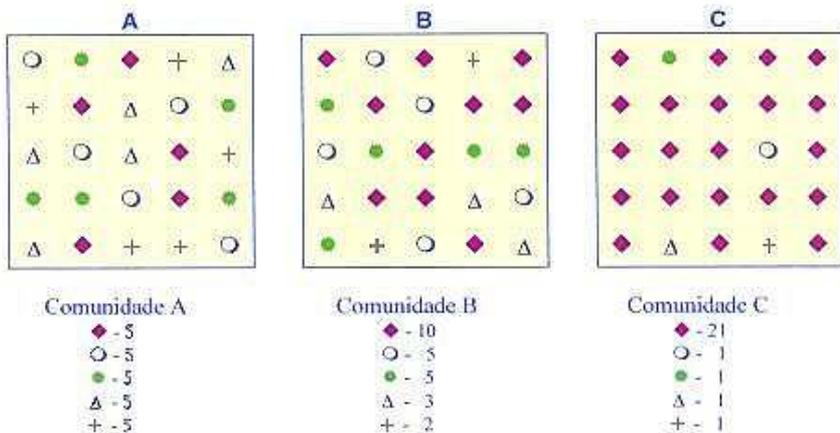


Figura 26- Padrões de distribuição horizontal de espécies em diferentes comunidades. Fonte: IB-USP (2009).

ÍNDICE DE AGREGAÇÃO DE MACGUINNES

Este índice estima o grau de agregação da espécie tomando por base as densidades observada (D_i) e esperada (d_i), sendo calculado por:

$$IGA_i = D_i / d_i$$

Onde: IGA_i = índice de agregação da espécie i ; $D_i = n_i / u_t$ = densidade observada da espécie i ; $d_i = - \ln (1-f_i)$ = densidade esperada da espécie i ; $f_i = u_i / u_t$ = frequência observada da espécie i ; n_i = número de indivíduos da espécie i ; u_i = número de unidades amostrais em que a espécie i ocorre; u_t = número total de unidades amostrais.

A distribuição dos indivíduos das espécies é classificada como:

- $IGA_i < 1$ – distribuição uniforme;
- $IGA_i = 1$ – distribuição aleatória;
- $1 < IGA_i \leq 2$ – distribuição com tendência ao agrupamento;
- $IGA_i > 2$ – distribuição agregada ou agrupada.

ÍNDICE DE FRACKER E BRISCHLE

Estima a forma da distribuição espacial das espécies (UBIALLI, 2007), sendo expresso pela equação:

$$K_i = (D_i - d_i) / d_i^2$$

Onde: K_i = índice de de agregação de Fracker e Brischle para a espécie i ; D_i = densidade observada da espécie i ; d_i = densidade esperada para a espécie i .

A classificação do padrão de distribuição espacial dos indivíduos das espécies obedece a seguinte escala:

- $K_i \leq 0,15$ - distribuição aleatória;
- $0,15 < K_i \leq 1,0$ - tendência ao agrupamento;
- $K_i > 1$ - distribuição agregada ou agrupada.

ÍNDICE DE PAYANDEH

Estimando-se este índice obtém-se o grau de agregação da espécie por meio da relação entre a variância do número de árvores por parcela (PAYANDEH, 1970), e a média do número de árvores:

$$P_i = \frac{S_i^2}{\bar{n}_i}$$

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^n n_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n n_i\right)^2}{n}}{n-1} \quad e \quad \bar{n}_i = \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{n}$$

Onde: P_i = Índice de Payandeh para a espécie i ; S_i^2 = variância do número de árvores da espécie i ; n_i = número de árvores da espécie i na parcela j ; \bar{n}_i = média do número de árvores da espécie i ; n = número total de árvores da espécie i .

A classificação do padrão de distribuição espacial dos indivíduos das espécies obedece a seguinte escala:

- $P_i < 1$ – distribuição aleatória ou não-agrupamento;
- $1 \leq P_i \leq 1,5$ – tendência ao agrupamento;
- $P_i > 1,5$ – distribuição agregada ou agrupada.

ÍNDICE DE FIDELIDADE

Uma espécie fiel é aquela que só ocorre em determinado tipo de comunidade. Fidelidade pode ser definida, portanto, como o nível de restrição da ocorrência de uma espécie a determinada comunidade. As espécies que ocorrem em determinada comunidade e não ocorrem ou têm ocorrência muito pequena em outras, são chamadas de espécies características, e são consideradas fiéis a tal comunidade. Assim como há plantas que vivem restritas a determinados solos ou climas, há também as estritamente confinadas a certas comunidades. Espécies de fidelidade absoluta são denominadas de exclusivas.

É possível então definir grupos de vegetais caracterizados pela fidelidade de espécies características pelo fato de que estas espécies só estão presentes em um ou mais grupos (onde seu grau de presença não é necessariamente grande) e ausentes em todos os outros.

Para que os valores da fidelidade sejam exatos, são importantes o reconhecimento e classificação da comunidade. Só devem ser usadas áreas de vegetação em estado de desenvolvimento completo. Áreas queimadas, inundadas ou sujeitas a recentes intervenções humanas apresentam mudanças na vegetação, ocorrendo aí associações ecologicamente instáveis e não representativas da comunidade original, devendo-se evitar sua classificação por meio da fidelidade estatística.

A Escola de Zurich-Montpellier reconhece cinco graus de fidelidade:

- Espécies exclusivas - aparecem restritas a determinadas comunidades, em uma região geográfica particular;
- Espécies seletivas - encontradas especialmente em uma comunidade, podendo ocorrer ocasionalmente em outra;
- Espécies preferenciais - presentes em várias comunidades, mas predominantes em uma delas;

- Espécies indiferentes ou companheiras – não apresentam afinidade especial por um tipo de comunidade;
- Espécies estranhas ou acidentais – são raras em uma comunidade particular.

A fidelidade é determinada pela presença de cada espécie nas unidades amostrais representativas das diferentes comunidades.

Segundo Matteucci (1982), Goodall propôs uma técnica para se definir quantitativamente a fidelidade. O grau de fidelidade se define como a diferença das frequências da espécie em ambas as comunidades expressa na proporção da menor frequência:

$$F = \frac{\frac{a}{a+c} - \frac{b}{b+d}}{\frac{b}{b+d}} = \frac{a(b+d)}{b(a+c)} - 1$$

Onde: a,b,c,d = unidades amostrais de duas comunidades A e B que se quer comparar; a=espécie x presente em A; b=espécie x presente em B; c=espécie x ausente em A; e d=espécie x ausente em B.

Quando $F=0$ a espécie é presente (em igual frequência) em ambas as comunidades; quando F tende a infinito a espécie está confinada à comunidade A, ou seja, é fiel a A.

Segundo Braun-Blanquet são muito mais abundantes as espécies que não se limitam a determinadas áreas, pois não estão sociologicamente restritas a certas comunidades vegetais. O estreito confinamento social das espécies características são o resultado de causas tais como:

- mutações benéficas que possibilitaram maior vitalidade de certas populações representantes de algumas espécies separadas por isolamento geográfico ou por formação de pequenas comunidades de reprodução, fazendo com que tais populações se tornassem fiéis a uma comunidade, podendo estas populações se especiarem até constituir novas espécies endêmicas;

- isolamento geográfico permitindo uma endogamia persistente das espécies fazendo com que estas perdessem a capacidade de variação e expansão (disseminação) devido ao estreitamento das relações bióticas e abióticas na área (adaptações a condições físico-químicas do habitat, parasitismo, competição, etc.);
- algumas espécies podem ser generalistas em certos locais, mas apresentarem características exclusivistas em outras regiões, pois só nestas áreas podem satisfazer suas necessidades vitais;
- ausência de comunidades afins entre as grandes zonas fitogeográficas;
- algumas espécies que poderiam se desenvolver bem em determinadas áreas não o fazem, pois existe espécie melhor adaptada (competição).

ÍNDICE DE EQUITABILIDADE

Este índice é obtido a partir do índice de Shannon. Traduz a relação entre a diversidade real e a diversidade máxima teórica. O cálculo é realizado com a equação:

$$J = H' / H' \text{ máx}$$

$$= - \sum_{i=1}^S \pi_i \cdot \ln \pi_i$$

Onde: J = índice de equitabilidade; H' = índice de Shannon ;
H' máx = valor máximo do índice de Shannon; $\pi_i = n_i/N$, ou fração de indivíduos que pertencem à espécie i; n_i = número de indivíduos amostrados para a espécie i; S = número de espécies amostradas; N = número total de indivíduos amostrados de todas as espécies.

O valor do índice varia entre 0 e 1. Quanto mais próxima de 1 maior a equitabilidade mais equilibrada é a distribuição de espécies na comunidade.

Valores próximos de 0 significam que todos ou quase todos os indivíduos são da mesma espécie.

3.9.5 Estrutura Horizontal

O estudo da estrutura horizontal de uma comunidade vegetal tem como principal objetivo determinar a importância fitossociológica de cada espécie tomando por base as variáveis densidade, frequência e dominância, que são utilizadas no

cálculo do índice de cobertura de cada espécie e do seu valor de importância na comunidade.

DENSIDADE

A densidade total de uma determinada comunidade é a expressão do número total de indivíduos nela existente em relação à área total considerada (UBIALLI, 2007), sendo calculada por:

$$DT = 10000 \cdot N / A$$

Onde: DT = densidade total da comunidade; N = número total de indivíduos da comunidade; A = área total da comunidade em m².

A densidade de uma espécie numa comunidade nada mais é do que o número de indivíduos por unidade de área, sendo calculada por:

$$DA_s = 10000 \cdot n_s / A$$

Onde: DA_s = densidade absoluta da espécie s; n_s = número de indivíduos da espécie s; A = área considerada em m².

As espécies podem ser classificadas com relação à densidade, em níveis de abundância, como segue:

- espécie muito rara - <1%;
- espécie rara – de 1% a <5%;
- espécie ocasional – de 5% a <25%;
- espécie abundante – de 25% a <75%;
- espécie muito abundante – 75% ou mais.

A densidade, quando expressa em porcentagem, compõe o índice de densidade relativa da espécie, sendo calculada pela expressão:

$$DR_s = 100 \cdot DA_s / DT$$

Onde: DR_s = densidade relativa da espécie s; DA_s = densidade absoluta da espécie s; DT = densidade total da comunidade.

FREQUÊNCIA

A avaliação da ocorrência de uma espécie ao longo de toda uma comunidade é realizada por amostragem, locando-se unidades amostrais de forma sistemática ou aleatória sobre a sua área. A frequência com que determinada espécie ocorre nas várias unidades amostrais é um indicador da uniformidade da sua distribuição espacial na comunidade em estudo. Se a espécie se dispersa homogêaneamente, tenderá a aparecer em grande número de unidades amostrais. Quanto mais heterogênea for a sua distribuição, menor deverá ser o número de unidades amostrais em que irá aparecer e vice-versa. A frequência absoluta de uma espécie em uma comunidade é simplesmente o número de unidades amostrais em que foi encontrada (UBIALLI, 2007), como segue:

$$FA_s = U_s$$

Onde: FA_s = frequência absoluta da espécie s ; U_s = número de unidades amostrais com presença da espécie s .

Não existe muito sentido nesse índice, pois quanto menores as unidades amostrais e maior a intensidade de amostragem, tanto maior o valor encontrado. Portanto, deve ser expresso sempre em percentagem de unidades amostrais em que a espécie ocorre em relação ao número total de unidades que compõem a amostra, podendo ser calculado pela seguinte equação:

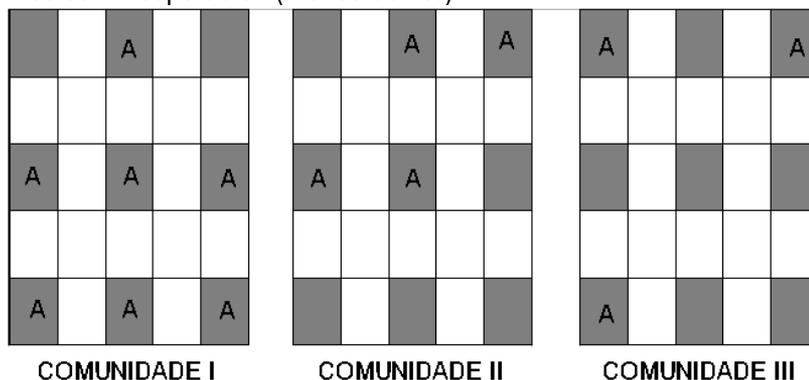
$$FR_s = FA_s / U$$

Onde: FR_i = frequência relativa da espécie s ; FA_s = frequência absoluta da espécie s (ou nº de unidades amostrais em que a espécie s ocorre); U = número total de unidades amostrais.

Na Figura 27 há três comunidades em que a espécie "A" ocorre, sendo que na comunidade I a distribuição é mais uniforme do que nas comunidades II e III, cujas frequências absolutas são, respectivamente, 7, 4 e 3 e os correspondentes índices de frequência relativa são 77,8%, 44,4% e 33,3%.

Braun-Blanquet (1979) criou a tabela de frequência a seguir:

- ou VI – quase sempre presente (entre 80-100%);
- 4 ou V - presente na maioria das vezes (60-80%);
- 3 ou IV – presente frequentemente (40-60%);
- 2 ou III – pouco frequente (20-40%);
- 1 ou II - rara (2-20%);
- ss ou I - esporádica (menos de 2%).



LEGENDA: UNIDADES AMOSTRAIS
A OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE "A"

Figura 27 - Ocorrência da espécie "A" nas unidades amostrais de 3 comunidades de mesmo tamanho.

DOMINÂNCIA

A dominância expressa a ocupação do espaço por determinada espécie. Devido à alta correlação que a área transversal do tronco à altura do peito apresenta com a ocupação total de espaço por uma árvore, convencionou-se usar esta variável para representar a dominância de espaço. A soma das áreas transversais de todas as árvores de uma espécie por unidade de área representa a dominância absoluta (DoA) de uma espécie sobre as demais em determinada comunidade (UBIALLI, 2007).

O percentual da dominância absoluta de uma espécie sobre a área basal total é a sua dominância relativa (DoR). Para o cálculo, usam-se as equações a seguir:

$$DoA = \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{n_j} g_{i,s}}{\sum_{p=1}^P Area_p} = G$$

Onde: DoA = G = dominância absoluta de todas as árvores de todas as espécies em m²/ha, ou área basal por unidade de área em m²/ha; g_{i,s} = área basal da árvore i da espécie s; S = número total de espécies; n_s = número de árvores da espécie s; Área_p = superfície da unidade amostral p em hectares (ha); P = número total de unidades amostrais.

$$DoA_s = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{Área_p}$$

Onde: DoA_s = dominância absoluta da espécie s em m²/ha na unidade amostral p; g_i = área basal da árvore i em m²/ha; Área = superfície da unidade amostral p em hectares (ha).

$$DoR_s = \frac{100 \cdot DoA_s}{DoA}$$

Onde: DoR_s = dominância relativa da espécie s; DoA_s = dominância absoluta da espécie s em m²/ha; DoA = dominância absoluta de todas as espécies em m²/ha.

VALOR DE COBERTURA

A cobertura é representada pela superfície ocupada pelos indivíduos em relação à área total considerada, expressa em percentagem. Pode ser medida ou estimada. Segundo Dansereau (1946), a cobertura pode ser determinada por diversas formas, entre elas: pela densidade, volume, área basal e número de indivíduos. O mesmo autor recomenda que deve ser estimada independentemente para cada sinúsia. A cobertura é expressa em percentagem e o total de uma sinúsia raramente chega a 100% de cobertura.

Para estimar o valor do índice de cobertura de uma espécie, soma-se a densidade e a dominância relativa da mesma numa comunidade vegetal. Este valor é

considerado por alguns fitossociologistas como o mais importante de uma espécie por expressar a sua ocorrência e dominância em relação às demais (UBIALLI, 2007). O valor de cobertura varia, portanto entre 0 e 200%, sendo calculado por:

$$VC_s = DR_s + DoR_s$$

onde: VC = valor de cobertura da espécie s; DR = densidade relativa da espécie s; DoR = dominância relativa da espécie s.

É considerada medida de abundância, quando a determinação da densidade não é possível (caso das gramíneas e espécies estoloníferas). Braun-Blanquet (1979) desenvolveu uma escala de cobertura de seis níveis, como segue:

- = contínua ou dominante - mais de 75% de cobertura;
- 4 = frequente ou interrompida - 50 a 75% de cobertura;
- 3 = dispersa ou comum - 25 a 50%;
- 2 = rara - 11 a 25%;
- 1 = muito rara - 1 a 10%;
- + = esporádica - menos de 1%.

Quando a vegetação é estruturada em estratos verticais, é necessário determinar a cobertura por estrato. Esta metodologia é recomendada para unidades amostrais de até 10 m²; em unidades maiores onde a diversidade é grande, é difícil estimar o valor de cobertura, exceto com auxílio de aerofotos em escala grande. Deve-se atentar para o fato de que em vegetação sazonal a cobertura pode variar de uma época do ano para outra.

Quando o inventário é realizado em parcelas de área fixa, pode-se utilizar o método direto para cálculo da cobertura, medindo-se a superfície das copas das árvores, ou de forma indireta, estimando a percentagem de cobertura em função de pontos distribuídos de forma aleatória ou sistemática sobre a comunidade em estudo e determinando a ocorrência ou não de cada espécie em cada ponto. Este último método é útil principalmente quando não se pode identificar os indivíduos

separadamente, como no caso das espécies estoloníferas e gramíneas, no levantamento de vegetação herbácea.

ÍNDICE DE ABUNDÂNCIA

O valor da abundância é estimado para cada espécie em cada unidade amostral (DANSEREAU, 1946), sendo classificado na escala da Tabela 11, da mais abundante para a menos abundante.

Tabela 11 - Escala de abundância

Nível	Abundância	Dominância	Cobertura
5	Muito abundante	Dominante pelo menos na sua sinúsia - formação pura ou quase	Maior valor de cobertura 81 a 100%
4	Abundante	Dominante ou subdominante	Grande cobertura 61 a 80%
3	Comum	Comum	Notável cobertura 41 a 60%
2	Frequente		Cobertura restrita 21 a 40%
1	Ocasional		Cobertura reduzida 1 a 20%
+	Rara		Cobertura insignificante 0,1%
-	Presente		Raros indivíduos <0,1%

VALOR DE IMPORTÂNCIA

O valor de importância ecológica de uma espécie numa comunidade vegetal é calculado pela soma do seu valor de cobertura e da sua frequência, como segue (UBIALLI, 2007):

$$VI_s = VC_s + FR_s$$

Onde: VI_s = valor de importância ecológica da espécie s ; VC_s = Valor de cobertura da espécie s ; FR_s = Frequência da espécie s .

3.9.6 Estrutura vertical

As espécies florestais podem formar diferentes arranjos horizontais que resultam em múltiplos arranjos verticais, dependendo do ambiente e da evolução da mesma ao longo do tempo. A vegetação tende a apresentar uma mesma estrutura, tanto horizontal quanto vertical, para uma mesma sucessão de eventos edafoclimáticos, mas a própria evolução da vegetação pode derivar em diferentes estruturas sob condições ambientais semelhantes. Há fatores de aleatorização que influenciam a formação da vegetação como a fauna, o vento e a chuva e, de outro lado há fatores limitantes como o microclima, a topografia, o solo (fertilidade, umidade e estrutura) e as características das próprias espécies.

Além de cada espécie ter um porte diferente da outra, ocupando estratos diferentes da vegetação (Figura 28), em determinadas situações uma espécie pode ter seu crescimento facilitado. Enquanto, noutras, pode ser prejudicado e embora presente em uma grande área existirão partes onde terá maior frequência e densidade devida a uma regeneração mais intensa, com crescimento mais vigoroso e porte mais alto, enquanto que, em outras, será menos densa e de menor porte, sofrendo mais com a competição das demais espécies. Isso faz com que, não só a estrutura horizontal varie de um local para outro, mas também a estrutura vertical. Portanto, o estudo e caracterização da vegetação implicam em descrição da sua estrutura vertical, além da horizontal, para seu perfeito entendimento.

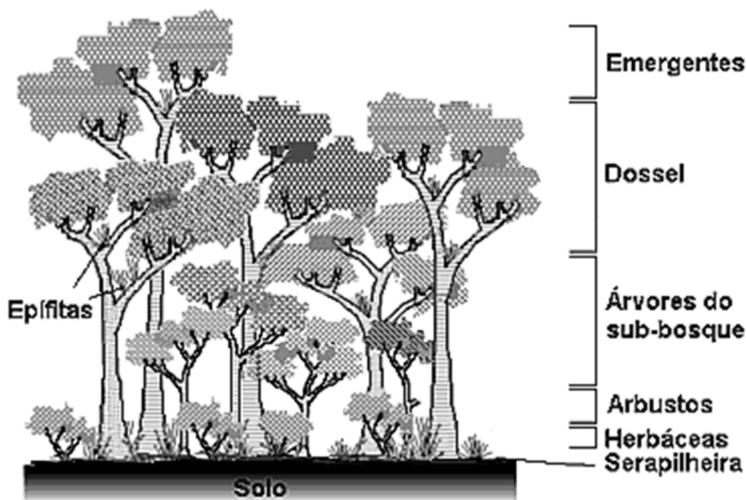


Figura 28- Estrutura vertical de uma comunidade florestal hipotética. Fonte: IB-USP (2009).

A ocupação do espaço vertical de uma espécie é definida como a sua posição sociológica na comunidade vegetal. Unindo-se a posição sociológica das espécies com as características de sua regeneração, tem-se um estudo completo da estrutura vertical de uma comunidade vegetal.

POSIÇÃO SOCIOLÓGICA

As diferentes espécies em diferentes estágios vitais presentes numa comunidade vegetal formam estratos verticais característicos resultantes da composição de espécies num determinado ambiente representando a sua estrutura vertical sociológica ou expansão vertical das espécies da floresta. Numa comunidade florestal natural, a posição sociológica de uma árvore é determinada pela expansão vertical em relação aos seus vizinhos, que pode ser descrita em três estratos arbóreos, segundo Schneider (2002):

- Estrato arbóreo superior - atinge as árvores cujas copas formam o dossel mais alto da floresta; compõe-se das copas emergentes;

- Estrato arbóreo médio - corresponde às árvores cujas copas se encontram abaixo do dossel mais alto, mas na metade superior do espaço ocupado pela vegetação; é o dossel principal das copas;
- Estrato arbóreo inferior - inclui as árvores cujas copas se encontram na metade inferior do espaço ocupado pela floresta; é composto pelas árvores e arbustos do sub-bosque.

Às vezes divide-se em 4 estratos, acrescentando-se um quarto estrato, abaixo do inferior, que pode ser uma das duas opções abaixo, para florestas nativas (sub-bosque) ou plantadas (dominadas), como a seguir:

- Sub-bosque - arbustos e pequenas árvores abaixo do estrato inferior; usa-se com florestas nativas em clímax ou avançado estágio de sucessão;
- Dominadas ou suprimidas – estrato abaixo do inferior composto por árvores pequenas, doentes, ou geneticamente inferiores que não conseguiram vencer a concorrência das demais; este tipo é utilizado mais comumente com florestas plantadas.

Matematicamente, separam-se as três classes empíricas por limites referentes a três classes de diâmetro, pois a altura das copas das árvores é de difícil medição em florestas naturais.

Tem-se aceito a teoria de que há espécies estáveis e instáveis numa comunidade vegetal. Entende-se por espécies estáveis aquelas presentes em todos os estratos verticais com uma distribuição de diâmetros formando uma curva exponencial negativa. As espécies consideradas instáveis são as que apresentam distribuição irregular de nos diferentes estratos verticais, sendo tanto mais instáveis quanto mais irregular a sua distribuição e menor a sua regeneração, pois tendem a não permanecer na composição da comunidade vegetal.

REGENERAÇÃO NATURAL

A regeneração natural de uma comunidade florestal pode ser entendida como todas as mudas de espécies arbóreas que ainda não atingiram o porte de árvore. Este é um limite que deve ser estabelecido de acordo com o porte da vegetação, mas, de uma forma geral, pode-se considerar como regeneração todas as árvores com menos de 5 cm de DAP. Deve-se considerar que as plantas com até 1,3 m de altura não possuem DAP e devem ser medidas em separado, criando duas classes de regeneração: a das plantas que podem ter seu DAP medido e as que não. Assim, para efeito prático, tem sido considerada a existência de pelo menos duas classes, como segue:

- Regeneração 1 – mudas de árvores e arbustos com até 1,5 m de altura;
- Regeneração 2 – mudas de árvores e arbustos com mais de 1,5 m de altura e menos de 5 cm de DAP.

Há situações em que o número de mudas de pequeno porte é muito grande e há necessidade de dividir a classe de Regeneração 1 em duas (Regeneração 1A e 1B, com até 0,75 m de altura e até 1,5 m de altura, respectivamente, por exemplo) para facilitar a amostragem, realizando-a em tamanhos diferentes de unidades amostrais para cada subclasse de regeneração (1,0 m² e 4,0 m², respectivamente, por exemplo). Nesse caso, a experiência tem mostrado que se deve ater para que as unidades amostrais possuam tamanho suficiente para conter mais de 20 indivíduos mensuráveis com a finalidade de que a distribuição da regeneração seja bem caracterizada.

A avaliação da regeneração de uma comunidade pode ser realizada pela densidade e pela frequência, da mesma forma que se faz para indivíduos adultos. Adicionalmente, é conveniente determinar a taxa de transferência ou ingresso de indivíduos das classes de menor para as classes de maior dimensão, utilizando-se

uma distribuição de classes de altura com igual intervalo. Um exemplo de como se pode realizar a determinação da taxa de ingresso é dado na Tabela 12, onde a razão entre a frequência de arvores entre as classes de maior e as de menor tamanho representa a taxa de plantas que se transferem de uma classe menor para outra maior (q), calculada como segue:

$$q = \frac{\sum_{c=1}^C \sum_{s=1}^S n_{s,c} / n_{s,(c-1)}}{C}$$

Onde: q = taxa de transferência das classes de menor para as de maior dimensão (razão média entre a frequência de árvores nas classes de altura de maior e de menor tamanho); C = número de classes de altura; c = número de ordem da classe de altura; S = número de espécies; s = número de ordem da espécie; n = número de arvores; $n_{s,c}$ = número de árvores da espécie s na classe c; $n_{s,(c-1)}$ = número de árvores da espécie s na classe c-1.

O índice "q" é tanto maior quanto maior o ingresso das classes de menor nas de maior dimensão e pode ser expresso em percentagem. O intervalo de classe de altura deve ser constante, como no exemplo da Tabela 12, para que se possa comparar uma comunidade com a outra.

Tabela 12- Razão de transferência de árvores das classes de menor para as de maior dimensão (dados hipotéticos).

Espécie (s)	Classe (c)	Altura (m)	n _{s,c}	q _{s,c}	q _c
A B C D	1	< 0,75	25 20 40 30	0,50 0,67 0,80 0,38	0,59
A B C D	2	≥ 0,75 e < 1,50	10 10 20 10	0,40 0,50 0,67 0,33	0,48
A B C D	3	≥ 1,50 e < 2,25	3 5 10 3	0,30 0,50 0,50 0,30	0,40
A B C D	4	≥ 2,25	1 3 5 0	0,33 0,60 0,50 0,00	0,36
Médias			n _s	q _s	q
A B C D			39 38 75 43	0,38 0,57 0,62 0,25	0,45
Total			195		

Nas comunidades em fase inicial de colonização há intensa germinação de sementes de espécies pioneiras, mas poucas sobrevivem e, das que sobrevivem, poucas conseguem se transferir para as classes de maior tamanho; assim, espera-se um valor baixo de q. Por outro lado, nas comunidades clímax, há pouca germinação de sementes no solo da floresta e uma grande parte das sementes germinadas consegue formar mudas que crescem e atingem as classes de maior dimensão, resultando numa maior taxa de transferência.

3.10 Crescimento

Estudar o crescimento das árvores tem como objetivo conhecer os diferentes fatores do meio (exógenos) e das próprias árvores (endógenos) que o influenciam, bem como o efeito dos diferentes tratamentos a que as mesmas são submetidas durante sua vida.

3.10.1 Fatores que afetam o crescimento

Os fatores exógenos que influenciam o crescimento são os fatores do meio, como a competição entre plantas, o solo, o clima, a altitude, a latitude e a topografia; enquanto que os fatores endógenos dizem respeito ao potencial genético, porte e idade da planta. Todos esses fatores irão influenciar a fisiologia das plantas e sua capacidade de crescer.

De acordo com Kramer e Kozlowski (1972) os processos e condições fisiológicas mais importantes relacionados ao crescimento são:

- Fotossíntese: a síntese de hidratos de carbono a partir de gás carbônico e água realizada pelas árvores na presença de luz supre os alimentos básicos para os demais processos;
- Metabolismo do nitrogênio: a incorporação do nitrogênio inorgânico em compostos orgânicos permite a posterior síntese de proteínas e do protoplasma das células;
- Metabolismo de gorduras: síntese de gorduras e compostos afins;
- Respiração: a oxidação promovida pela respiração, que ocorre na ausência de luz, libera a energia dos alimentos utilizada na assimilação, na absorção mineral e demais processos que consomem energia;
- Assimilação: é um processo fundamental no crescimento, responsável pela conversão dos alimentos em novo protoplasma, paredes celulares e outras substâncias;

- Armazenamento de alimentos: o armazenamento de amido e outras substâncias nutritivas nas células das sementes e estruturas lenhosas garante o suprimento alimento para a germinação e outros processos e em época de escassez;
- Acumulação de sal: pode ser prejudicial em níveis elevados, mas níveis moderados de sal, garantem ótimo crescimento, relacionado com a capacidade das células de acumularem íons no vacúolo, diminuindo a quantidade tóxica no citosol.
- Digestão: conversão de alimentos de forma complexa ou insolúveis (como o amido) em outras mais simples e solúveis que podem ser transportadas e usadas na respiração e outros processos;
- Absorção: é representada pela entrada de água, e minerais do solo e de oxigênio e gás carbônico do ar;
- Transporte: é a movimentação de água, ar, nutrientes e hormônios no interior das árvores.

Kramer e Kozlowski (1972) relacionam também os fatores do meio mais importantes em cada fase do crescimento, separando a vida das árvores em 5 estágios (Tabela 13): 1) germinação da semente; 2) estabelecimento de plântulas; 3) crescimento vegetativo; 4) reprodução; e, 5) decrepitude.

Tabela 13- Fatores do meio importantes por fase da vida das árvores

Fase de vida das árvores	Processos e condições	Fatores do meio mais importantes
Germinação da semente	Absorção de água Digestão Respiração Assimilação	Temperatura Água Oxigênio
Estabelecimento de plântulas	Fotossíntese Assimilação Transporte Equilíbrio hídrico interno	Luz Água Temperatura Substâncias nutritivas
Crescimento vegetativo	Fotossíntese Respiração Assimilação Transporte Equilíbrio hídrico interno	Luz Água Temperatura Substâncias nutritivas
Reprodução	Fotossíntese Equilíbrio C/N Predisposição floral Iniciação dos primórdios florais Acumulação de alimento	Luz Substâncias nutritivas Temperatura
Decrepitude	Desconhecidos (provavelmente água e relações hormonais, transporte e equilíbrio entre fotossíntese e respiração)	Água Substâncias nutritivas Pragas e doenças

Fonte: Kramer e Kozlowski (1972).

O crescimento das árvores se dá por adição de células. O embrião da semente contém os meristemas primários nas pontas da radícula e do caulículo; ambos são ativados por giberelinas que promovem o crescimento primário, também denominado de alongamento. O meristema primário ao iniciar a produção de células, inicia também o processo de diferenciação celular que possibilita a formação dos meristemas

secundários, ativados por auxinas e que promovem o crescimento secundário, ou engrossamento.

O crescimento das árvores é complexo e as variáveis biométricas podem ter seu crescimento descrito matematicamente para caracterização dos povoamentos e suas potencialidades produtivas. O crescimento em diferentes genótipos e ambientes, permitem selecionar e melhorar espécies para cada ambiente. Outras fases do manejo como o planejamento de desramas e desbastes dependem do conhecimento sobre o crescimento. O estudo do crescimento das árvores é imprescindível para o bom manejo das florestas de forma sustentada, servindo de base para o planejamento de todas as atividades produtivas florestais. Os fatores que influenciam o crescimento das árvores são relacionados na Figura 29 a seguir.

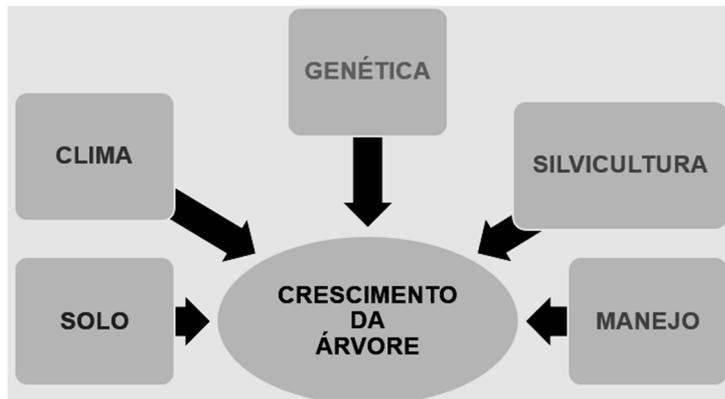


Figura 29- Fatores que influenciam o crescimento e a produção.

3.10.2 Representação matemática do crescimento

Praticamente todos os fenômenos naturais iniciam com uma velocidade lenta de crescimento que vai aumentando até certo ponto, quando atingem seu máximo;

então, passam a se desenvolver mais devagar até cessar o crescimento. As integrais matemáticas representam somas de fenômenos consecutivos e quando se procura representar graficamente o crescimento acumulado de um fenômeno natural, como o crescimento em altura das árvores, a curva tem a forma sigmoide semelhante ao símbolo de integração, que apresenta semelhança com a curva integral de crescimento, apresentada pela maioria dos fenômenos naturais.

3.10.3 Incrementos

O incremento é o crescimento ocorrido no valor da variável num determinado intervalo de tempo (Imanã et al., 2005) e pode ser calculado matematicamente como a derivada primeira da função de crescimento.

•O incremento pode ser diferenciado, dependendo do tempo transcorrido em que o crescimento é medido (anual, periódico, etc); o valor do incremento pode ser determinado para um indivíduo ou para uma população, podendo ainda ser expresso por unidade de área quando a variável medida também o for. Todas variáveis biométricas podem ter seu incremento medido; as mais comuns são: d, g, G, h, h_{dom} , v, e V.

TIPOS DE INCREMENTOS

Incremento corrente anual (ICA)

É o crescimento ocorrido entre o início da estação de crescimento e o final da estação de repouso vegetativo em um período de 12 meses, calculado como:

$$ICA = Y_{(t+1)} - Y_{(t)}$$

Onde: t = tempo, ano ou idade de referência; Y = dimensão considerada.

Incremento porcentual (p)

$$p = 100 \cdot (Y_{(t+1)} - Y_{(t)}) / Y_{(t+1)}$$

Incremento periódico (IP)

É o crescimento total ocorrido num determinado período de tempo:

$$IP = Y_{(t+n)} - Y_{(t)}$$

Onde: n = período de tempo; quando n = 1 ano, IP = ICA.

Incremento periódico anual (IPA)

É o crescimento médio por ano, ocorrido em um período de tempo, utilizado para espécies de crescimento lento:

$$IPA = (Y_{(t+n)} - Y_{(t)}) / n$$

Onde: Y = dimensão considerada; t=tempo, ano ou idade de referência; n = período de tempo em anos.

Incremento médio anual (IMA)

É o crescimento médio por ano até a data considerada, calculado por:

$$IMA = Y(t) / t$$

Onde: Y(t) = Valor da variável na idade considerada; t = idade.

3.10.4 Curva de crescimento

A curva de crescimento acumulado geralmente tem forma sigmoide e a área sob a curva é representada por uma função integral (Figura 30). Na juventude, o crescimento acelera e a curva é côncava, até o ponto de inflexão, quando o crescimento corrente anual (ICA) é máximo, ponto em que inicia a maturidade; depois o crescimento desacelera gradualmente e quando o crescimento médio anual (IMA) e o ICA se igualam, a curva forma uma tangente máxima com a origem, ponto em que

o IMA é máximo e inicia a senilidade. O ICA é a derivada primeira $[f'(t)]$ da curva de crescimento. O máximo da curva é representado pela sua assíntota. A idade (t) em que o IMA é máximo é considerada a idade de rotação técnica, pois é a idade em que ocorre a máxima produtividade e pode ser determinada igualando-se a derivada primeira $[ICA=f'(t)]$ com o incremento médio anual calculado por $[IMA=f(t)/t]$, através da equação: $t = f(t) / f'(t)$

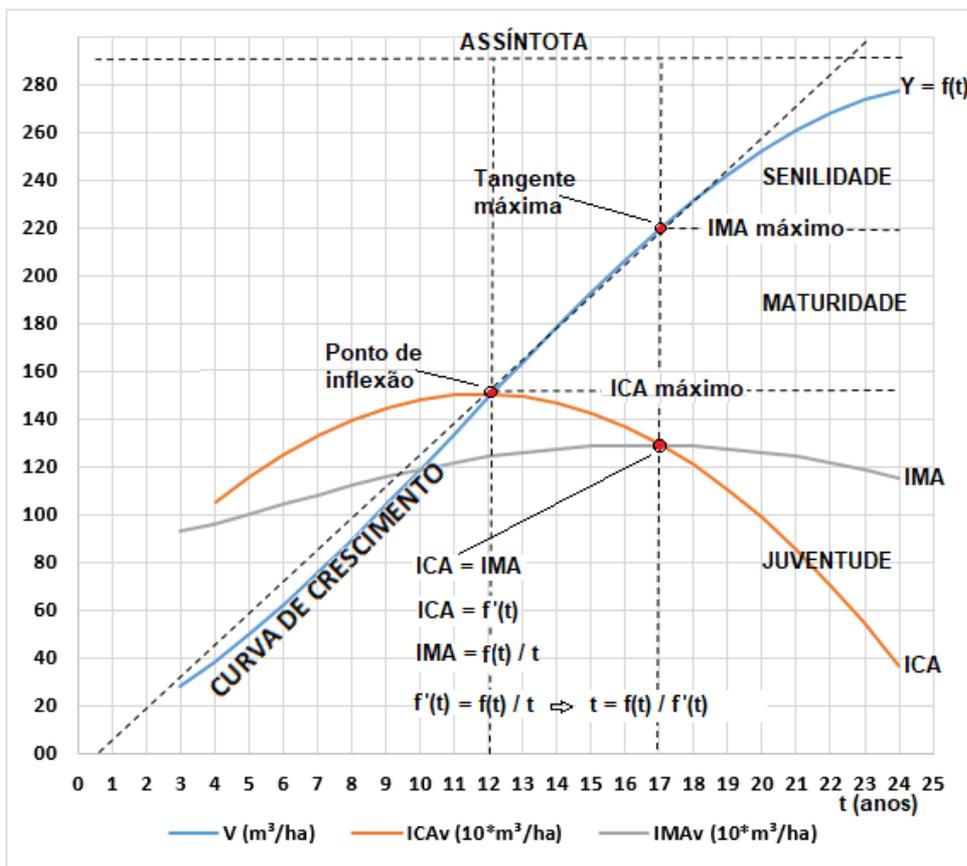


Figura 30 - Curva de crescimento $[y=f(t)]$ e suas características.

3.10.5 Métodos de estudo do crescimento

•O crescimento (Y) de uma variável biométrica é uma função do tempo e do ambiente e da planta. Se o ambiente não mudar, pode-se considerar o crescimento como função exclusivamente do tempo: $Y = f(t)$. •Portanto, o estudo do crescimento deve levar em conta a medição da variável considerada e do tempo transcorrido ou idade. •O crescimento é estudado, principalmente, para:

- fazer prognoses para o futuro e planejar a produção;
- avaliar a qualidade do ambiente;
- avaliar a qualidade genética dos indivíduos e populações;
- avaliar a qualidade da interação do genótipo com o ambiente.

Os principais métodos de medição de variáveis para estudo do crescimento (Imanã et al., 2005):

- Parcelas permanentes medidas anual ou periodicamente;
- Árvores individuais identificadas e medidas continuamente ou periodicamente (cinta);
- Análise de tronco
 - análise de tronco completa (Figura 33 e 35) – árvores abatidas;
 - análise de tronco parcial (Figura 31 e 33) – árvores em pé (trado de Pressler).

Estimativas da idade em estudos de crescimento

A idade das árvores pode ser estimada por:

- observação e registro de árvores individuais ou parcelas permanentes com árvores identificadas individualmente, cuja data de plantio é conhecida;
- Contagem de verticilos das espécies de crescimento monopodial – permite o cálculo do IMA_d e estimar todos incrementos em altura;
- Contagem dos anéis de crescimento.



Figura 31 - Análise de tronco parcial (trado de incremento e amostras).

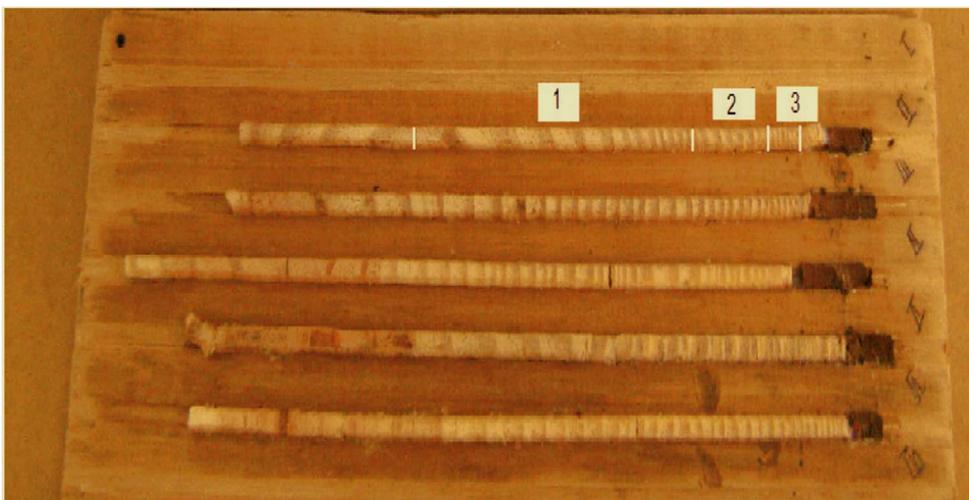


Figura 32 - Cilindros de incremento de *Pinus taeda*. Fonte: Coelho e Hosokawa (2010).



Figura 33 - Análise de tronco completa (toragem).

- Fatia 1: base da 1ª tora;
- Fatia 2: Altura de 0,5 m;
- Fatia 3: Altura de 1,3 m;
- Fatia 4: no topo da 1ª tora;
- Fatias 5 a n: No topo da 2ª até a última tora.

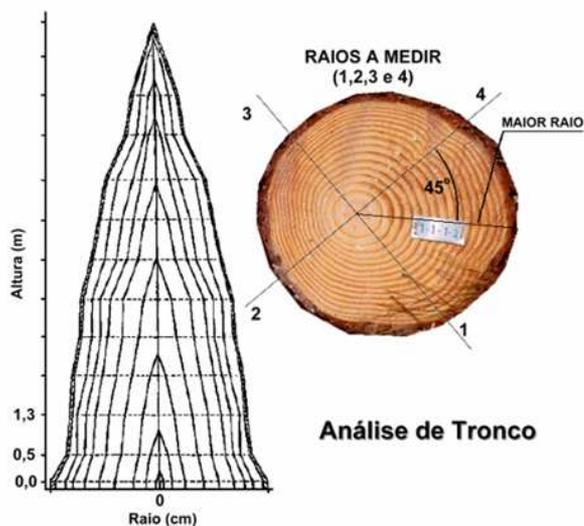


Figura 34 - Análise de tronco completa (toragem).

A medição dos anéis de crescimento pode ser realizada com lupa de mesa com diâmetro de 9 cm ou mais e aumento de 10x ou mais e paquímetro (Figura 35).



Figura 35 - Medição de anéis de crescimento com lupa articulada e paquímetro.

Ou com aparelhos desenvolvidos especificamente para este fim como o Lintab da empresa alemã Rinntech (Figura 36), composto por uma lupa com mesa móvel provida de micrômetro, acoplada a um computador com o software Tsap por meio do qual se faz o registro das medições para posterior processamento.



Figura 36 - Medição de anéis de crescimento com LINTAB (hardware) + TSAP (software).

4 MODELOS FLORESTAIS PARA O PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Modelo é uma representação simplificada de uma parte da realidade. Os modelos podem ser mentais, verbais, materiais, ou matemáticos. Os modelos podem representar objetos ou sistemas. Objetos são quaisquer coisas concretas existentes, como uma rocha, ou um parafuso. Sistemas são grupos de coisas (compostos de matéria, ou energia) que funcionam em conjunto, como o clima, ou uma floresta, ou um fluxo de produção de madeira para determinados fins.

Os modelos apresentam características próprias que os identificam. A primeira característica é sua natureza que pode ser material ou abstrata. Modelos materiais (ou físicos) são aqueles produzidos à semelhança do que representam, como a maquete de um terreno. Um modelo abstrato é uma descrição mental, verbal, gráfica, ou matemática de algo real. Um modelo mental é uma ideia que se faz de algo, por exemplo, quando alguém pensa numa árvore, tem uma ideia de seu aspecto que permite reconhecer uma quando a vê e a distinguir de uma erva.

O modelo mental pode ser traduzido num modelo verbal, como exemplo pode-se citar a descrição de uma árvore: vegetal de grande porte, composto por raízes, tronco e copa. O mesmo modelo pode ser mais detalhado, como: uma árvore é um vegetal da classe das gimnospermas, ou angiospermas, composto de raízes, tronco e copa, cuja altura total quando adulto é superior a 7 metros e o diâmetro do tronco é maior do que 5 cm a 1,3 m de altura do solo. Ou seja, um modelo pode ser simples ou detalhado.

Modelos podem gerar resultados que são sempre os mesmos, como partituras musicais, são ditos determinísticos; ou podem gerar resultados com certa

probabilidade de ocorrência, como os delineamentos experimentais e são ditos estocásticos, ou probabilísticos.

Modelos podem ser de dois tipos: físicos ou abstratos. Modelos físicos são quaisquer representações físicas de objetos ou sistemas, geralmente em escala. Exemplos são as maquetes de terreno, de construções, ou de veículos e aeroplanos. Modelos abstratos são representações descritivas, gráficas ou matemáticas de objetos ou sistemas.

Pode-se classificar os modelos ainda quanto ao tempo (estáticos ou dinâmicos), quanto ao tipo de equação (lineares ou não-lineares), quanto ao tipo de predição (estocásticos ou determinísticos), quanto aos objetivos (analíticos ou preditivos) e quanto às variáveis (discretos ou contínuos).

Modelos estocásticos estão relacionados a uma probabilidade de erro, são ajustados com os dados de várias observações; é o caso das equações de regressão. Enquanto, os determinísticos resultam em valores exatos que podem ser sobre uma única observação ou indivíduo, por exemplo, os modelos para cubagem de árvores como Smalian Huber, Newton e Hohenadl.

O desenvolvimento de um modelo é um processo pelo qual se analisam exaustivamente um conjunto de dados atuais e históricos para definir uma regra que permita prever um determinado evento futuro.

Na área de negócios, os modelos preditivos normalmente exploram padrões encontrados em dados históricos e transacionais para identificar riscos e oportunidades. Sendo assim, os modelos capturam relações entre vários fatores que permitem avaliar o risco ou potencial associado a um conjunto particular de condições e assim tomar decisões ou escolhas mais certas.

Modelos de produção são ferramentas de planejamento usados na definição de políticas florestais em nível regional e nacional. Um modelo de produção deverá prever corretamente a produção florestal ao longo do tempo sob hipóteses de exploração alternativas ou sujeito a agentes físicos e bióticos distintos. (TOMÉ, 2002).

O planejamento da produção de povoamentos florestais deve levar em consideração três elementos principais: o técnico (crescimento e produção), o econômico (financeiro e social) e o ambiental (conservação da biodiversidade, do solo, da água e do ar).

O tempo é outro elemento importante no manejo florestal, entrando diretamente nos cálculos para elaboração de prognose como variável independente, podendo assumir diferentes aspectos. Na regulação de desbastes para *Pinus taeda*, por exemplo, Schulte et al. (1998) levaram em conta os seguintes parâmetros referentes ao tempo: data de plantio do povoamento, data do primeiro desbaste, período de tempo entre desbastes e a rotação.

O crescimento das árvores é influenciado, principalmente, por (WYCOFF et al., 1982):

- espécie - variando com a adaptação ao local e melhoramento genético;
- condições do sítio - representadas pela declividade, aspecto, altitude e tipo de hábitat;
- condições do povoamento - estrutura e ocupação do espaço vertical e horizontal, reguladas pelo manejo da floresta;
- dimensões da própria árvore - representadas pelo DAP, altura, razão de comprimento das copas e classe de valor.

4.1 Classificação dos modelos matemáticos

Os modelos reais são compostos por uma série de submodelos de diferentes tipos e usam diferentes métodos de modelagem. A classificação auxilia a tarefa de modelagem. Os modelos podem ser, por exemplo:

- Simples ou complexos;
- De esclarecimento ou previsão;
- Empíricos ou determinísticos;
- Estáticos ou dinâmicos.

4.1.1 Classes de objetivos da modelagem

Os objetivos da modelagem podem ser classificados como:

- Descrição estrutural – Estrutura ligações e efeitos retroativos e interativos;
- Comportamento do sistema – descreve matematicamente as ligações e demais interações do sistema estrutural e investiga causas;
- Prognose – só as reações resultantes do sistema interessam. O mecanismo interno é visto como “caixa preta”. Exemplo: projeção de copa no lugar de área foliar; taxa de interesse.

4.1.2 Classificação teórico-empírica

Modelos empíricos matemáticos: com poucos dados descrevem matematicamente uma teoria. Exemplo: $v=f_{1,3}.h.\pi.d^2/4$.

Modelos empírico-estatísticos: sem muita teoria, com muitos dados, geram regressões. Exemplo: $v=b_0+b_1.d^2.h$.

4.1.3 Classificação pela técnica empregada

As classes são caracterizada pelo recurso empregado para processamento dos dados, tais como:

- Tabelas
- Funções;
- Diagramas;
- Relações lógicas (se ... então ...).

4.1.4 Classificação pela relação com o tempo

Modelos estáticos: modelam o estado de um sistema num determinado momento; exemplo: $PPL = PPL_{max} \cdot (1 - e^{-b \cdot t})$, em que PPL=produção primária líquida, PPL_{max} =produção primária máxima, x =precipitação, b =coeficiente.

Modelos dinâmicos: descrevem a modificação de um estado com o passar do tempo, por exemplo, a altura de inserção da copa das coníferas é modificada com o tempo devido à desrama natural.

4.1.5 Classificação pelo tipo de previsão

Modelos determinísticos: são modelos que não permitem variações ao acaso; duas simulações com os mesmos dados produzem resultados idênticos.

Modelos estocásticos: são modelos que admitem modificações por números randômicos (de distribuição normal ou uniforme) semelhantes à realidade. Uma simulação é uma amostra. O resultado é uma distribuição de valores. Pode prever a probabilidade de ocorrência da prognose.

4.1.6 Classificação de acordo com o tipo de dados

Os modelos podem ser classificados quanto ao objeto como modelos para árvores singulares e modelos para povoamentos.

4.2 Modelagem linear por seleção de variáveis

A modelagem linear por seleção de variáveis está disponível no SAS, sendo possível utilizar os métodos STEPWISE, FORWARD, BACKWARD e RSQUARE, que são opções da declaração MODEL do procedimento PROC REG do software. Isso permite realizar diversas transformações de cada variável independente (x) e depois realizar a seleção daquelas mais significativas para manter no modelo, tais como: x , x^2 , x^3 , x^4 , x^5 , $1/x$, $1/x^2$, $1/x^3$, $1/x^4$, $1/x^5$, $\ln x$, $\ln x^2$, $\ln x^3$, $\ln x^4$, $\ln x^5$, $\ln 1/x$, $\ln 1/x^2$, $\ln 1/x^3$, $\ln 1/x^4$, $\ln 1/x^5$, $x^{1/2}$, $x^{1/3}$, $x^{1/4}$, $x^{1/5}$, entre outras. Deve-se tomar cuidado de não deixar no modelo resultante as variáveis independentes de menor significância que produzam inflação de variância, o que pode ser verificado pela opção VIF (Variance Inflation Factor) da declaração MODEL; quando o VIF for maior do que 10, há inflação de variância indesejável e a variável de menor significância, ou de menor R^2 parcial deve ser retirada do modelo, repetindo-se isso até encontrar um modelo adequado. O ideal é que o VIF fique abaixo do valor 3, mas a maioria dos autores admite até um valor menor ou igual a 10. O código do programa pode ser como segue:

```
DATA ARQUIVO;  
INPUT X Y;  
X2=X**2; X3=X**3; X4=X**4; X5=X**5; IX=1/X;  
IX2=1/X2; IX3=1/X3; IX4=1/X4; IX5=1/X5;  
LNX=LOG(X); LNX2=LOG(X2); LNX3=LOG(X3);  
LNX4=LOG(X4); LNX5=LOG(X5); LNIX=LOG(IX);  
LNIX2=LOG(IX2); LNIX3=LOG(IX3);  
LNIX4=LOG(IX4); LNIX5=LOG(IX5); RX2=X**(1/2);  
RX3=X**(1/3); RX4=X**(1/4); RX5=X**(1/5);
```

```
DATALINES;  
6 7  
8 9  
9 10.5  
10 12.5  
12 13  
14 14  
16 15  
18 16  
20 17.5  
22 18.5  
24 19  
26 20  
20 20.5  
30 20.5  
;  
PROC MODEL DATA=ARQUIVO;  
MODEL Y = X2 X3 X4 X5 IX IX2 IX3 IX4 IX5 LNX  
LNX2 LNX3 LNX4=LOG(X4); LNX5 LNIX LNIX2 LNIX3  
LNIX4 LNIX5 RX2 RX3 RX4 RX5 /  
SELECTION=STEPWISE VIF;  
RUN;
```

Este tipo de método facilita muito encontrar funções para estimar diferentes variáveis no meio florestal. Infelizmente, não existe procedimento análogo para modelar funções não lineares, estas últimas têm de ter seus modelos predeterminados, sendo ajustados individualmente.

4.3 Modelos de relação hipsométrica

Relação hipsométrica é a relação existente entre a altura (h) e o diâmetro das árvores (d), podendo ser representada pela função $h = f(d)$. Müller (2004) testou os 19 modelos apresentados na Tabela 14.

Tabela 14- Modelos de relação hipsométrica utilizados por Müller (2004).

Nº	Modelos de Funções de Altura
01	$\frac{h}{d} = b_0 + b_1 \cdot d$
02	$\frac{h}{d} = b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d^3 + b_4 \cdot \ln d$
03	$h = b_0 + b_1 \cdot d^2$
04	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln d$
05	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot d$
06	$\frac{1}{\sqrt{h-1.3}} = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d}$
07	$h - 1.3 = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2$
08	$h = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2$
09	$h = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d^3$
10	$h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d^2}$
11	$\frac{1}{h-1.3} = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d} + b_2 \cdot \frac{1}{d^2}$
12	$\frac{d^2}{\sqrt{h-1.3}} = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2$
13	$\ln(h-1.3) = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d}$
14	$h - 1.3 = b_0 + b_1 \cdot d$
15	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d}$

16	$h = b_0 + b_1 \cdot d$
17	$\ln(h - 1.3) = b_0 + b_1 \cdot \ln d$
18	$\ln(h - 1.3) = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln^2 d$
19	$\ln(h - 1.3) = b_0 + b_1 \cdot \ln\left(\frac{d}{1 + d}\right)$

Onde: d = Diâmetro a 1,30 m de altura, em centímetros; h = Altura da árvore, em metros; b_0 , b_1 , b_2 , b_3 e b_4 = Coeficientes das equações; ln = Logaritmo natural.

4.4 Modelos para volume do tronco

Muitos modelos matemáticos foram desenvolvidos para estimativas volumétricas a partir do diâmetro e da altura ($v = f(d, h)$). Um estudo com um número exagerado de modelos foi realizado por Silvestre et al (2014) que ajustaram os 33 modelos para estimativas volumétricas de povoamentos de *Pinus taeda* L., no município de Lages, SC, relacionados na Tabela 15.

Tabela 15 - Modelos matemáticos utilizados para ajuste de equações volumétricas por Silvestre et al (2014).

Nº.	Autor	Modelo
1	Burkhaut I	$v = \beta_0 + DAP\beta_1 + ei$
2	Kopecky-Gehrhatdt I	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP + ei$
3	Kopecky-Gehrhatdt II	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + ei$
4	Dissescu-Meyer	$v = \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + ei$
5	HohenadlKrenn	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + ei$
6	Bonetes I	$v = \beta_0 + \beta_1 * (1/DAP) + \beta_2 * (1/DAP)^2 + ei$
7	Husch-1963	$Log(v) = \beta_0 + \beta_1 * log(DAP) + ei$
8	Omerod MI	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP * h^2 + \beta_2 * DAP^2 + ei$
9	Omerod MII	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 * h + \beta_2 * (1/\sqrt{DAP}) + ei$
10	Spurr FF constante	$v = \beta_1 * DAP^2 * h + ei$
11	Spurr Var combinada	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP * h + ei$
12	Spurr Var combinada II	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 * h + ei$
13	Bonetes II	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * h + ei$
14	Bonetes III	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * h + ei$
15	Bonetes IV	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * h^2 + ei$
16	Stoate australiana	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DAP^2 * h + \beta_3 * h + ei$
17	Burkhaut II	$v = \beta_0 + \beta_1 * \sqrt{DAP} * h + \beta_2 * (1/DAP) + \beta_3 * DAP^2 + ei$
18	Burkhaut III	$v = \beta_0 + \beta_1 * h^2 + \beta_2 * DAP^2 + \beta_3 * (1/\sqrt{DAP}) + ei$
19	Meyer modificada I	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP * h + \beta_2 * DAP^2 * h^2 + \beta_3 * DAP^3 * h^3 + \beta_4 * DAP^4 * h^4 + ei$
20	Meyer modificada II	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \beta_3 * DAP * h + \beta_4 * DAP^2 * h + ei$
21	Meyer compreensiva	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \beta_3 * DAP * h + \beta_4 * DAP^2 * h + \beta_5 * h + ei$
22	Näslund-spruce I	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DAP^2 * h + \beta_3 * DAP * h^2 + \beta_4 * h + ei$
23	Näslund-spruce II	$v = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * ln(DAP^2 * h) + \beta_3 * DAP * h^2 + \beta_4 * h^2 + ei$
24	Clutter	$v = e\beta_0 + \beta_1 * h + \beta_2 * log(DAP) + ei$
25	Clutter II	$v = e\beta_0 + \beta_1 * log^2(h) + \beta_2 * log(DAP) + ei$
26	Takata	$v = DAP * h / (\beta_0 + \beta_1 * (1/DAP)) + ei$
27	Spurr-Var combinada III	$ln(v) = \beta_0 + \beta_1 * ln(DAP^2 * h) + ei$
28	I.B.W. Alemanha	$ln(v) = \beta_0 + \beta_1 * ln(DAP) + \beta_2 * ln^2(DAP) + \beta_3 * ln(h) + \beta_4 * ln^2(h) + ei$
29	Schumacher Hall não linear	$v = \beta_0 * (DAP\beta_1) * (h\beta_2) + ei$
30	Schumacher Hall	$ln(v) = \beta_0 + \beta_1 * ln(DAP) + \beta_2 * ln(h) + ei$
31	Stoate	$Log(v) = \beta_0 + \beta_1 * log^2(h) + \beta_2 * log^2(DAP) + \beta_3 * DAP^2 + ei$
32	Prodan II	$Log(v) = \beta_0 + \beta_1 * log(d) + \beta_2 * log^2(DAP) + \beta_3 * log(h) + \beta_4 * log^2(h) + ei$
33	Prodan I	$\sqrt[3]{v} = \beta_0 + \beta_1 * DAP * h + \beta_2 * DAP^2 * h^2 + \beta_3 * DAP^3 / h^3 + \beta_4 * DAP^4 / h^4 + \beta_5 * DAP^5 * h^5 + \beta_6 * DAP^6 * h^6 + ei$

Em que: v = volume; DAP = diâmetro à altura do peito (1,30 m); h = altura total; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ = coeficientes; ln = logaritmo neperiano; e = exponencial; log = logaritmo base 10; ei = erro aleatório.

4.5 Modelos para fator de forma

O fator de forma, embora em desuso, devido a tecnologias mais adequadas para realizar estimativas de volume, ainda há situações em que se deseja estudar a

forma das árvores por meio desta variável. Loetsch et al (1973) relacionam 11 modelos para estimar o fator de forma a partir de diâmetro e da altura das árvores (Tabela 16).

Tabela 16 - Modelos de equações para fator de forma.

Número	Modelos
1	$f = b_0 + b_1.1/d^2h + b_2.1/h + b_3.1/d^2$
2	$f = b_0 + b_1.1/d^2h + b_2.1/dh + b_3.1/d + b_4.1/h + b_5.1/d^2$
3	$f = b_0 + b_1.1/h + b_2.h/d + b_3.h/d^2$
4	$f = b_0 + b_1.d_{0,3}/d^2 + b_2.h/d^2$
5	$f = b_0 + b_1.d_{0,3}^2/d^2 + b_2.h/d^2$
6	$f = b_0 + b_1.d_{0,3}/d^2 + b_2.h/d^2 + b_3.1/d$
7	$f = b_0 + b_1.(d_{0,1}.d_{0,5})/d^2 + b_2.d_{0,3}/d^2$
8	$f = b_0 + b_1.(d_{0,1}.d_{0,5})/d^2 + b_2.d_{0,3}^2/d^2 + b_3.h/d^2$
9	$f = b_0 + b_1.(d_{0,5}/d)^2 + b_2.(d_{0,3}/d)^2$
10	$f = b_0 + b_1.logd + b_2.logd_{0,3} + b_3.logh$
11	$f = b_0 + b_1.logd + b_2.logh$

Onde: f=fator de forma; d = diâmetro do tronco a 1,30 m de altura; $d_{0,i}$ = diâmetros de Hohenadl em centímetros; h = altura em metros;. Fonte: Loetsch et al (1973).

4.6 Modelos para casca

É muito difícil obter boas equações para estimar a espessura da casca das árvores (e) em função de variáveis como o diâmetro (d), altura (h), idade (h) e diâmetros relativos à altura ($d_{0,i}$). Funções do tipo $e = f(d, h, t, d_{0,i})$ geralmente resultam em alto coeficiente de variação e baixo coeficiente de determinação. Entretanto, o diâmetro sem casca é facilmente estimado por meio do diâmetro com casca em qualquer posição do tronco e o diâmetro com casca pode ser estimado para qualquer posição no tronco por meio de funções de afilamento. Mas, a natureza é imprevisível e é possível que em alguns casos se consiga boas equações. Para isso, Schneider cita modelos relacionados por Loetsch et al (1975) (Tabela 17).

Tabela 17 - Modelos de equações para estimativas de espessura de casca.

Número	Modelos	Autor
1	$e = d/(b_0+b_1.d)$	Korsun
2	$\log e + 1 = b_0+b. \log d$	Oestlin
3	$e = b_0+b. d+b_2.t+b_3.dt$	Laar
4	$e = b_0+ b. d$	Meyer
5	$\log e = b_0 + b. \log d$	Mayer
6	$\log E = b_0 + b. \log d + b_2.\log(d.h)+ b_3.\log(t.h)$	Schneider & Silva

Sendo: e = espessura de casca em centímetros; t = idade em anos; d = diâmetro à 1,3 m de altura; h = altura em metros. Fonte: Loetsch et al (1975) apud Schneider (2002).

Peso de casca é uma variável importante quando se deseja fabricar produtos obtidos da casca, como o tanino. Schneider (2002) relaciona os 5 modelos da Tabela 18:

Tabela 18 - Equações para estimar o peso de casca.

Número	Modelos	Autor
1	$\log y = b_0 + b. \log d^2h$	Clark III & Schroeder (1977)
2	$\log y = b_0 + b_1.\log d$	Kraffenbauer & Andrae (1977)
3	$\log y = b_0+b_1.\log d+b. \log h$	Meyer
4	$\log y = b_0+ b. v$	Meyer
5	$\log y = b_0 + b_1.\log d_g$	Loetsch et al. (1975)

Sendo: y = peso de casca; d = diâmetro à altura do peito; h = altura total; dg = diâmetro da árvore de área basal média; v = volume da árvore. Fonte: Loetsch et al (1975) apud Schneider (2002).

4.7 Modelos de crescimento florestal

Os modelos florestais podem ser classificados em três tipos principais quanto ao objeto a modelar, como:

- Modelos de crescimento para árvores singulares;
- Modelos de crescimento para classes de dimensão (dap);
- Modelos de crescimento para povoamentos.

A modelagem de crescimento florestal tem como objetivos:

- a compreensão dos processos de crescimento;
- auxiliar em opções concretas silviculturais e econômicas;
- previsão do desenvolvimento em diferentes cenários.

Kiviste et al (2002) realizaram uma exaustiva compilação dos modelos de crescimento utilizados na área florestal na obra “Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal”, disponível no Research Gate, no endereço: <https://www.researchgate.net/publication/305473874_Funciones_de_crecimiento_d_e_aplicacion_en_el_ambito_forestal>.

4.7.1 Modelagem do crescimento

•O crescimento pode ser modelado por meio de modelos de equações empíricas ou fenomenológicas, como por exemplo:

- Empíricas: polinômios e função de Backmann;
- Fenomenológicas: equações de Mitscherlich e Gompertz.

Considerando-se o crescimento em anos, tem-se que a função integral de crescimento é representada por:

$$y_t = f(t)$$

A sua 1ª derivada (y') é o incremento corrente anual (ICA):

$$y' \approx \text{ICA}_t = y_t - y_{t-1}$$

E, o incremento médio anual (IMA) é dado pela integral dividida pelo tempo:

$$\text{IMAt} = y \approx y_t / t$$

Onde: y_t é o valor apresentado pela variável (d, h, v, ou outra) na idade t; y_{t-1} foi o valor apresentado pela variável no ano anterior t-1; t é a idade em anos; ICA_t é o incremento sofrido no último ano (t); IMA_t é a média dos incrementos até a idade atual t.

O modelo de Mitscherlich (Sit, 1994), também denominado de Chapman-Richards é um dos mais utilizados no meio florestal para modelagem do crescimento, sendo representado por:

$$Y = A \cdot (1 - e^{-k \cdot t})^r$$

Onde: A, k, r = são os parâmetros da equação; A = é associado à assíntota superior; k = é associado à velocidade de crescimento (0 até 1); r = é associado ao ponto de inflexão da curva; Y = é a variável dependente (variáveis dendrométricas); t = variável independente (tempo).

Crescimento em altura

•A curva de crescimento em altura (h) é conhecida também por Integral de crescimento em altura e pode ser representada como uma função da idade:

$$h = f(\text{idade}), \text{ ou } h = f(t)$$

Onde: h= altura em metros; t = idade em anos.

•O incremento que a árvore sofre a cada ano em sua altura é dito Incremento Corrente Anual em altura (ICAh), que são as diferenças da altura de um ano para o outro:

$$ICAh_{(t)} = h_{(t)} - h_{(t-1)}$$

Onde: $ICAh_{(t)}$ = incremento corrente anual da altura na idade t; $h_{(t)}$ = altura na idade t; $h_{(t-1)}$ = altura na idade t-1; t = idade.

O incremento médio apresentado até a idade considerada é denominado de Incremento Médio Anual em Altura (IMAh), que nada mais é do que a altura apresentada no ano considerado dividida pela idade da árvore naquele ano:

$$IMAh_{(t)} = h_{(t)} / t$$

Onde: $IMAh_{(t)}$ = incremento médio anual da altura na idade t ; $h_{(t)}$ = altura na idade t ; t = idade.

Supondo-se uma muda de árvore plantada com 0,30 m de altura e que ela tenha crescido durante 7 anos, até atingir 21 metros de altura. Considere-se que tenha tido incrementos anuais de:

- 2,2 m no 1º ano, atingindo 2,5 m de altura;
- 3,5 m no 2º ano, atingindo 6 m de altura;
- 4,0 m no 3º ano, atingindo 10 m de altura;
- 3,5 m no 4º ano, atingindo 13,5 m de altura;
- 3,0 m no 5º ano, atingindo 16,5 m de altura;
- 2,5 m no 6º ano, atingindo 19 m de altura;
- e, 2,0 m no 7º ano, atingindo 21 m de altura.

Portanto, a árvore apresentou o Incremento Corrente Anual (ICAh), a Altura (h) e o Incremento Médio Anual (IMAh), relacionados na Tabela 19 e Figura 37.

Tabela 19 - Crescimento de uma árvore.

Idade (t)	ICAh (m)	h (m)	IMAh (m)
0 = plantio	0,3	0,3	0,3
1	2,2	2,5	2,5
2	3,5	6,0	0,6
3	4,0	10,0	0,6
4	3,5	13,5	0,6
5	3,0	16,5	0,6
6	2,5	19,0	0,6
7	2,0	21,0	0,6

Ajustando-se uma função de 5º grau para a integral de crescimento como:

$$f(t) = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5$$

Tendo-se como sua derivada primeira a equação:

$$f'(t) = b_1 + 2 b_2 t + 3 b_3 t^2 + 4 b_4 t^3 + 5 b_5 t^4$$

Sendo o IMA dado por:

$$IMA = f(t) / t = (b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5) / t$$

E, o IMA máximo podendo ser determinado igualando-se a derivada primeira com o IMA [$f(t) / t = f'(t)$], então a idade em que ocorre o máximo IMA pode ser encontrada dividindo-se a função integral [f(t)] pela derivada primeira [f'(t)], ficando $t = f(t) / f'(t)$, como segue:

$$Idade\ de\ IMA\ máximo = t = \frac{b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5}{b_1 + 2b_2 t + 3b_3 t^2 + 4b_4 t^3 + 5b_5 t^4}$$

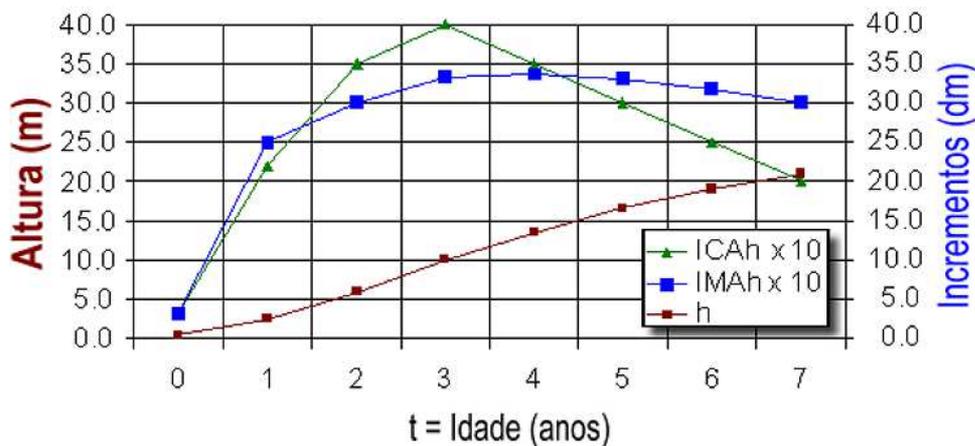
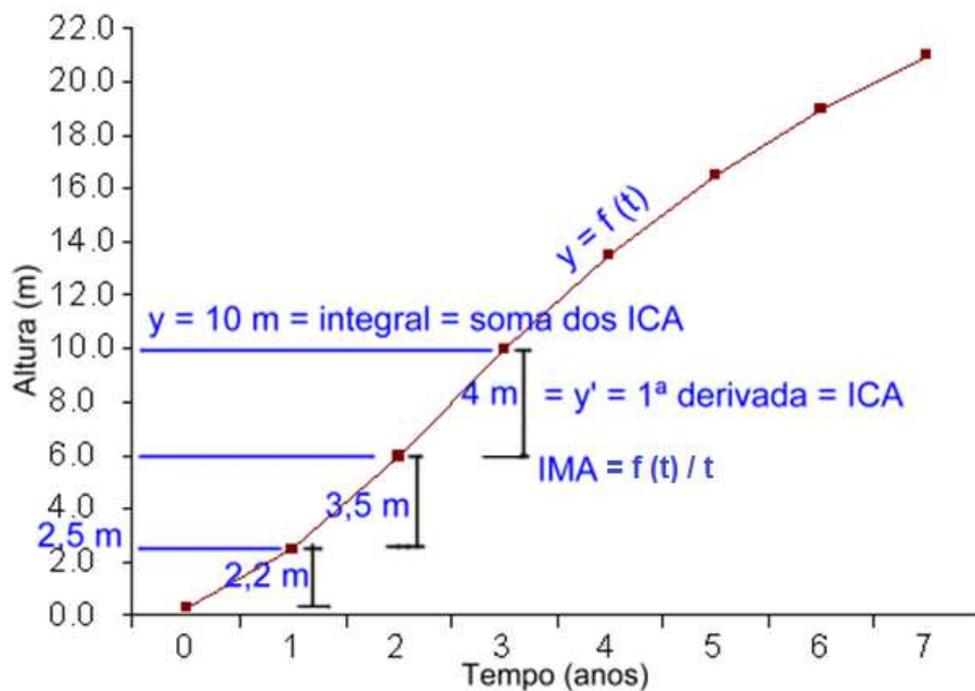


Figura 37 - Gráficos do crescimento e incrementos em altura de uma árvore.

4.8 Modelos de distribuição de diâmetros

4.8.1 Florestas plantadas

DISTRIBUIÇÃO NORMAL

A função densidade de probabilidade da distribuição Normal de uma variável x , com média μ e variância σ^2 , é definida como:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Onde: μ = média, ou parâmetro de locação; σ = desvio padrão, ou parâmetro de escala; $-\infty < x < \infty$.

A função de distribuição acumulada é expressa por:

$$F(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{x - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right)$$

$$\operatorname{erf}(x) = 2\Phi(x\sqrt{2}) - 1$$

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$$

Um exemplo do ajuste de distribuição normal de diâmetros é apresentado na Figura 38.

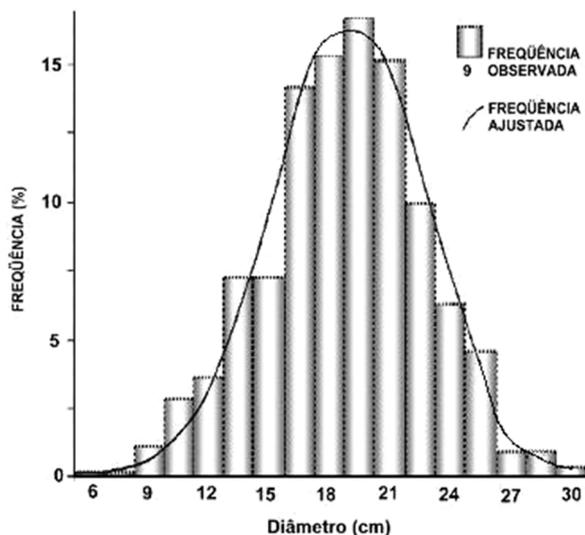


Figura 38 – Normalidade das frequências por classe de diâmetro, das árvores contidas na área útil das parcelas, aos 15 anos de idade.

DISTRIBUIÇÃO LOGNORMAL

Uma variável aleatória x tem a distribuição Lognormal quando o seu logaritmo $y=Ln(x)$ tem a distribuição normal com média $e^{\mu+\sigma^2/2}$, variância $(e^{\mu^2}-1) e^{2\mu+\sigma^2}$ e função de densidade dada por:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right]$$

Onde: para $x > 0$, onde μ e σ são a média e desvio padrão do logaritmo da variável (por definição, o logaritmo da variável é normalmente distribuído).

DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

Uma variável x com distribuição de Weibull tem média $\lambda\Gamma(1+1/k)$, variância $\lambda^2\Gamma(1+2/k)-\mu^2$ e função densidade de probabilidade expressa por:

$$f(x; k, \lambda, \theta) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x - \theta}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-\theta}{\lambda}\right)^k}, \text{ ou}$$
$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0. \end{cases}$$

Onde: para $x \geq \theta$ e $f(x; k, \lambda, \theta) = 0$ para $x < \theta$, onde $k > 0$ é o parâmetro de forma, $\lambda > 0$ é o parâmetro de escala e θ é o parâmetro de localização da distribuição; quando $\theta = 0$, a distribuição é reduzida a 2 parâmetros.

A distribuição de probabilidade acumulada para o modelo com dois parâmetros é expressa por:

$$F(x; k, \lambda) = 1 - e^{-(x/\lambda)^k}$$

DISTRIBUIÇÃO GAMA

Uma variável x com distribuição Gama tem média $k\theta$, variância $k\theta^2$ e função de densidade de probabilidade definida por:

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)} \quad \text{for } x > 0 \text{ and } \alpha, \beta > 0$$

Onde: a distribuição Gama é uma família de distribuição contínua de probabilidade de dois parâmetros; tem um parâmetro de escala θ e um parâmetro de forma k ; se k é um inteiro, então a distribuição representa a soma de k variáveis aleatórias exponencialmente distribuídas, cada uma delas têm um parâmetro θ . Modelos de funções para probabilidade acumulada: Lineares; Não-lineares.

A distribuição de probabilidade acumulada é expressa por:

$$F(x; \alpha, \beta) = \int_0^x f(u; \alpha, \beta) du = \frac{\gamma(\alpha, \beta x)}{\Gamma(\alpha)}$$

DISTRIBUIÇÃO BETA

$$f_x(x) = \frac{1}{\beta(a, b)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot (1-x)^{\beta-1}$$

Onde: $\alpha > 0$ e $\beta > 0$, então x é definido para ter distribuição Beta; α, β = parâmetros da equação.

A função de densidade de probabilidade da distribuição Beta satisfaz a diferencial:

$$f'(x) = f(x) \frac{(\alpha + \beta - 2)x - (\alpha - 1)}{(x - 1)x}$$

A distribuição de probabilidade acumulada é calculada por:

$$\begin{aligned}
 F(x; \alpha, \beta) &= \frac{B(x; \alpha, \beta)}{B(\alpha, \beta)} \\
 &= \frac{\int_0^x t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt}{B(\alpha, \beta)} \\
 &= I_x(\alpha, \beta)
 \end{aligned}$$

Onde: onde $B(x; \alpha, \beta)$ é a função beta incompleta e $I_x(\alpha, \beta)$ é a função beta incompleta regularizada.

4.8.2 Florestas inequidêneas

Liocurt percebeu que a distribuição diamétrica das árvores de uma floresta natural segue um padrão que pode ser calculado por (SCHNEIDER, 2002):

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{N_2}{N_3} = \dots = \frac{N_{s-1}}{N_s} = q$$

Onde: q = quociente de Liocurt; N_i = Frequência da classe de diâmetro de ordem i ou do estrato de ordem i ; $i = 1, 2, 3, \dots, s = n^\circ$ de ordem do estrato vertical ou da classe de diâmetro; $s = n^\circ$ de ordem do último estrato ou da classe de diâmetro de ordem mais alta.

Mayer estudou a distribuição de diâmetros das populações naturais verificando que as mesmas possuem distribuição exponencial negativa, podendo-se determinar a frequência em cada classe pela equação a seguir:

$$N_i = K \cdot e^{-a \cdot d_i}$$

Onde: N_i = Frequência da classe de diâmetro de ordem i ou do estrato de ordem i ; “ K ” e “ a ” = coeficientes da equação a estimar para cada povoamento; d_i = valor do centro de classe de diâmetro em cm.

Considerando-se a constante q de Liocurt como a proporção ideal de frequência entre uma classe e outra e a equação de Mayer como o modelo de

distribuição ideal de diâmetros numa floresta natural, obtém-se o sistema de balanceamento da distribuição de diâmetros de Mayer-Liocurt, como segue (Schneider, 1979):

$$a = \ln q / h$$

$$q = e^{-b_1 \cdot h}$$

$$\ln N_i = b_0 + b_1 \cdot d_i$$

$$K = \text{densidade} / (\sum (C_1 + C_2 \cdot d_i + C_3 \cdot d_i^2) \cdot e^{-d_i \cdot (\ln q)/h})$$

$$\text{densidade} = C_1 \cdot \sum N_i + C_2 \cdot \sum N_i \cdot d_i + C_3 \cdot \sum N_i \cdot d_i^2$$

$$G_i = Y = C_1 + C_2 \cdot d_i + C_3 \cdot d_i^2$$

$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_i$$

Onde: d_i = centro de classe de DAP; q = quociente de Liocurt; h = intervalo de classe de diâmetros; N_i = Frequência da classe i ; $Y = G_i$ = área basal da classe i em m^2/ha ; b_0, b_1, C_1, C_2, C_3 = coeficientes das equações; $y_i = \ln N_i$; $b_0 = \ln K$; $b_1 = \ln(e^a)$; $x_i = \ln(e^{d_i})$.

Ajustando-se as equações do sistema, obtém-se os coeficientes balanceados da equação de Mayer, com a qual se calcula a frequência teórica para cada classe. Concluindo-se: quanto mais a frequência real de diâmetros de uma espécie se aproxima da distribuição balanceada, tanto mais estável é a espécie na comunidade.

4.9 Modelos para forma e afilamento do tronco

4.9.1 Equação de afilamento do tronco

O polinômio de Prodan pela sua versatilidade de ajuste a diferentes espécies, tem sido utilizado por muitos autores e resultado quase sempre entre os melhores, ou melhor modelo, tendo sido utilizada por Müller (2004) com *Eucalyptus*, Machado et al.

(2004) com *Pinus oocarpa* e Scolforo et al. (1998) num estudo sobre *Pinus elliottii*. A equação de 5º grau de Prodan é expressa como:

$$d_i/d = b_0 + b_1.(h_i/h) + b_2.(h_i/h)^2 + b_3.(h_i/h)^3 + b_4.(h_i/h)^4 + b_5.(h_i/h)^5$$

Onde: d = diâmetro à 1,3 m de altura (cm); h = altura total (m); i = posição no fuste em relação à base da árvore; d_i e h_i = diâmetro e altura na posição i , respectivamente.

Müller (2004) testou os 19 modelos de afilamento de tronco para *Eucalyptus*, relacionados na Tabela 20.

Tabela 20 - Modelos de afilamento de tronco testados por Müller (2004).

Nº	Modelos de Funções de Forma	Autores
01	$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h - 1,30} \right)$	Munro (1966)
02	$\frac{d_i^2}{d^2} = b_0 - b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h - 1,30} \right) + b_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h - 1,30} \right)^2$	
03	$\frac{d_i^2}{d^2} = b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h - 1,00} \right) + b_2 \cdot \left(\frac{h_i^2}{h^2 - 1,00} \right)$	Kozak et al. (1969)
04	$\frac{d_i^2}{d^2} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h - 1,00} \right) + b_2 \cdot \left(\frac{h_i^2}{h^2 - 1,00} \right)$	Kozak et al. (1969) Modificada
05	$\ln\left(\frac{d_i}{d}\right) = b_0 + b_1 \cdot \ln\left(\frac{1}{h_i + 1,30}\right)$	Ormerad (1973)
06	$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{1}{h_i + 1,30} \right) + b_2 \cdot \left(\frac{h}{h_i + 1,30} \right) + b_3 \cdot \left(\frac{1}{h_i + 1,30} \right) \cdot (h + h_i + 1,30)$	Bennett & Swindel (1972) Modificada
07	$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{1}{h_i + 1,30} \right)^{1/2}$	Gray (1956) Modificada
08	$\ln\left(\frac{d_i}{d}\right) = b_0 + b_1 \cdot \ln\left(\frac{h - h_i}{h}\right)$	Anonym

Nº	Modelos de Funções de Forma	Autores
09	$\ln\left(\frac{d_i}{d}\right) = b_0 + b_1 \cdot \ln\left(\frac{h - h_i}{h}\right) + b_2 \cdot \ln^2\left(\frac{h - h_i}{h}\right)$	Silva & Sterba (1975)
10	$\ln\left(\frac{d_i}{d}\right) = b_0 + b_1 \cdot \ln\left(\frac{h}{h + h_i}\right)$	
11	$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right)^3$	
12	$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right)^3 + b_4 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right)^4$	
13	$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right)^3 + b_4 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right)^4 + b_5 \cdot \left(\frac{h}{h + h_i}\right)^5$	
14	$\frac{d_i^2}{d^2} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^2$	Munro (1968)
15	$\frac{d_i^2}{d^2} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^2$	Munro (1968)
16	$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^3$	
17	$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + b_4 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^4$	
18	$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + b_4 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + b_5 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^5$	
19	$f_K(X) = A_K(X - X_K)^3 + B_K(X - X_K)^2 + C_K(X - X_K) + D_K$	

Onde: d_i = Diâmetro a uma altura relativa h_i , em centímetros; d = Diâmetro à altura do peito (1,30 m), em centímetros; h_i = Altura na posição i , em metros; h = Altura total da árvore, em metros; b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , b_5 , A_K , B_K , C_K e D_K = Coeficientes; \ln = Logaritmo natural.

4.10 Tabelas de produção

A elaboração de tabelas de produção depende do modelo de distribuição diamétrica utilizado, mas o processo é semelhante em todos os casos, sendo apresentado aqui, o mais simples que seria o uso da distribuição normal.

O processo de construção das tabelas de produção com a distribuição normal envolve os 20 passos relacionados a seguir, utilizando as equações modeladas previamente, para cada sítio, individualmente por idade e por classe de diâmetro.

- 1) Determinação da altura dominante (h_0) por sítio e idade pela equação.
- 2) Determinação do diâmetro médio (d) por sítio e idade.
- 3) Determinação do coeficiente de variação do diâmetro (CV_d) por sítio e idade e o desvio padrão (s_d).
- 4) Determinação dos centros de classe de diâmetro (d_i) para 7 classes (i) por idade e por sítio com base em múltiplos do desvio padrão (s) em relação ao diâmetro médio (d), sendo calculados da menor para a maior classe por:
 - Classe 1 – $d_i = d - 1,5 \cdot s$;
 - Classe 2 – $d_i = d - 1,0 \cdot s$;
 - Classe 3 – $d_i = d - 0,5 \cdot s$;
 - Classe 4 – $d_i = d$;
 - Classe 5 – $d_i = d + 0,5 \cdot s$;
 - Classe 6 – $d_i = d + 1,0 \cdot s$;
 - Classe 7 – $d_i = d + 1,5 \cdot s$.
- 5) Determinação da frequência teórica do centro de classe (f_{ti}) pela distribuição Normal.
- 6) Determinação do número total de árvores por hectare por idade e por sítio, sendo que as frequências reais por hectare são tomadas na metade do intervalo de tempo entre desbastes, devido ao fato de a equação estimar pela média. Assim, o número de árvores de estoque aos 10 anos de idade antes do desbaste é o número estimado pela equação de densidade aos 8 anos e o número de árvores remanescentes é o valor calculado pela equação para os 12 anos. Para o povoamento antes do desbaste aos 14 anos, usa-se o valor calculado pela equação para os 12 anos e para o povoamento remanescente é atribuído o número de árvores calculado para os 16 anos de idade com equação de densidade e assim sucessivamente.
- 7) Determinação do número de árvores por hectare (N_i) por classe de diâmetro (i) para cada sítio e idade com a frequência teórica (f_{ti}), tendo sua soma corrigida para 100%, sendo calculada pelo produto do número total de árvores por

hectare (N), para a idade em questão estimada no passo anterior, multiplicado pela frequência teórica, por meio da seguinte equação: $N_j = N \cdot ft_j / (\sum ft_j \cdot N)$.

- 8) Determinação da altura média (h).
- 9) Determinação do coeficiente de variação da altura média ($CV_h\%$) por idade e por sítio.
- 10) Determinação da altura por classe de diâmetro usando procedimento semelhante ao cálculo do diâmetro por classe conforme o passo 4;
- 11) Determinação dos sortimentos por classe de diâmetro em função do diâmetro e alturas do centro de cada classe e do volume individual, esse pela soma dos sortimentos, com auxílio da equação de afilamento do tronco e programa desenvolvido em linguagem SAS.
- 12) Determinação da percentagem de cada sortimento por classe de diâmetro e do total por hectare, por classe e por idade em cada sítio.
- 13) Determinação da área basal individual por classe e da área basal total por hectare.
- 14) Determinação do número de árvores a serem cortadas por hectare em cada desbaste, pela diminuição do estoque e previsão de remanescentes estabelecidos nos passos 5 a 7.
- 15) Determinação do número de árvores a serem desbastadas em cada classe em cada ocasião de desbaste por idade e sítio.
- 16) Determinação da área basal por hectare a desbastar em cada classe e do total por hectare através do produto do número de árvores a desbastar multiplicado pela área individual na classe, por idade e sítio.
- 17) Determinação do volume a desbastar por classe em procedimento semelhante ao usado para a área basal.
- 18) Determinação dos sortimentos desbastados por classe, pela multiplicação de proporção de árvores desbastadas pelo volume de estoque por sortimento em cada classe, por idade e sítio.
- 19) Determinação do número de árvores remanescentes, da área basal e do volume por hectare, através da diminuição do estoque existente antes do desbaste pelo que foi eliminado no corte.
- 20) Determinação dos sortimentos remanescentes pela redução do estoque existente antes do desbaste pelo que foi eliminado no corte.

4.11 Obtenção de dados para modelagem

O tipo de amostragem, o tamanho da amostra e a frequência de indivíduos por classe de tamanho da variável dependente têm influência direta na qualidade do modelo a ajustar ou construir.

O tamanho da amostra deve ser suficiente para permitir o ajuste ou construção do modelo e sua análise. Deve-se considerar que a curva de distribuição de um grupo de dados de uma variável (y) só aparece quando se tem certa quantidade de indivíduos. Partindo-se da equação de Sturges ($k = 1 + 3,3 \log_{10} N$) para calcular o número de classes de tamanho (k) a usar para determinada variável de uma amostra com N indivíduos, pode-se calcular o número de indivíduos (n_i) por classe de tamanho (i) com a equação $n_i = N / k$. O número de indivíduos por classe n_i deve ser suficiente, portanto, para formar uma curva de distribuição que possa ser analisada estatisticamente. A regra de Sturges é considerada útil para pequenas amostras (menos de 200 indivíduos). Amostras maiores devem se valer de regras como a de Scott ($h = 3,5 \cdot s \cdot N^{-(1/3)}$), ou de Freedman-Diaconis ($h = 2 \cdot \text{IRQ} \cdot N^{-(1/3)}$), onde h = amplitude de classe; N = número de observações; s = desvio padrão; IRQ = diferença interquartil. A seguinte regra empírica, desenvolvida com base em inúmeros estudos com florestas nativas e plantadas, é aplicável à distribuição de diâmetros: $k = n^{0,175} \cdot \Delta d^{0,3}$, onde k é o número de classes de diâmetro, n é o número de árvores e Δd é a amplitude dos diâmetros em centímetros.

De uma maneira geral, a curva de distribuição por classe só é perceptível com mais de 5 observações, passando a ser melhor visualizada com mais de 10 e se torna estável quando se aproxima de 30 observações por classe. Então, se tivermos 6 classes, deve-se considerar uma amostragem mínima de 30 indivíduos, ou seja 5 indivíduos em cada classe; pode-se considerar que um número superior a 30 indivíduos por classe provavelmente seria desnecessário, o que daria um total de 180 observações. A validação do melhor modelo escolhido para o propósito desejado, após o seu ajuste ou construção, é que irá revelar se o número de observações utilizado foi adequado.

Para permitir um bom ajuste e uma análise de resíduos adequada faz-se necessário que o número de indivíduos por classe seja semelhante, assim as curvas de distribuição de resíduos por classe de tamanho da variável dependente terão o mesmo número de observações.

Na amostragem, deve-se respeitar o princípio da não influência humana na seleção dos indivíduos ou unidades a amostrar e demais regras de amostragem. Pode-se utilizar qualquer processo de amostragem sistemática ou aleatória.

Para equações de volume, ou para análise de tronco, pode-se utilizar o sistema de unidade pontual da árvore mais próxima. Para tanto, sorteia-se ou sistematiza-se um número de pontos igual ao de indivíduos que se deseja mostrar sobre a população a ser estudada. Então, dividem-se os indivíduos por classe de tamanho para saber-se quantos indivíduos por classe de tamanho serão sorteados e realiza-se o sorteio do tamanho do indivíduo para cada ponto de amostragem.

4.11.1 Ajuste e construção de modelos

A construção ou ajuste de modelos envolve os seguintes passos:

- 1) Definição da variável dependente (objetivo da pesquisa);
- 2) Revisão de literatura para encontrar modelos adequados ao objetivo;
- 3) Definição das variáveis independentes;
- 4) Definição da população de estudo e amostra;
- 5) Coleta dos dados;
- 6) Escolha do software adequado para a modelagem;
- 7) Criação do arquivo para processamento;
- 8) Tradução dos modelos selecionados para a linguagem do software;
- 9) Processamento dos dados;
- 10) Interpretação dos resultados e comparação entre os modelos;
- 11) Escolha do melhor modelo;
- 12) Validação do modelo selecionado.

4.11.2 Avaliação de modelos

A análise de regressão é uma ferramenta estatística extremamente utilizada no meio florestal para ajustar e avaliar modelos estocásticos para fazer estimativas de variáveis difíceis e demoradas de medir em função de variáveis medidas com maior facilidade e rapidez.

O ajuste de equações pode ser realizado por softwares estatísticos e planilhas eletrônicas, que se baseiam nos métodos de mínimos quadrados simples e generalizados.

A qualidade de modelos de regressão é influenciada diretamente pela qualidade da amostra. Uma amostra adequada, com número suficiente de indivíduos para a análise da variância de regressão e que permitam a sua verificação e validação é essencial para a avaliação da qualidade dos mesmos.

No passado, pesquisadores transformavam indiscriminadamente as variáveis na esperança de encontrar melhores modelos, mas esta prática inviabiliza a análise de regressão, pois a discrepância logarítmica deturpa os valores quadrado médio dos erros e, por consequência, do F de Snedecor na análise da variância da regressão, sendo impossível estimar as estatísticas verdadeiras por aproximações como já foi tentado por Meyer e Furnival. Os valores calculados são como pacotes fechados e somente podem ser obtidos extraindo o logaritmo da variável dependente, refazendo-se a análise de variância da regressão com os valores observados e estimados sem a transformação logarítmica.

As expressões “verificação de modelos” e “validação de modelos” são comumente usadas para indicar a avaliação de modelos. A validação de modelos é uma das fases da avaliação de modelos, envolvendo o processo para determinar se

o desempenho de um modelo apresenta um nível aceitável para o seu propósito (BURKHART e TOMÉ, 2012).

A avaliação mais simples de um modelo deve envolver a análise da variância da regressão, o cálculo do Coeficiente de Determinação (R^2) e do Erro Padrão de Estimativa em percentagem da média das observações ($Syx\%$) também denominado de Coeficiente de Variação, bem como a sua validação pela análise de resíduos.

A validação de modelos de regressão é realizada pela comprovação das três pressuposições em relação à análise de resíduos: normalidade dos resíduos, homocedasticidade da variância dos resíduos e independência dos resíduos. Alguns autores consideram que a análise gráfica de resíduos pode ser suficiente para validação, entretanto, não existem regras aceitas universalmente para a análise gráfica. Floriano (2004) desenvolveu um modelo para a análise gráfica que necessita ser melhor avaliado para que possa ser usado de forma generalizada. Entretanto, recomenda-se o uso de testes estatísticos.

Outros testes complementares são usados para a avaliação de modelos, mas não são considerados essenciais, tais como: a verificação da falta de ajuste (*lack of fit*), verificação de tendenciosidade (*bias*), avaliação da eficiência do modelo (*model efficiency*), correlação no tempo, correlação entre componentes e o uso de amostra independente de validação.

ANÁLISE DA VARIÂNCIA DE REGRESSÃO

A Tabela 21 apresenta a análise da variância da regressão de uma função $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

O valor do F de Fisher, encontrado na análise da variância da regressão informa o valor para verificar se o modelo de regressão em análise é significativo. Usualmente os softwares estatísticos informam a probabilidade de significância de F

($Pr > F$), não sendo necessário recorrer a tabelas de F. Quando $Pr > F$ é menor ou igual a 0,01, F é “altamente significativo”, ou significativo ao nível de 1% de probabilidade; quando $Pr > F$ é maior do que 0,01 e menor ou igual a 0,05, F é dito “significativo”, sendo significativo ao nível de 5% de probabilidade; e, quando $Pr > F$ é maior do que 0,05, o modelo de regressão é “não significativo”. O nível de significância pode ser representado colocando-se os símbolos a seguir, como sobrescrito, ao lado do valor de F:

- a) ** – para F altamente significativo;
- b) * – para F significativo;
- c) ^{ns} – para F não-significativo.

Tabela 21 – Análise da variância de regressão.

Fator de Variação (FV)	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	Valor de F
Regressão	p-1	$\Sigma(ye-ym)^2$	SQreg/GLreg	QMreg/QMres
Resíduo	n-p-1	$\Sigma(y-ye)^2$	SQres/GLres	
Total	n-1	$\Sigma(y-ym)^2$		

Onde: y=valor observado da variável dependente; ye=valor estimado da variável dependente; ym=média das observações de y; GLreg=graus de liberdade da regressão; SQres=graus de liberdade do resíduo; SQreg=soma de quadrados da regressão; SQres=Soma de quadrados dos resíduos; QMreg=quadrado médio da regressão; QMres=quadrado médio dos resíduos=variância. Fonte: Bussab (1986)

ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVAS (S_{yx})

A raiz quadrada do Quadrado Médio dos Resíduos representa o Erro Padrão de Estimativas (S_{yx}), ou seja, é o erro médio das estimativas realizadas com a equação de regressão em relação às observações reais da variável dependente. Pode ser representado na forma de percentagem da média das observações, sendo então

denominado de Erro Padrão de Estimativas em Percentagem ($Sy_x\%$), também chamado de Coeficiente de Variação (CV) da regressão.

COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2)

Equações lineares

O coeficiente de determinação é dado pelo cociente entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados do total:

$$R^2 = SQ_{reg} / SQ_{total}$$

Sendo: R^2 =coeficiente de determinação; SQ_{reg} =soma de quadrados da regressão; SQ_{total} =soma de quadrados totais.

Equações não lineares

O coeficiente de determinação é dado pela diferença da unidade e a razão entre a soma de quadrados dos resíduos e a soma de quadrados do total:

$$R^2 = 1 - (SQ_{res} / SQ_{total})$$

Sendo: R^2 =coeficiente de determinação; SQ_{res} =soma de quadrados do resíduo; SQ_{total} =soma de quadrados totais.

4.11.3 Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj})

Quando necessário, nos casos de número diferente de parâmetros entre os melhores modelos, ou quando um modelo é linear e o outro não linear, ou ainda, quando dois modelos lineares são comparados e um deles apresenta a constante b_0 e o outro não, o R^2 deve ser ajustado, para possibilitar a comparação entre os modelos e escolha do melhor, pela equação:

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

Sendo: $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; k =número de parâmetros da equação; N =número de observações.

4.11.4 Validação das equações de regressão

Os testes utilizados para validação das equações de regressão foram realizados utilizando-se o pacote estatístico SAS System conforme procedimentos descritos por SAS (2004).

A validação das equações selecionadas foi realizada determinando-se:

- 1) A homocedasticidade da variância através do teste χ^2 de White;
- 2) A independência dos resíduos através do teste de Durbin-Watson, ou por meio do teste de Breusch-Godfrey ;
- 3) A normalidade da distribuição dos resíduos através dos testes de Kolmogorov-Smirnov ou de Shapiro-Wilk.

1. Homocedasticidade da variância

Uma das principais pressuposições para os mínimos quadrados da regressão usual é a homogeneidade da variância (homocedasticidade). Se o modelo for bem-ajustado, não deveria haver nenhum padrão para os resíduos delineados (plotados) contra os valores ajustados. Se a variância dos resíduos não é constante, então é dito que a variância residual é "heterocedástica". Há métodos gráficos e não gráficos para detectar heterocedasticidade. Um método gráfico geralmente usado é delinear (plotar) os resíduos contra valores ajustados, conforme descrito na seção "3.9 Critérios para seleção de equações de regressão". O SAS System calcula os resíduos e valores ajustados através dos procedimentos GLM, REG e NLIN, que podem ser apresentados em um gráfico. Quando os resíduos são distribuídos sem nenhum padrão, não há heterocedasticidade.

Um método matemático para determinar se há homogeneidade de variância dos resíduos e que é possível de ser executado através do SAS System é o teste de White (SAS, 2004). O teste de White é computado achando nR^2 de uma regressão de e^2 sobre todas as variáveis distintas em $X \times X$, onde X é o vetor de variáveis dependentes incluindo uma constante. Esta estatística é distribuída assintoticamente como Qui-quadrado (χ^2) com $k-1$ graus de liberdade, onde k é o número de regressores.

O método testa a hipótese nula de que a variância residual é homogênea. Então, se o valor “p” for muito pequeno, a hipótese é rejeitada e aceita-se a hipótese alternativa de que a variância não é homogênea. Para isso é utilizada a opção “SPEC” na declaração do modelo conforme o exemplo a seguir:

```
PROC REG;  
MODEL Y = X / SPEC;
```

O teste também pode ser executado através da opção WHITE da declaração FIT do procedimento MODEL no SAS, como no exemplo a seguir:

```
PROC MODEL;  
PARMS A B C;  
Y = A + B * X1 + C * X2;  
FIT Y / WHITE;
```

2. Independência dos resíduos

Teste de Durbin-Watson

O teste de Durbin-Watson realiza a avaliação de erros do tipo AR(1). O valor da estatística “d” de Durbin-Watson (SAS, 2004) é obtido através da opção CLM da declaração MODEL do procedimento GLM do SAS, ou ainda da opção DWPROB da

declaração FIT do procedimento MODEL, ou ainda da opção DW da declaração MODEL do procedimento REG, conforme o exemplo abaixo:

```
PROC REG;
    MODEL Y=X1 X2 / DW;
```

É esperado que a estatística “d” seja aproximadamente igual a 2, se os resíduos forem independentes. Caso contrário, se os resíduos forem correlacionados positivamente, tenderá a ser próxima de 0 (zero), ou próxima de 4, se os resíduos forem correlacionados negativamente (Nemec, 1996).

O valor de d é dado por:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (E_i - E_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n E_i^2}$$

Sendo: d = estatística “d” de Durbin-Watson; E_i = erro estocástico = $\hat{Y}_i - Y_i$;
 n = número de observações; \hat{Y}_i = valor estimado; Y_i = valor observado.

Teste de Breusch-Godfrey

O teste de Breusch-Godfrey contempla a possibilidade de erros do tipo ARMA(p,q), com erros de ordem de 1 a n. O teste está disponível no SAS como opção da declaração FIT, do procedimento MODEL, como no exemplo:

```
PROC MODEL DATA=DADOS;
    PARS A=1 B=1;
    Y=A*X**B;
    FIT Y / GODFREY=3; *TESTA A
                                AUTOCORRELAÇÃO DE
                                ERROS DE ORDEM 3;
```

3. Normalidade da distribuição dos resíduos

O princípio deste teste baseia-se na comparação da curva da frequência cumulativa dos dados com a função de distribuição teórica em hipótese. Quando as duas curvas se sobrepõem a estatística de teste é calculada através da máxima diferença entre ambas. A magnitude da diferença é estabelecida segundo a distribuição de probabilidade dessa estatística, que se encontra tabelada. Se os dados experimentais se afastam significativamente do que é esperado da distribuição em hipótese, então as curvas obtidas devem encontrar-se igualmente afastadas e, por um raciocínio análogo, se o ajustamento ao modelo hipotético é admissível, então as curvas têm um desenvolvimento próximo.

A estatística (D) de Kolmogorov-Smirnov (SAS, 2004) é uma estatística do tipo Função de Distribuição Empírica (EDF). A Função de Distribuição Empírica (EDF) é definida para um conjunto de n observações independentes X_1, \dots, X_n com uma função de distribuição comum $F(x)$. Sob a hipótese de nulidade, $F(x)$ é a distribuição normal. As observações são ordenadas da menor para a maior como $X(1), \dots, X(n)$.

A função de distribuição empírica $F_n(x)$, é definida como:

$$F_n(x) = 0, x < X(1)$$

$$F_n(x) = i/n, X(i) \leq x < X(i+1), \quad i = 1, 2, \dots, n-1$$

$$F_n(x) = 1, x_{(n)} \leq x$$

$F_n(x)$ é uma função sequencial que avança em $[1/n]$ a cada observação. Esta função calcula a função de distribuição $F(x)$. A qualquer valor x , $F_n(x)$ é a proporção de observações menor que ou igual a x , enquanto $F(x)$ é a probabilidade de uma observação ser menor que ou igual a x . Estatísticas de EDF medem a discrepância entre $F_n(x)$ e $F(x)$. As fórmulas computacionais para as estatísticas de EDF fazem uso da transformação da integral de probabilidade $U=F(X)$. Se $F(X)$ é a função de distribuição de X , a variável aleatória U é distribuída uniformemente entre 0 e 1.

Dadas n observações de $X(1), \dots, X(n)$, os valores $U(i)=F(X(i))$ são computados como mostrado a seguir. A estatística (D) de Kolmogorov-Smirnov é baseada na maior diferença vertical entre $F(x)$ e $F_n(x)$, sendo definida como:

$$D = \sup_x |F_n(x) - F(x)|$$

A estatística de Kolmogorov-Smirnov é computada como o máximo de D^+ e D^- , onde D^+ é a maior distância vertical entre o EDF e a função de distribuição quando o EDF é maior que a função de distribuição e D^- é a maior distância vertical quando o EDF for menor que a função de distribuição.

$$D^+ = \max_i ((i/n) - U_{(i)})$$
$$D^- = \max_i (U_{(i)} - (i-1)/n)$$
$$D = \max (D^+, D^-)$$

O procedimento CAPABILITY do SAS System usa a estatística D de Kolmogorov modificada para testar os dados contra a distribuição normal com média e variância igual à média e variância da amostra. No procedimento MODEL a estatística é utilizada somente para amostras acima de 2000 indivíduos. No caso de pequenas amostras é utilizado o teste de Shapiro-Wilk descrito na secção “3.8 Teste de normalidade dos dados” em substituição ao teste de Kolmogorov-Smirnov. No procedimento MODEL o teste de normalidade é obtido pela opção NORMAL da declaração FIT como no exemplo:

```
PROC MODEL ;  
  PARS A B C ;  
  Y=A+B*X1+C*X2 ;  
  FIT Y / NORMAL ;
```

4.12 Análise de covariância

A análise de covariância é realizada para verificar a necessidade do uso de funções independentes para as covariáveis, por exemplo, para descrição de relação hipsométrica e de volume em que a covariável pode ser representada pelo índice de sítio, ou a idade. Segundo Storck e Lopes (1998), no cálculo da covariância é possível verificar a pressuposição da homogeneidade dos coeficientes da regressão linear estimados ($\hat{\beta}$), calculando-se separadamente um coeficiente para cada classe e, então, testando-se a igualdade dos mesmos.

Schneider (1998) utiliza o valor de “F” da interação da covariável com a variável dependente estimada (\hat{Y}), calculada pela soma de quadrados de produtos corrigidos, para comparar as diferenças entre as inclinações e utiliza o valor de “F” calculado para a covariável através da soma de quadrados de produtos corrigidos do modelo sem interação para comparar a diferença entre níveis, quando não há diferença entre inclinações. No SAS, as somas de quadrados de produtos corrigidos são obtidas através da opção SS3 da declaração MODEL do procedimento GLM.

5 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS

A qualidade dos sítios pode ser verificada por meio de fatores intrínsecos dos povoamentos ou extrínsecos.

Fatores intrínsecos dos povoamentos são os que dizem respeito às características relacionadas às árvores e à própria floresta, como:

- Altura dominante ou média.
- Crescimento médio máximo.
- Volume total ao final do ciclo ou rotação.
- Intercepção.

Fatores extrínsecos dos povoamentos são aqueles relacionados ao ambiente, como:

- Fatores do biótopo – clima; litologia; edafologia; morfologia.
- Fatores da biocenose – espécies indicadoras (sociologia); associações indicadoras (fitossociologia).

A qualidade do sítio é definida como a capacidade de uma área de Crescimento árvore. É a resposta, não desenvolvimento de uma espécie em particular, para todas as condições ambientais. Tem sido quase universalmente adotada para representar a qualidade do site através de valores quantitativos conhecidos como índice de produtividade e índice de sítio.

O índice de produtividade é normalmente expresso pelo aumento médio do volume anual com a idade de rotação. Geralmente, o índice de sítio é expresso por meio altura dominante de Assmann (h_{100}) em uma idade de referência.

Os métodos para desenvolver as funções de índice de sítio variam com 4 fatores: princípio aplicado, tipo de dados, método de construção e modelo empregado.

O método mais amplamente utilizado tem sido o que usa a altura como índice de sítio. As árvores dominantes são utilizadas porque são as menos afetadas pelo manejo da população e se mantêm não estande até o final da rotação. É necessário descrever matematicamente o crescimento da altura dominante por meio de funções, para estabelecer a classificação dos sítios.

As curvas de índice de sítio de uma floresta com diferentes qualidades de sítios podem ser semelhantes e proporcionais sendo denominadas de monomórficas, ou não e apresentar curvas de diferentes formas, sendo denominadas de polimórficas (Figura 39).

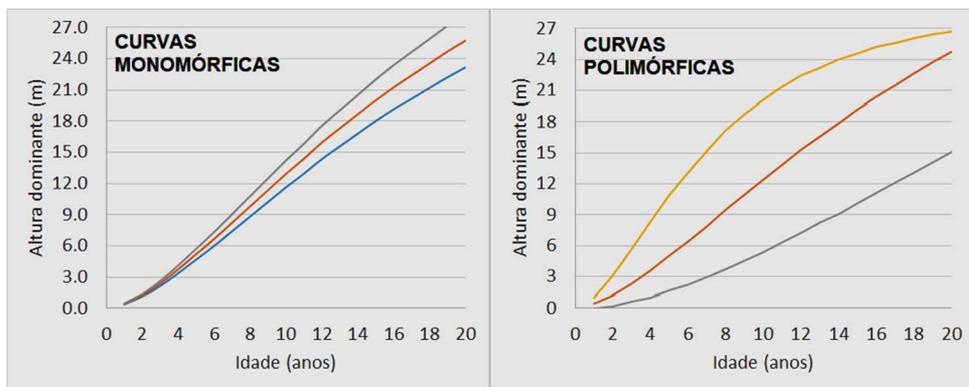


Figura 39 - Formas das curvas de índice de sítios.

Os dados para desenvolver curvas de índice de sítio podem ser derivados de:

- Parcelas temporárias – só é possível para calcular curvas isomórficas;
- Parcelas permanentes - curvas isomórficas ou polimórficas;
- Análise de tronco - curvas isomórficas ou polimórficas.

Há três métodos para construção das curvas de índice de sítios:

- Método da curva guia;
- Método da equação de diferença;

- Método da regressão aninhada.

5.1 Método da curva guia

É o método mais tradicional para construção de curvas isomórficas. Primeiro ajusta-se uma equação geral para estimar a altura dominante e estima-se a altura dominante por meio da equação para todas as idades, sendo a curva assim determinada chamada de “curva guia”. Então, escolhe-se uma idade em torno de 70% da idade de rotação do povoamento para servir de referência. Nesta idade, verifica-se a altura dominante ocorrida e aproxima-se para o valor par mais próximo que será o índice de sítio central ou base (exemplo: se a h_{100} ocorrida na idade escolhida for 20,5m, arredonda-se para 20; se for 21,2m, arredonda-se para 22). Depois, atribui-se valores para os índices de sítio de 2 em 2 metros para abranger toda a amplitude de valores da altura dominante que ocorrem na idade de referência, a partir do índice de sítio central; estes serão os Índices de Sítio (IS) da tabela. Depois, calcula-se os valores da altura dominante de cada índice de sítio (IS) em cada idade (t) por proporção das alturas dominantes determinadas pela equação, como se descreve a seguir.

Após a determinação dos IS na idade de referência, determina-se os valores das alturas dominantes (H_{DOM}) para as demais idades em cada IS pelas equações:

- Para idades menores que a idade de referência:

$$H_{DOM(t)} = IS \cdot h_{100(t)} / h_{100(t+1)}$$

- Para idades maiores que a idade de referência:

$$H_{DOM(t)} = IS \cdot h_{100(t)} / h_{100(t-1)}$$

Onde: $H_{DOM(t)}$ = altura dominante na idade t para o IS considerado, em metros; IS = Índice de Sítio em metros; $h_{100(t)}$ = altura dominante da curva guia na idade t ; $h_{100(t+1)}$ = altura dominante da curva guia na idade $t+1$; $h_{100(t-1)}$ = altura dominante da curva guia na idade $t-1$; t = idade em anos.

Exemplo:

Considere-se a seguinte equação ajustada para a altura dominante:

$$h_{100} = 40 (1 - e^{(-0,07 \cdot t)})^{1,7}$$

Calculando-se a curva guia como na Tabela 22 e escolhendo-se os 15 anos como idade de referência, obtém-se a altura dominante de 19,2 metros nesta idade, que se aproximou para 20 metros, por ser o valor par mais próximo de 19,2m, como o índice de sítio central. Para abranger as alturas dominantes dos povoamentos florestais determinadas no inventário florestal, que apresentam valores mínimo de 16,5m e máximo de 23,8m, determinou-se os índices de sítios de 2 em 2 metros partindo-se do IS central de 20m: 16, 18, 20, 22, e 24, que formam os títulos das colunas da tabela de IS e são os mesmos valores da H_{DOM} dos IS na idade de referência. Depois calculou-se os valores das $H_{DOM(t)}$ em cada idade t e IS considerado.

Tabela 22 - Exemplo de tabela de índices de sítios.

Idade (anos)	h ₁₀₀ Curva Guia (m)	Índices de Sítios – IS				
		16	18	20	22	24
1	0,4	0,3	6,0	6,7	7,3	8,0
2	1,2	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5
3	2,3	1,9	2,2	2,4	2,6	2,9
4	3,6	3,0	3,4	3,8	4,1	4,5
5	5,0	4,2	4,7	5,2	5,7	6,3
6	6,4	5,3	6,0	6,7	7,3	8,0
7	7,9	6,6	7,4	8,2	9,1	9,9
8	9,4	7,8	8,8	9,8	10,8	11,8
9	10,9	9,1	10,2	11,4	12,5	13,6
10	12,4	10,3	11,6	12,9	14,2	15,5
11	13,8	11,5	12,9	14,4	15,8	17,3
12	15,3	12,8	14,3	15,9	17,5	19,1
13	16,6	13,8	15,6	17,3	19,0	20,8
14	17,9	14,9	16,8	18,6	20,5	22,4
15	19,2	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0
16	20,4	17,0	19,1	21,3	23,4	25,5
17	21,5	17,9	20,2	22,4	24,6	26,9
18	22,6	18,8	21,2	23,5	25,9	28,3
19	23,7	19,8	22,2	24,7	27,2	29,6
20	24,7	20,6	23,2	25,7	28,3	30,9

H_{DOM(t)} por idade por IS, em metros

5.2 Método da equação de diferença

Utiliza-se para gerar tanto curvas anamórficas como polimórficas. É suposto que todo par de observações se aplica sobre a mesma relação altura-idade. Os dados são modificados algebricamente para produzir pares de diferenças consecutivas por:

$$\ln(Hd_2) - \ln(Hd_1) \text{ e } I_2^{-1} - I_1^{-1}$$

Onde: Hd= altura dominante; I = idade; índices 1 e 2 = sucessivas observações.

A seguinte equação é ajustada por regressão linear e é utilizada para gerar as outras curvas:

$$\underbrace{\ln(\text{Hd}_2) - \ln(\text{Hd}_1)}_Y = \hat{\beta}_1 \underbrace{(\text{I}^{-1}_2 - \text{I}^{-1}_1)}_X + \varepsilon$$

Onde: Hd= altura dominante; I = idade; índices 1 e 2 = sucessivas observações. Quando I₁ é igual à idade de referência (I₀) Hd₁ é igual ao índice de sítio (S).

5.3 Método da regressão aninhada

Pode ser gerada a partir de dados de análise de tronco ou parcelas permanentes. É um método de regressão hierárquica que compreende dois tipos:

- Equações com inclinação comum;
- Equações com termo independente comum.

6 COMPETIÇÃO

6.1 Índices de competição

Índices de competição são uma tentativa de quantificar a influência de plantas vizinhas sobre o crescimento de uma árvore individual. Muitos índices têm sido propostos, mas nem todos podem ser considerados funcionais; os índices de concorrência oferecem pouca utilidade para a previsão de rendimento em povoamentos "típicos", sendo que poucos índices fornecem melhores previsões do que a área basal e outras medidas simples de densidade de povoamentos e classificação de árvores, que são mais fáceis de estimar (VANCLAY, 1992).

Vanclay (1992) realizou uma revisão sobre os índices de competição entre árvores e concluiu:

Modelos de crescimento "silviculturais" projetados para investigar opções de manejo devem empregar índices de concorrência para fornecer previsões confiáveis sob extrema silvicultura. A necessidade de o modelo responder sensatamente a extremos de desbaste e poda sugere que os índices baseados na interceptação de luz (ou seja, tanto a área da copa quanto a vista do céu) têm maior potencial. Mesmo modelos relativamente simples baseados nesses princípios podem ser úteis (VANCLAY, 1992).

Portanto, antes de descrever os índices de competição, é bom frisar que os índices mais relacionados com o crescimento, são aqueles que levam em consideração a área basal do tronco e o diâmetro da copa. Entre os índices que têm apresentado boa correlação com o crescimento estão o índice BAL (Basal Area Larger), índice IOE (Índice de Ocupação do Espaço) e o índice de espaço vital (S%), que é calculado como porcentagem da razão entre o espaço médio entre árvores e a altura dominante. A maioria dos demais índices algumas vezes demonstram alguma correlação com o crescimento, mas raros se tornaram operacionais.

Contreras et al (2011), avaliaram 16 medidas de competição entre árvores e sua eficácia como estimadores do crescimento em área basal numa região semiárida, para três espécies de coníferas, encontrando fortes correlações entre vários índices de competição e crescimento de árvores. Os autores concluíram que os índices de competição dependentes da distância foram mais fortemente correlacionados com o crescimento, com o melhor deles explicando uma proporção maior de variação de crescimento do que o melhor índice independente de distância (64% vs. 56%), indicando que a competição ocorre em nível local. Baixas correlações entre os índices de valor de luz e o crescimento sugerem que nas condições semiáridas locais, as árvores não competem primariamente pela luz. Os índices utilizados são relacionados na Tabela 23.

Tabela 23 - Índices de competição avaliados por Contreras et al (2011).

Index	Sources	Equations
<i>Distance-independent competition indices</i>		
CI ₁	Reineke (1933)	$10^{(\log N + 1.605 \times \log dg - 1.605)}$
CI ₂	Referred as canopy closure in Rivas et al. (2005)	$(\sum_{i=1}^n (\pi \times cw_i^2)/4)/S$
CI ₃	Wykoff et al. (1982)	$(\sum_{j=1}^n (\pi \times d_{maxj}^2)/4) = BAL$
CI ₄	Schröder and Gadow (1999)	$(1 - [1 - (BAL/G)])/RS$
<i>Distance-dependent competition indices</i>		
CI ₅	Number of neighbors	n
CI ₆	Gerrard (1969)	$\sum_{i=1}^n O_i/Z$
CI ₇	Bella (1971)	$\sum_{i=1}^n (O_i \times d_i)/(Z \times d)$
CI ₈	Hegyí (1974)	$\sum_{i=1}^n d_i/(d \times dist_i)$
CI ₉	Braathe (1980), cited in Pukkala and Kolström (1987)	$\sum_{i=1}^n h_i/(h \times dist_i)$
CI ₁₀	Rouvinen and Kuuluvainen (1997)	$\sum_{i=1}^n \arctan(d_i/dist_i)$
CI ₁₁	Rouvinen and Kuuluvainen (1997)	$\sum_{i=1}^n (d_i/d) \times \arctan(d_i/dist_i)$
CI ₁₂	Rouvinen and Kuuluvainen (1997)	$\sum_{i=1}^n \arctan(h_i/dist_i)$
CI ₁₃	Rouvinen and Kuuluvainen (1997)	$\sum_{i=1}^n (h_i/h) \times \arctan(h_i/dist_i)$
<i>Light values</i>		
CI ₁₄	Sky's hemisphere	$(\sum_{i=1}^{2160} B_i)/2160$
CI ₁₅	Sky's hemisphere/sun position	$(\sum_{i=1}^{1080} B_{Ni}) + (\sum_{i=1}^{1080} 2 \times B_{Si})/3180$
CI ₁₆	Sun position	$(\sum_{i=1}^{63} B_i)/108$

Onde: N = árvores por ha na parcela; dg = diâmetro médio quadrático (cm); n = número de vizinhos dentro da área de competição de 11 m de raio; cwi = largura da copa da i-árvore vizinha (m); S = Área da parcela (m²); BAL = área basal das árvores vizinhas maiores que a árvore central (m²/ha); G = área basal total das árvores no raio de 11 m (m²/ha); RS = Índice de espaçamento relativo da parcela; O_i Área da zona de influência sobreposta entre a i-árvore vizinha e a árvore-central (m²); Z = área da zona de influência da árvore central (m²); d_i = DAP da i próxima árvore (cm); d = DAP da árvore central (cm); dist_i = distância horizontal da i-árvore vizinha à árvore central (m); h_i = altura da i-árvore vizinha (m); h = altura da árvore central (m); B_i = Variável binária que é 1 se o raio de luz i é bloqueado, ou 0 caso contrário; B_{Ni} = Variável binária associada a raios de luz orientados ao norte (azimutes de 270 a 90), sendo 1 se bloqueada e 0 caso contrário; B_{Si} = Variável binária associada a raios de luz orientados para o sul (azimute de 90 a 270), 1 se bloqueado e 0 caso contrário.

Maleki et al (2015) estudaram a relação de 18 índices de competição com o crescimento diamétrico de *Betula pendula* (Tabela 24).

Tabela 24- Índices de competição testados para uso em modelo de crescimento diamétrico por Maleki et al (2015).

Index	Sources	Equations
<u>Non-spatially explicit indices</u>		
<i>BA-g_j</i>	Steneker & Jarvis (1963)	$\sum_{j \neq i}^n (g_j) / S$
<i>BAL</i>	Wykoff <i>et al.</i> (1982)	$\sum_{d_i < d_j}^n (g_j) / S$
<i>Sdr</i>	Lorimer (1983)	$\left(\left(\sum_{j \neq i}^n d_j \right) / d_i \right) / S$
<i>dr_g</i>	Hamilton (1986)	d_i / d_g
<i>BAr</i>	Corrona & Ferrara (1989)	$\left(\left(\sum_{j \neq i}^n g_j \right) / g_i \right) / S$
<i>BALr</i>	Vanclay (1991)	$\sum_{j \neq i}^n (g_{j,dj > d_i}) / G$
<i>BALMOD</i>	Schröder & Gadow (1999)	$\left[\left(\sum_{d_i < d_j}^n (g_j) / G \right) \right] / RS$
<u>Spatially explicit indices</u>		
<i>SI</i>	Staebler (1951)	$\sum_{j \neq i}^n I_{ij}$
<i>SOr</i>	Gerrard (1969)	$\sum_{j \neq i}^n (O_{ij} / CZ)$
<i>SOdr</i>	Bella (1971)	$\sum_{j \neq i}^n ((O_{ij} \cdot d_j) / (CZ \cdot d_i))$
<i>SBAr</i>	Daniels <i>et al.</i> (1986)	$\left((d_i^2 \cdot N_c) / \sum_{j \neq i}^n d_j^2 \right)$
<i>Heg</i>	Hegy (1974)	$\sum_{j \neq i}^n (d_j / (d_i \cdot l_{ij}))$
<i>SAng1</i>	Lin (1974)	$2 \sum_{j \neq i}^n \arctan(d_j / 2l_{ij})$
<i>SAng2</i>	Rouvinen & Kuuluvainen (1977)	$\sum_{j \neq i}^n \arctan(d_j / l_{ij})$
<i>SdrAng</i>	Rouvinen & Kuuluvainen (1977)	$\sum_{j \neq i}^n ((d_j / d_i) \cdot \arctan(d_j / l_{ij}))$
<i>Almdg</i>	Alemdag (1978)	$\sum_{j \neq i}^n \left\{ \pi \left[(l_{ij} \cdot d_i) / (d_i + d_j) \right]^2 (d_j / l_{ij}) / \sum (d_j / l_{ij}) \right\}$
<i>Sdr11</i>	Lorimer (1983)	$\sum_{j \neq i}^n ((d_j / d_i) / \sqrt{l_{ij} / CZR})$
<i>Sdr12</i>	Martin & Ek (1984)	$\sum_{j \neq i}^n (d_j / d_i) \cdot \exp((16 \cdot l_{ij}) / (d_i + d_j))$

Onde: Nc = número de árvores concorrentes; di = d da árvore central (cm); dj = d da árvore concorrente (cm); dg = diâmetro da parcela ponderado pela área basal (cm); lij = distância entre o competidor j e a árvore central i (m); G = área basal das árvores dentro da parcela (m²/ha); gi = área basal da árvore central i (m²/ha); gj = área basal da árvore concorrente j (m²/ha); CZR = raio da zona de influência (m); RS = índice de espaçamento relativo da parcela; Oij = sobreposição de copas entre a árvore vizinha j e a árvore central i (m²); CZ = a área da zona de influência (m²); S = área da parcela (ha).

Os autores concluíram que o crescimento do diâmetro é uma função das interações da vizinhança e que os índices dependentes da distância (espaciais) foram melhores preditores de crescimento, mas as diferenças foram insignificantes em relação aos índices independentes da distância (não espaciais); verificaram também que os valores de luz de Ellenberg não contribuíram para a quantificação dos efeitos da competição.

Silveira et al (2015) estudaram a associação entre o incremento em diâmetro de *Trichilia clausenii* e índices de competição (Tabela 25).

Tabela 25 - Índices de competição utilizados por Silveira et al (2015).

Índice	Fórmula	Tipo	Fonte
BAL (Bal _i)	$Bal_i = \sum_{j=1}^{n_j} G_j$	Independente da distância	Davis (2001)
Glover & Holl (GH _i)	$GH_i = \frac{d_i^2}{\bar{d}^2}$	Independente da distância	Husch <i>et al.</i> (2003)
Glover & Holl Modificado (GHM _i)	$GHM_i = \frac{d_i^2}{\sum_{j=1}^{n_j} \bar{d}_j^2}$	Independente da distância	-
Hegyi (H _i)	$H_i = \sum_{j=1}^{n_j} \frac{(d_j/d_i)}{l_{ij}}$	Dependente da distância	Gadow e Hui (1999)
Spurr (G _{Pi})	$G_{P_i} = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^{n_j} \left[(i - 0,5) * \left(\frac{d_i}{l_{ij}} \right)^2 \right]$	Dependente da distância	Husch <i>et al.</i> (2003)
Spurr modificado (GM _{Pi})	$G_{P_i} = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^{n_j} \left[(i - 0,5) * \left(\frac{\sum_{j=1}^{n_j} d_i}{l_{ij}} \right)^2 \right]$	Dependente da distância	-
Razão altura/distância (RHL _i)	$RHL_i = \sum_{j=1}^{n_j} h_j/l_{ij}$	Dependente da distância	-

Onde: n: número de árvores competidoras; G_j: área basal das árvores competidoras (m²/ha); d_i: DAP da árvore central (cm); d_j: dap das árvores competidoras (cm); \bar{d} : DAP médio das árvores competidoras (cm); l_{ij}: distância entre árvore central i e árvore competidora j (m); D_c: diâmetro da copa; k: fator de área basal; h_j: altura das árvores competidoras; i: número de ordem da árvore central considerada; j: número de ordem da árvore competidora.

Os autores concluíram que o crescimento em diâmetro da espécie estudada possui maior relação com o índice BAL. Quanto maior a competição, menor o crescimento, mostrando que a espécie é fortemente afetada pelas competidoras. A relação do crescimento com o índice de saliência (IS) apontou que, quanto maior a copa, maior o crescimento da espécie, ou seja, árvores de *Trichilia clausenii* crescem

melhor com menor competição e maior copa. Os autores sugerem que o ajuste da densidade por meio de intervenções silviculturais poderia resultar em maior crescimento, sendo o IS uma informação relevante para o manejo florestal.

6.2 Índices baseados nas copas das árvores

6.2.1 Fator de Competição de Copas (FCC)

A determinação do FCC foi realizada em uma época em que o acesso a computadores era difícil e os cálculos com árvores individuais era quase impossível, além disso foi atrelado ao sistema de unidades inglês, o que dificulta comparações com o sistema decimal, tendo sido desenvolvido com base numa regressão linear simples para estimar o diâmetros das copas, o que pode não ser o melhor, pode ser considerado como um índice pouco prático e pode ser impreciso. Assim, sugere-se utilizar a proporção de ocupação do espaço pela projeção das copas das árvores (secção 6.2.2), que pode ser determinado com mais precisão e permite comparação com outros estudos, independentemente do sistema de unidades.

O FCC foi desenvolvido por Krajicek et al. (1961) e reflete a área disponível para a árvore média em um povoamento florestal em relação à área máxima que poderia usar se fosse em cultivo aberto. Para determinar os valores de FCC, deve ser estabelecida a razão entre o diâmetro da copa e o diâmetro do tronco para árvores de crescimento livre da espécie em estudo. Ajustando-se uma função para estimar o diâmetro da copa (DC) em função do diâmetro do tronco (d), representada por [$DC=f(d)$], que ser uma regressão linear simples do tipo:

$$DC = b_0 + b_1 \cdot d \quad (a)$$

Considerando que as copas das árvores cultivadas em áreas abertas têm forma circular, a máxima superfície de projeção da copa (MSPC), expressa em

percentagem por hectare (10000m^2), ocupada pela copa de uma árvore com um diâmetro (d), é computada como:

$$MSPC = 100. (\pi/4) . DC^2 / 10000\text{m}^2 = 0,007854.DC^2 \quad (b)$$

Substituindo-se (a) em (b), tem-se:

$$MSPC = 0,007854.(b_0 + b_1 . d)^2$$

$$\therefore MSPC = 0,007854.(b_0^2 + 2b_0.b_1.d + b_1^2.d^2) \quad (c)$$

O FCC de um povoamento é calculado a partir de uma tabela de distribuição por classe de diâmetro para o povoamento somando os valores de MSPC para cada classe de diâmetro e dividindo pela área em ha. O FCC é expresso pela equação:

$$FCC = (1/A) . (a_0.\sum n_i + a_1.\sum n_i.d_i + a_2.\sum n_i.d_i^2) \quad (d)$$

Onde: FCC = fator de competição de copas; A = área de 1 ha (10000m^2); n_i = frequência da classe i de diâmetros; d_i = diâmetro central da classe i ; a_0 , a_1 , a_2 = parâmetros da equação a ajustar.

É necessário ajustar previamente uma função para estimar o diâmetro da copa em função do diâmetro do tronco diâmetro de árvores de crescimento livre para determinar o valor do FCC. Embora não seja tão usado como outros índices de densidade de povoamento, verificou-se que ele está bem correlacionado com o crescimento e a produtividade de várias espécies (BURKHART e TOMÉ, 2012).

Krajicek et al. (1961) demonstraram o uso do FCC, iniciando pelo ajuste de uma função para estimar o DC em função de d para *Picea abies* (Figura 40).

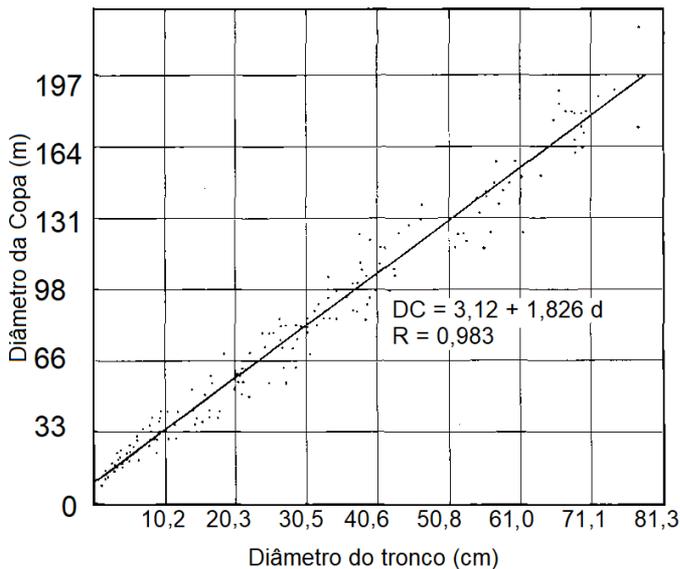


Figura 40 - Função para estimar o diâmetro da copa de *Picea abies* em função do diâmetro do tronco de árvores crescendo livres. Fonte: Krajicek et al (1961).

Sendo:

$$DC = 3,12 + 1,826.d, \text{ onde } b_0=3,12 \text{ e } b_1=1,826$$

Substituindo-se b_0 e b_1 na equação:

$$MSPC = 0,007854.(b_0^2 + 2b_0.b_1.d + b_1^2.d^2)$$

Tem-se a equação para estimar o MSPC_i:

$$MSPC_i = 0,007853982 (9,7344 + 11,41296 d + 3,345241 d^2)$$

$$\therefore MSPC_i = (0,076453799 + 0,089637178 d + 0,026273461 d^2) \quad (e)$$

Com a equação (e), o MSPC total é determinado para dados tabulados por classe de diâmetro de acordo com a Tabela 26.

Tabela 26 - Determinação do FCC para um povoamento equiâneo.

d_i (cm)	n_i (árv./ha)	n_i.d_i	n_i.d_i²	MSPC individual	MSPC total da classe i
1	24,7	24,711	24,711	0,192	4,753
2	17,3	34,595	69,189	0,361	6,241
3	123,6	370,658	1111,973	0,582	71,886
4	155,7	622,705	2490,820	0,855	133,162
5	190,3	951,355	4756,774	1,181	224,801
6	192,7	1156,452	6938,713	1,560	300,701
7	163,1	1141,626	7991,381	1,991	324,762
8	121,1	968,652	7749,218	2,475	299,683
9	76,6	689,423	6204,811	3,011	230,676
10	42,0	420,079	4200,788	3,600	151,236
11	17,3	190,271	2092,981	4,242	73,368
12	7,4	88,958	1067,494	4,935	36,587
13	2,5	32,124	417,608	5,682	14,040
Totais	1134,213	6691,608	45116,461	-	1871,897

Fonte: SCHNUR (1937) apud Krajicek et al (1961).

Substituindo-se os somatórios resultantes da tabela anterior na equação:

$$MSPC = 0,076453799 \sum ni + 0,089637178 \sum ni.di + 0,026273461 \sum ni.di^2$$

Obtém-se o resultado final para o valor da Máxima Superfície de Projeção das Copas (MSPC) ocupadas pelas árvores em um hectare, denominado de Fator de Competição de Copas (FCC):

$$FCC = 0,076453799 . 1134,213 + 0,089637178 . 6691,608 + 0,026273461 . 45116,461$$

$$FCC = 86.71486945 + 599.8168423 + 1185.365587$$

$$FCC = 1871,897298$$

6.2.2 Índice de Ocupação do Espaço (IOE)

Partindo-se do mesmo princípio de Krajicek et al (1961), utilizando-se o máximo de ocupação do espaço pelas árvores crescendo livres de competição para determinar a proporção do espaço do terreno ocupado pelas projeções de suas copas e ajustando-se uma equação de regressão qualquer para estimar o diâmetro das copas em função do diâmetro e de outras variáveis que sejam necessárias, como a altura, para se obter uma equação das melhores estatísticas, pode-se determinar a proporção do espaço ocupado pela superfície de projeção das copas das árvores.

Considerando-se uma função do tipo $DC=f(d)$, e que a superfície de projeção da copa no terreno é calculada por $SPC = \pi DC^2 / 4$, a proporção do espaço ocupado pela projeção das copas, ou Índice de Ocupação do Espaço pelas projeções das copas das árvores de uma unidade amostral pode ser calculado por:

$$IOE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi}{4} \cdot DC_i^2 \right)}{A}$$

Onde: IOE = índice de ocupação do espaço pelas árvores de uma unidade amostral; DC = diâmetro da copa da árvore i , calculado pela função $DC_i = f(d_i)$; n = número de árvores da unidade amostral; i = número de ordem da árvore na unidade amostral; A = área da unidade amostral.

Este índice permite a comparação com o resultado de outras pesquisas independentemente do sistema de unidades utilizado e da equação usada para estimar o diâmetro das copas, podendo ser considerado como uma variação do Fator de Competição de Copas (FCC) de Krajicek et al (1961).

7 DENSIDADE DOS POVOAMENTOS

Densidade é a medida de ocupação do terreno pelas árvores. Também, pode ser chamada de densidade do estande ou do sítio, podendo ser representada por vários índices, desde os mais simples como o número de árvores por hectare, até os baseados em teorias mais complexas.

Entretanto, as variáveis dos povoamento como número de árvores por hectare, área basal por hectare ou volume por hectare, só terão valor para o manejo da densidade se tiverem um padrão para comparação por idade e qualidade de sítio, pois sozinhas não expressam o nível de cobertura e uso do solo florestal. Os índices de densidade baseados em variáveis dendrométricas são principalmente os seguintes:

- Número de árvores (N – árvores/ha);
- Área basal (G – m^2 /ha);
- Volume (V – m^3 /ha);
- Fator de Competição de Copas (FCC);
- Índices especiais (Reineke, Hart-Becking, etc).

O principal objetivo de estudo da densidade dos povoamentos florestais é determinar quais árvores a colher em cada período para otimizar a produção de madeira para o fim desejado.

Considerando-se a densidade como a ocupação do espaço pelas árvores, quanto maior a taxa de ocupação, tanto mais massa verde existirá para promover o crescimento. Até uma determinada taxa de ocupação não haverá concorrência e as árvores crescerão livremente.

Nos povoamentos mais densos as árvores crescem mais retas e cilíndricas. Enquanto a altura da copa de uma árvore mantém-se maior do que 50% da sua altura

total, há pouca influência da densidade no crescimento individual; este indicador varia com a espécie, sítio e idade.

Quando a densidade se torna excessiva pelo crescimento das árvores e aumento da ocupação do solo, passa a induzir as árvores à morte, iniciando pelas dominadas e mais fracas e com menor copa. A esta mortalidade denomina-se de autodesbaste.

A partir de determinada taxa de ocupação, estabelece-se a concorrência. O tronco das árvores passa a engrossar menos, inicialmente na base das árvores menores. A medida que a densidade aumenta, o crescimento em diâmetro é reduzido também nas árvores maiores e em alturas mais elevadas. A altura das árvores é menos influenciada pela densidade, mas quando muito elevada, também o crescimento em altura é afetado.

A extrema concorrência entre plantas causada pela densidade pode levar à sua miniaturização. Uma leve concorrência pode levar a um maior crescimento em altura. Com a densidade, formam-se menos e menores ramos.

Com os desbastes, procura-se evitar a concorrência excessiva, impedindo o autodesbaste e a redução do crescimento individual, entretanto, há redução da massa verde e portanto, do crescimento por unidade de área.

A determinação e controle da densidade ideal deve levar em consideração as seguintes condições:

- Das próprias árvores – espécie, germoplasma e idade;
- Ambiente ou capacidade do sítio - solo, clima, topografia;
- Fatores econômicos – mercado e preço da madeira, custos da madeira em pé, custos de colheita, custo de transporte, etc.
- Disponibilidade de mão-de-obra.
- Destino da madeira - densidades mais elevadas do povoamento resultam em maior densidade e resistência da madeira, maior produção por hectare e árvores de menores dimensões.

Um bom índice de densidade deve apresentar as seguintes características:

- Simplicidade e objetividade;
- Quantificação absoluta e relativa;
- Independência do tipo de povoamento, idade e qualidade do sítio;
- Correlação com outras variáveis do povoamento;
- Permitir comparações quantitativas intra e entre povoamentos no espaço e no tempo;
- Facilitar a determinação da época e intensidade de desbastes.

Há muitas formas de medir a densidade, cada uma com suas características, mas nenhuma é considerada ideal. A escolha da medida para manejar a densidade dependerá da espécie, objetivos da produção, ambiente e de preferências pessoais. A avaliação da densidade pode ser realizada por medidas simples, por índices de densidade ou ainda por diagramas de densidade:

- Medidas simples: N, G, V, SPC;
- Índices de densidade: D-máximo de Mitchell; lei de autodesbaste de Yoda; índice de densidade de Reineke; Fator de Wilson; índice de espaçamento de Hart-Becking.
- Diagramas de densidade: IDS (SDID), DMDP (SDMD).

Os índices de densidade procuram combinar uma variável biométrica (d, h, g, v) com o n° de árvores por ha.

7.1 Densidade populacional

É representada pelo número de árvores existentes por unidade de área, sendo a medida mais simples de densidade.

É muito utilizada para compor índices junto com outras variáveis, mas não deve ser utilizada sozinha, pois não dá ideia da ocupação do espaço pelas árvores – poucas árvores grandes podem ocupar maior percentagem do espaço do que muitas árvores pequenas.

A densidade populacional é calculada por:

$$N = 10000 \cdot n / S$$

Onde: N = número de árvores por hectare (n/ha); n = número total de árvores amostradas; S = área total de terreno amostrada.

7.2 Área basal por unidade de área

Representa a ocupação da área pela secção transversal dos troncos das árvores. Pode ser utilizada como índice de densidade, pois envolve a dimensão das árvores e o espaço ocupado e tem alta relação com a superfície de copa. Quando determinada em termos de máximo e mínimo por idade, permite determinar a taxa de desbaste. É calculada por:

$$G = 10000 \sum g / S$$

Onde: G = área basal por hectare (m²/ha); $\sum g$ = soma das áreas basais das árvores amostradas; S = área total de terreno amostrada.

7.3 Superfície de copa por unidade de área

Representa a ocupação da área pela secção transversal das copas das árvores. Pode ser utilizada como índice de densidade, pois envolve a dimensão das árvores e o espaço ocupado e tem alta relação com a capacidade fotossintética. Permite determinar a taxa de desbaste ao se estabelecer valores mínimos de

ocupação por sítio para obter-se a máxima produtividade com as dimensões desejadas para a madeira.

É calculada por:

$$S_{copa} = 10000 \sum s_{copa} / S$$

Onde: S_{copa} = superfície de copa por hectare (m^2/ha); $\sum s_{copa}$ = soma das superfícies das copas das árvores amostradas; S = área total de terreno amostrada.

7.4 Volume por unidade de área

Representa a ocupação tridimensional da área pelos troncos das árvores. Pode ser utilizado como índice de densidade, pois envolve a dimensão das árvores e o espaço ocupado. Quando monitorado, permite otimizar a produtividade e estabelecer limites máximo e mínimo para o estoque em cada idade, para cada sítio.

É calculado por:

$$V = 10000 \sum v / S$$

Onde: V = volume por hectare (m^3/ha); $\sum v$ = soma dos volumes das árvores amostradas; S = área total de terreno amostrada.

7.5 Índices de densidade

7.5.1 Fator de Wilson

Wilson (1946) considerou a distância média entre árvores como derivada da relação entre a altura dominante e um fator de espaçamento fw :

$$E = h_{dom} \cdot fw$$

E , sendo:

$$E = \sqrt{(10000/N)}$$

Substituindo-se a primeira equação na segunda, têm-se:

$$h_{dom} \cdot fw = \sqrt{(10000 / N)},$$

De que se deduz o Fator de Wilson (fw), que é calculado por:

$$fw = 100 / (h_{dom} \cdot \sqrt{N})$$

Onde: h_{dom} = altura dominante (m); N = número de árvores por hectare.

O F_w varia com espécie e com o tratamento do povoamento. Diminui com a tolerância da espécie e aumenta com a intensidade de desbaste.

Um estudo na Inglaterra demonstrou que $fw = 0,2$ é o valor apropriado para o grau de desbaste C/D, admitido como padrão e os graus C, D e E representariam, respectivamente, 1,5; 0,75 e 0,5 do índice de densidade do grau padrão, ou seja, valores de fw iguais a 1,6, 0,23 e 0,28, respectivamente.

7.5.2 Índice de espaçamento relativo de Hart-Becking

É determinado pela percentagem da distância média entre árvores em relação à altura dominante.

Pode ser utilizado para a determinação da taxa de desbaste desde que conhecidos os valores máximo e mínimo para cada idade.

Povoamentos de coníferas mais velhos e sítios melhores suportam menor espaçamento relativo do que os de folhosas mais jovens em sítios piores (as taxas máximas variam entre mínimo de 16% e máximo de 25% dependendo da espécie, da qualidade do sítio e idade do povoamento).

O índice é calculado por:

$$S\% = 100 DM / h_{dom}$$

Onde: S% = índice de espaçamento relativo (%); DM = distância média entre árvores (m) = $\sqrt{(10000/N)}$; h_{dom} = altura dominante (m).

O índice de espaçamento relativo (S%) é apresentado na tabela a seguir em função da distância e altura dominante. Os valores em verde claro são os que geralmente combinam maior produtividade do povoamento por unidade de área com maiores dimensões das árvores.

7.5.3 Índice de densidade de Reineke

Desenvolvido em 1933, é calculado pelo número de árvores (N) e o diâmetro da árvore de área basal média (dg) (BURKHART e TOMÉ, 2012).

Reineke obteve uma relação linear entre o logaritmo de N e do dg, pela função:

$$\log N = a . \log dg + K$$

A medida de densidade baseada nestas duas variáveis é denominada de Índice de Densidade do Povoamento (IDR).

A reta definida pela equação representa o nº árvores/ha de uma série de observações para uma floresta equiânea em densidade completa.

Reineke (1933) observou que a inclinação da reta era muito semelhante em diversas situações podendo-se utilizar o valor de -1,605, ficando:

$$\log N = -1,605 . \log dg + K$$

Onde: N = número de árvores/acre; d = diâmetro da árvore de área basal média; K = constante que varia com a espécie.

Reineke mostrou que levando a um papel logaritmo, o do número de árvores (N) na ordenada e o do diâmetro quadrático médio (dg) na abcissa obtém-se uma relação linear entre as variáveis.

O índice independe da idade e do sítio e expressa o número de árvores por hectare para um povoamento equiâneo em densidade completa.

7.6 Controle da densidade

O controle da densidade ao longo da vida de um povoamento florestal é realizado por meio de cortes intermediários entre a plantação da floresta até o final da rotação, denominados de desbastes.

7.6.1 Densidade de plantio

A densidade de plantio depende das dimensões da madeira a obter e do tamanho das máquinas utilizadas para manutenção e colheita. Toras mais grossas são obtidas com espaçamentos mais largos, mas a produtividade por hectare é maior com espaçamentos iniciais menores, pois as copas se fecham mais cedo, realizando mais fotossíntese. As máquinas de manutenção usualmente tem menos de 2,5 m de largura e cruzam em espaços entre 3 e 3,5 m com alguma facilidade, enquanto as máquinas de colheita tem limitações quanto ao alcance para fazer desbastes seletivos. Espaçamentos de plantio de 3 metros entre linhas e de 2 a 3 metros entre plantas na linha são comuns para produção de madeira fina. Para madeira com destino à serraria e torno, há empresas que adotam espaçamentos de 4 a 6 metros entre linhas e de 2 a 3 metros entre plantas nas linhas.

A experimentação com espaçamentos de plantio é uma prática desejável para se definir o melhor para obter os produtos desejados.

7.6.2 Desbastes

São cortes culturais intermediários executados nos povoamentos imaturos para favorecer o crescimento das árvores que permanecerão no povoamento por mais tempo com a finalidade de obter madeira de maiores dimensões e de maior valor agregado.

OBJETIVOS DOS DESBASTES

Os principais objetivos dos desbastes são:

- 1) Utilizar ou vender as árvores que poderiam morrer e se decompor.
- 2) Redistribuir o crescimento da madeira de árvores de menor qualidade para as de maior, aumentando o valor da madeira das árvores remanescentes.
- 3) Aumentar a rentabilidade das árvores em crescimento, reduzindo o investimento em pleno volume.
- 4) Prover dinheiro para pagar os investimentos, com a renda do desbaste.
- 5) Melhorar usos não-madeireiros da floresta, tais como pastejo, vida selvagem e recreação.
- 6) Obter rendas periódicas mais frequentes.

TIPOS DE DESBASTES

Podem ser de três tipos principais:

- Seletivos - são cortadas árvores de algumas classes de dominância;
- Sistemáticos - são cortadas linhas inteiras de árvores;
- Mistos - são combinações de sistemáticos e seletivos.

Desbaste seletivo por baixo - são cortadas as menores árvores do povoamento. Exemplo: desbaste por baixo em plantio original de 3m x 2m, ou 1667 árvores/ha, com remanescente das 950 árvores/ha (57%) superiores. Alguns pontos ficam mais concentrados do que outros nos desbastes por baixo, sendo necessário fazer controle dos espaços entre as árvores durante a marcação do desbaste. A

qualidade da marcação depende da habilidade e experiência dos marcadores. Como resultado dos desbastes por baixo obtém-se povoamentos com mais espaço para as remanescentes, árvores maiores e de maior valor, portanto.

Desbastes sistemáticos – Eliminam-se linhas inteiras de árvores em cada ocasião; podem ser programados de diferentes formas; por exemplo: corte da 5ª linha no primeiro desbaste para formar os carregadores de baldeio; corte de uma a cada duas linhas em uma única ocasião; corte da 13ª linha no primeiro, da 5ª e 9ª linhas no segundo e da 3ª, 7ª e 11ª no terceiro; corte da 6ª linha no primeiro desbaste e da 3ª linha no segundo; etc.

Usualmente, é realizado um corte misto na primeira ocasião, eliminando-se a 5ª linha de plantio, pois as máquinas (harvester e feller-buncher) alcançam a duas linhas de distância para cada lado, permitindo realizar um desbaste seletivo complementar no restante das linhas intermediárias - o corte sistemático, neste caso, tem também como objetivo a facilitação do baldeio da madeira. Na segunda ocasião, pode ser realizado somente um novo corte seletivo por baixo;

7.7 Efeitos dos desbastes sobre a floresta e as árvores

A fotossíntese é o processo que armazena energia para as árvores, sendo controlada pela disponibilidade de:

- Temperatura;
- Luz solar;
- Água;
- Nutrientes;
- Massa verde da árvore (quantidade de clorofila).

A temperatura controla a respiração, que usa o alimento para manter os processos de vida da árvore e liberar a energia necessária para o crescimento. A taxa

de crescimento depende de quanta energia e alimento sobram depois que a árvore usa o que necessita para a respiração.

Removendo algumas árvores e reduzindo a competição sobram mais nutrientes e água para as remanescentes. A abertura provocada no dossel aumenta a disponibilidade de luz para as árvores que ficaram. Isso faz com que aumente a produção de carboidratos. Inicialmente, após desbastes, há uma aceleração do crescimento em diâmetro. Normalmente, há maior aceleração do crescimento em diâmetro do que em altura. O crescimento em altura somente será afetado se a densidade anterior tivesse chegado a níveis prejudiciais para o crescimento em altura.

O efeito sobre o crescimento das árvores varia de espécie para espécie e com a idade das árvores. Árvores mais velhas (após o culmínio do ICA) respondem menos aos desbastes, particularmente as espécies heliófilas. Espécies tolerantes à sombra podem crescer na sombra e respondem mais aos desbastes em idades mais avançadas. Em alguns casos, o desbaste provoca desaceleração do crescimento e até a morte de árvores. Esta reação indesejável ao desbaste é chamada “choque de desbaste”. Ocorre em árvores com copas pequenas com comprimento menor que 1/3 da altura total da árvore.

Desbastes Repetidos estimulam vigoroso crescimento e promovem a formação de copas com mais de 40% da altura total da árvore. O choque causado pelos desbastes é improvável em tais povoamentos.

Bertoloti et al (1983) estudaram o efeitos do desbaste sobre o crescimento das árvores num experimento de desbaste com *Pinus caribaea* com os seguintes tratamentos:

- 1) Desbaste mecânico (corte raso) em toda 3a linha;
- 2) Desbaste por baixo (retirada das árvores inferiores)
- 3) Desbaste mecânico em toda 5a linha + desbaste por baixo (Método combinado);
- 4) Desbaste mecânico em toda 9a linha + desbaste por baixo (Método combinado);

- 5) Desbaste mecânico em toda 13a linha + desbaste por baixo (Método combinado);
- 6) Desbaste mecânico em toda 17a linha + desbaste por baixo (Método combinado);
- 7) Desbaste mecânico em toda 19a linha + desbaste por baixo (Método combinado)
- 8) Testemunha (sem desbaste);
- 9) Desbaste por baixo -30% das árvores inferiores a cada 2 anos.

Os autores concluíram que, considerando os resultados obtidos até os 14 anos de idade: o primeiro desbaste pode ser realizado aos 11-12 anos de idade para a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* plantado em espaçamento de 2m x 2m, em Agudos - SP; os desbastes tiveram como consequência aumentar consideravelmente o número de indivíduos com diâmetro superior a 25 cm em relação à testemunha até o triplo, dependendo do tratamento, mas sem aumentar a produção total em volume de madeira.

Os desbastes sempre reduzem a produção total de madeira, pois a área ocupada pelas copas é reduzida com a operação, diminuindo o crescimento por unidade de área florestal. A produção de madeira grossa é aumentada, pois as árvores remanescentes crescem com maior vigor após o desbaste.

7.7.1 Intensidade e Idade do 1º desbaste

O 1º desbaste deve ser realizado antes do máximo ICA em diâmetro, enquanto as árvores estão com suas copas bem formadas; depois, já estarão perdendo vitalidade e não serão capazes de aproveitar integralmente a ampliação do espaço.

O crescimento das remanescentes é maior quando o desbaste é mais cedo e as copas ainda não se fecharam completamente.

Quando o 1º desbaste for cedo, o período de rotação será menor.

A produção total será tanto maior, quanto menor a intensidade dos desbastes.

Quanto mais forte for o desbaste e mais longo seu ciclo maior será a proporção do estoque removido.

7.7.2 Critérios para o 1º desbaste

- Deve ser desbastada uma quantidade suficiente de madeira para ser econômico – quanto mais tardio e maior a intensidade, melhor;
- Não deve afetar a estabilidade do povoamento – quanto mais tardio e intenso, pior (ventos);
- Não deve ser tardio demais que reduza o incremento individual futuro;
- Deve ser realizado na idade de máximo ICA em DAP;
- Deve ser realizado quando o S% cair abaixo de 18 % e antes de atingir 16% (para *Pinus elliottii* e *Eucalyptus* sp.);
- A intensidade deve ser tal que o povoamento volte a fechar as copas no período previsto até o próximo corte.

7.7.3 Escolha das árvores a desbastar

- Sanidade – árvores saudáveis são preferidas para remanescer.
- Qualidade do fuste – árvores de boa qualidade devem remanescer;
- Dimensões – árvores pequenas são preferidas para desbastar;
- Distribuição espacial – evitar excesso de densidade local.

7.7.4 Considerações sobre os Desbastes

De um lado deve ser cortado um volume de madeira suficiente para ser econômico, do outro lado, a percentagem cortada não deve afetar a estabilidade do povoamento nem afetar o incremento futuro (produtividade por hectare);

Deve ser combinado com espaçamento adequado de plantio para os objetivos da floresta e para proporcionar o menor número possível de desbastes consecutivos, pois são geralmente operações de baixa lucratividade

Algumas vezes, o primeiro desbaste é considerado como pré-comercial, pois o seu objetivo principal, neste caso, não é a produção de madeira.

7.7.5 Marcação de Desbastes

O tamanho das árvores a desbastar depende do crescimento previsto para as remanescentes; pode ser determinado por vários métodos, como o que usa o espaçamento relativo à altura dominante.

A escolha de cada árvore a desbastar é determinada levando-se em consideração os seguintes critérios de prioridade:

- Tamanho da árvore (diâmetro limite de corte e classe de dominância);
- Vitalidade e sanidade;
- Qualidade e forma do tronco;
- Distribuição espacial das árvores.

7.7.6 Cálculo de desbaste

Alguns dos métodos mais divulgados:

- Mexicano - usa a fórmula de juros compostos aplicada ao crescimento;
- Inglês - corte de 30% do volume previsto de crescimento até o próximo desbaste;
- Da Área Basal – usa limites de área basal máxima e mínima desejados por hectare por idade (baseado em experimentos ou dados locais);
- Pelo S% - usa o índice de espaçamento relativo de Hart-Becking;
- Croata – semelhante ao mexicano;
- Abetz – usa a relação h/d como referência para desbaste;
- Wilson – usa a relação entre o espaçamento, a altura dominante e o fator de espaçamento de Wilson.

7.7.7 Cálculo de desbaste pelo Índice de Hart-Becking

Altura dominante (h_{100}): é a altura média das 100 árvores mais grossas por hectare;

Espaçamento relativo (S%): é a razão, expressa em percentagem, entre a distância linear média (EM) entre árvores e a altura dominante (h_0).

Desbastes por baixo determinados pelo espaçamento relativo (Índice de Hart-Becking):

- Espaçamento relativo de 24% é muito aberto;
- Espaçamento relativo de 16% é muito fechado;
- Os desbastes devem ser realizados quando o S% está entre 16% e 18%, ampliando-se para 21% a 24%;
- Povoamentos mais velhos, suportam maior densidade.

7.7.8 Método Inglês de desbaste

O método inglês (SCHNEIDER, 1993) determina uma taxa anual de corte de 70% do IMA máximo;

Para conhecer o Incremento Médio Anual máximo ($IMA_{máx}$), é necessário utilizar uma tabela de produção, pois na idade de 1º desbaste, ainda não foi atingido;

É recomendado também um peso de desbaste máximo de 40% do volume, devido aos riscos de danos por vento e redução excessiva do incremento anual pós-desbaste.

A taxa de corte (TC) é calculada por:

$$TC = 70 * IMA_{máx} / 100$$

EXEMPLO DE CÁLCULO PELO MÉTODO INGLÊS

Considere-se uma floresta com as seguintes características:

- Estoque atual = 320 m³
- IMA_{máx} = 35 m³/ha/ano
- TC = 0,7 . 35 = 24,5 m³.ha⁻¹.ano⁻¹
- Intervalo entre desbastes = 5 anos

A taxa de corte (TC) e o peso de desbaste (P) são calculados da seguinte forma:

$$TC = 24,5 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1} . 5 \text{ anos} = 122,5 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$P = 100 . 122,5 / 320 = 38,28 \%$$

7.7.9 Método de Abetz de desbaste

Abetz desenvolveu vários métodos de desbaste seletivo, em que as árvores a remanescer até o final da rotação são escolhidas no momento do primeiro desbaste. O método de Abetz descrito por Schneider (1992) usa a relação h/d como referência para o desbaste, considerando uma relação h/d=1 como equilibrada; quando o valor da relação h (m) / d (cm) for:

- = 1 – o crescimento em altura e diâmetro é considerado equilibrado;
- > 1 – a altura está crescendo proporcionalmente mais do que o diâmetro e há necessidade de executar um desbaste;
- < 1 – o diâmetro está crescendo mais do que a altura e há pouca competição e, geralmente, não há necessidade de desbaste;
- < 0,9 – nesse caso, se o desbaste for executado, o seu peso não deve ser maior do que 40%.

Não há necessidade da determinação da idade e do índice do sítio. Não pode ser usado quando a distribuição de DAPs é irregular e de grande amplitude. Não serve para objetivos específicos, como atingir certo diâmetro desejável em determinado período.

A relação h/d indica o nível de concorrência e, também, a vitalidade, o potencial de crescimento e estabilidade das árvores contra o vento.

7.7.10 Fator do espaçamento de Wilson

Este critério foi, originalmente, introduzido por Wilson (1946), nome pelo qual passou a designá-lo, bem como ao respectivo índice.

De acordo com este índice o número de árvores por unidade de superfície (N) pode ser obtido em função da altura dominante (h₀) do povoamento e de um fator f, espaçamento médio, expresso como percentagem dessa mesma altura do povoamento.

Considerando-se uma distribuição em quadrado, com a distância média entre as árvores e = h₀. f, tem-se que N, número de árvores por hectare, passa a ser:

$$N = 10.000 / e^2$$

Desta expressão deduz-se o Fator de Wilson (FW):

$$FW = 100 / (h_0 \cdot \sqrt{N})$$

Este índice de densidade do povoamento é independente da idade e da classe de qualidade do sítio. Segundo o autor, o fw varia com espécie e com o tratamento do povoamento. Este índice diminui com a tolerância da espécie e aumenta com a intensidade de desbaste.

Num estudo feito na Inglaterra, foi considerado, a partir das experiências feitas sobre desbastes, que fw = 0,2 seria o valor apropriado para o grau de desbaste C/D,

admitido como padrão e que os graus C, D e E representariam, respectivamente, 1,5; 0,75 e 0,5 do índice de densidade do grau padrão, ou seja, valores de fw iguais a 1,6, 0,23 e 0,28, respectivamente.

Na Tabela da próxima página encontram-se os valores numéricos para alturas dominantes variando entre 8 a 36 metros, grau de desbastes C, C/D, D, E. e índice de Wilson de 0,16; 0,20; 0,23; 0,28, respectivamente.

Tabela do número de árvores/ha de acordo com a altura dominante e grau de desbaste. Fonte: Monteiro Alves (1982) apud Schneider (2009).

7.7.11 Método mexicano de desbaste

É relativo aos incrementos anuais volumétricos de uma árvore, que se acumulam seguindo a lei dos juros compostos estendida aos povoamentos florestais. O volume do desbaste é função do estoque existente antes e depois dos cortes e do ICA_v antes dos cortes; permite determinar o ciclo e o peso do desbaste.

Permite determinar cortes segundo o crescimento, com intensidades variáveis, a cada povoamento sujeito a ordenação, com intervalo (ciclo de corte) fixo, durante o qual o povoamento florestal responde ao incremento das árvores remanescentes, estabelecendo-se rotações que tendem a se repetir indefinidamente.

EXPRESSÕES MATEMÁTICAS:

a) Possibilidade de corte anual (PC):

$$PC = VC / cc$$

b) Existências reais antes dos cortes (ER):

$$ER = VP. 1,0p^{cc}$$

c) Ciclo de corte em anos (cc):

$$cc = (\log ER - \log VP) / \log 1,0p.$$

d) Intensidade de corte (IC):

$$IC = [1 - (1 / 1,0p^{cc})]. 100$$

7.7.12 Método “croata” de desbaste

Foi desenvolvido por Klepac (1980/4) apud Schneider (1992); é semelhante ao método mexicano, mas a intensidade de corte é multiplicada por um fator de desbaste.

Por este método, em floresta normal não se distingue a produção final e antecipada separadamente, com isto a taxa de corte representa a diferença entre o volume normal do povoamento antes e após os cortes.

EXPRESSÕES MATEMÁTICAS DO MÉTODO CROATA

$$TC = V - VN$$

$$VN = V / 1,0p^{cc}$$

$$TC = V. \{1 - (1 / 1,0p^{cc})\}$$

Onde: TC=Taxa de corte; V = volume normal, antes do corte seletivo; VN = volume normal, após o corte seletivo; p = percentagem do incremento; cc = ciclo de corte; TC = taxa de corte.

A remoção pelos desbastes é só de uma parte do incremento e não o incremento total acumulado, removido pelo método mexicano, calculada por:

$$TC = \{VN . (1,0p^{cc} - 1) . 1/q\} / (VN . 1,0p^{cc}) . 100$$

Sendo: 1/q = fator de desbaste, varia de acordo com as circunstâncias: em povoamentos jovens é 1/4; em povoamentos de idade média é de 1/3; e em povoamentos velhos é de 1/2 ou maior; p = percentagem do incremento.

7.7.13 Considerações finais sobre densidade e desbastes

– Quanto maior a densidade:

- Menor o crescimento do diâmetro e do volume individual das árvores;
 - Maior o crescimento em altura até um ponto de máximo, quando passa a ser reduzido com aumento da densidade;
 - Maior o crescimento em volume por hectare até um ponto de máximo, quando passa a ser reduzido;
 - Mais cilíndricos são os troncos, mais finos e com maior densidade da madeira.
- O controle da densidade de árvores é uma das tarefas mais importantes do manejo de florestas com desbastes, pois tem grande influência sobre a produtividade individual e a produção total;
 - Os desbastes influem diretamente nas receitas e custos de produção;
 - A densidade e os desbastes influem na estabilidade dos povoamentos em relação aos ventos e resistência a pragas e doenças.

7.8 Desrama das florestas plantadas

Devido à relação com a desrama das árvores cultivadas e a densidade dos povoamentos, decidiu-se por associa-la a este capítulo.

O processo de desrama natural é lento e os ramos laterais persistem em algumas espécies, formando nós geralmente secos e soltos que depreciam a madeira. Povoamentos mais espaçados proporcionam madeira de maiores dimensões. Entretanto, árvores que crescem mais livres têm galhos mais grossos e em maior quantidade. Uma das técnicas para reduzir o tamanho e o número de ramos laterais é o aumento da densidade de plantio. Entretanto, tem-se observado que árvores crescendo em povoamentos florestais densos, apresentam tendência de desrama natural imperfeita, sendo que a presença de um só galho é o suficiente para depreciar várias peças de madeira obtidas de uma tora; adicionalmente, o crescimento individual é reduzido devido à alta competição entre as árvores, sendo, ao final, obtidas toras de menores dimensões, diminuindo o rendimento em serrarias e laminadoras.

A forma encontrada para evitar a formação de nós na madeira de espécies de *Pinus* é a poda ou desrama artificial, prática considerada dispendiosa mas geralmente compensada pela maior valorização da madeira que é produzida. Entretanto, tem-se constatado que a produção é influenciada pela intensidade com que a desrama é aplicada; portanto, determinar a intensidade máxima com que deve ser realizada é de suma importância para a maximização da produção de madeira sem nós. A qualidade da madeira é altamente influenciada por tratamentos como a desrama, operação que reduz a produtividade das árvores, mas necessária na produção de madeira para uso nobre como carpintaria, aumentando consideravelmente o seu valor.

Desrama artificial é o corte dos galhos inferiores das copas das árvores cultivadas para produção de madeira, com o objetivo de obter madeira livre de nós, de melhor qualidade tecnológica, mais homogênea e de melhor aspecto.

Enquanto as árvores crescem, a competição aumenta e a disponibilidade por luz, nutrientes e água diminuem para cada árvore individualmente, os galhos inferiores morrem e, apesar de haver diminuição do crescimento individual das árvores, o estoque em volume continua a aumentar e o crescimento radial do tronco é reduzido nas partes mais baixas (KRAMER E KOZLOWSKI, 1972), resultando em uma forma mais cilíndrica. Isso torna a desrama importante, pois elimina os galhos vivos e mortos das árvores, proporcionando maior quantidade de madeira desprovida de nó e, conseqüentemente, de melhor qualidade e de maior valor comercial (GIBSON *et al.*, 2001), além de proporcionar maior facilidade de acesso e visibilidade através do povoamento florestal (WARNER, 1997).

Floriano (2004) estudou tratamentos com o objetivo de determinar a influência da intensidade da desrama sobre o crescimento e a forma de *Pinus elliottii* em uma plantação de 6 anos de idade, em Piratini, sudeste do Rio Grande do Sul, utilizando quatro tratamentos representados pelas porcentagens de desrama: de 0% (controle

sem desrama) e de 40%, 60% e 80% de desrama em relação a altura total das árvores. Os tratamentos iniciaram quando as árvores tinham 6 anos de idade e repetidos anualmente até alcançar a altura de 6 metros em todos os tratamentos. Os resultados, quando a plantação tinha 15 anos, demonstraram que não houve influência significativa da desrama sobre a altura média, altura dominante e mortalidade; o diâmetro e o volume sem casca foram influenciados significativamente pela desrama, apresentando as seguintes reduções em relação ao tratamento de controle sem desrama: 2,0% do diâmetro e 3,5% do volume no tratamento de 40% de desrama; 7,5% do diâmetro e 15,0% do volume no tratamento de 60% de desrama; 13,5% do diâmetro e 26,9% do volume no tratamento de 80% de intensidade de desrama. A desrama influenciou a forma das árvores significativamente, tendo-se constatado que os tratamentos desramados apresentaram forma cônica com pequena tendência à parabolóide e o tratamento de controle sem desrama apresentou forma cônica com pequena tendência à neilóide. A porcentagem de madeira limpa, sem nó, obtida nos três tratamentos desramados, foi semelhante, alcançando média geral de 46% do volume total individual sem casca produzido até os 15 anos de idade.

A madeira pode apresentar três tipos de nós: vivos, secos e presos ao lenho e secos soltos. Os mais prejudiciais são os últimos, conferindo buracos na madeira serrada ou laminada.

Os benefícios que a desrama apresenta são, principalmente: madeira limpa, sem nós; aumento da receita e lucro com a madeira; facilitação da penetração e visualização; redução dos custos de desbaste redução do uso de produtos químicos na produção de celulose; melhoria na qualidade da massa de fibras e partículas na produção de chapas; redução dos resíduos no processamento da madeira e aumento da produtividade.

Como consequências, a desrama produz: redução do crescimento (Figura 41); alteração da forma das árvores; aumento da manta florestal com maior intensidade de incêndios; aumento da população de determinadas pragas e doenças que usam a manta florestal para se alimentar e propagar.

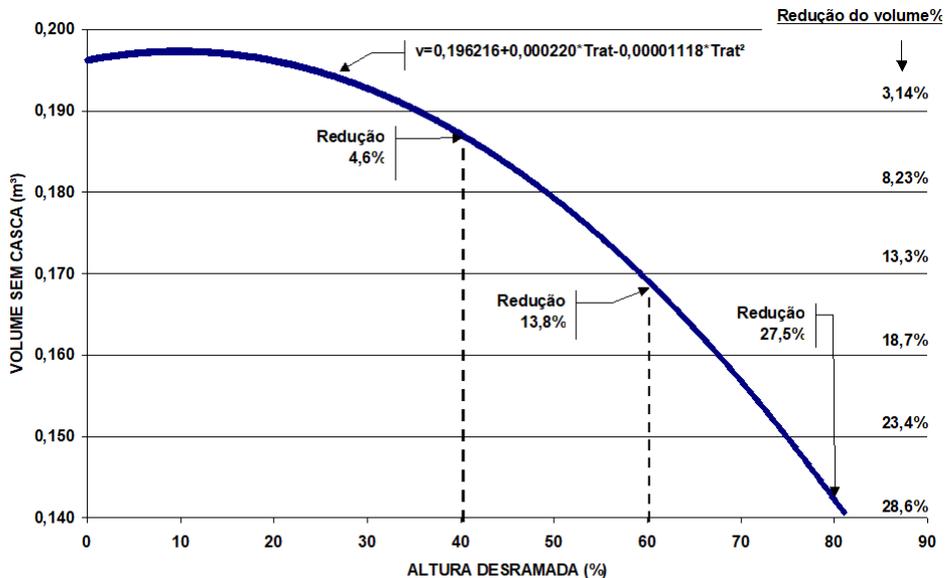


Figura 41 - Redução do crescimento de *Pinus elliottii*, aos 15 anos de idade, causado pela desrama iniciada aos 6 anos de idade, em Piratini, RS.

A primeira desrama geralmente é realizada sobre 100% das árvores do povoamento com o objetivo de facilitar as operações mecanizadas no interior do povoamento e melhorar a qualidade da madeira. A operação é cara e nas desramas subsequentes não se justifica desramar todas as árvores, pois as de menores dimensões certamente serão eliminadas nos primeiros desbastes e não terão tempo para acumular uma camada significativa de madeira limpa de nós que justifique a operação.

As desramas usualmente são manuais e realizadas até os 2,5 m de altura na primeira ocasião, aos 5 m na segunda ocasião e até os 7,5 m na terceira. O

planejamento das desramas deve considerar o diâmetro máximo desejado para núcleo enodado do tronco. Considerando-se um torno de laminação que tenha um limite de laminar até os 10 cm de diâmetro, quando a base das toras a serem obtidas das árvores destinadas à desrama atingirem esta dimensão, a desrama é realizada. Isso pode ser planejado, utilizando-se uma equação para crescimento diamétrico do tipo $[d=f(t)]$, equações de afilamento do tronco $[di=f(d,hi/h)$ e $hi=f(h,di/d)]$ e uma equação de distribuição de diâmetros por idade e sítio $[ni=f(d,IS,t)]$. Com a distribuição diamétrica na idade desejada, escolhe-se as árvores que serão desbastadas, considerando-se aquelas que poderão acumular madeira sem nós suficiente antes de serem abatidas, e determina-se a que altura que irão apresentar o diâmetro máximo para o núcleo enodado em cada idade e classe diamétrica. Resumidamente: na primeira ocasião, aos cerca de 5 anos de idade para *Pinus* e cerca de 1,5 anos para *Eucalyptus*, todas as árvores são desramadas; nas demais ocasiões, somente as árvores que irão permanecer no povoamento por mais 5 a 8 anos.

No planejamento das desramas deve-se considerar as seguintes regras gerais, mas que podem variar dependendo do caso:

- A desrama não deve ultrapassar os 40% da altura total da árvore a partir do solo, para evitar redução significativa do crescimento;
- O diâmetro máximo do núcleo enodado varia em função do uso futuro da madeira livre de nós, geralmente, entre 8 e 11 cm.
- 1ª desrama - deve ser realizada até cerca de 2,5 m de altura, sendo iniciada quando as árvores estão com cerca de 6 a 6,5 m de altura; o diâmetro, a cerca de 20 cm do solo, das árvores com DAP acima da média, não deve ultrapassar o diâmetro limite do núcleo enodado;
- 2ª desrama - deve ser realizada até cerca de 4,5 m de altura, devendo ser iniciada quando o diâmetro a 2,5 m de altura, das árvores a desramar, estiver com o diâmetro limite para o núcleo enodado;
- 3ª desrama - deve ser realizada até cerca de 6,5 m de altura, devendo ser iniciada quando o diâmetro a 4,5 m de altura, das árvores a desramar, estiver com o diâmetro limite para o núcleo enodado;

- A desrama deve ser realizada na estação mais fria, quando as plantas estão em repouso vegetativo e sofrem menor estresse;
- A desrama somente deve ser realizada na estação mais quente quando for extremamente necessária em talhões com desrama atrasada, desde que não implique em retirada de galhos verdes;
- As idades próprias para a desrama variam com o sítio e a espécie; normalmente em Pinus, as idades de 1ª, 2ª e 3ª desramas são realizadas aos 4-6, 6-8 e 9-11 anos, respectivamente, variando de acordo com o crescimento das árvores.

Na escolha do diâmetro para o núcleo enodado (Figura 42) deve-se considerar o produto a ser obtido, como segue:

- Madeira para serraria - mínimo possível;
- Laminação em torno - igual ao limite que a máquina (torno) consegue atingir (em geral de 8 a 11 cm);
- Laminação paralela (faqueado) - mínimo possível.
- Fibras e partículas - mínimo possível.

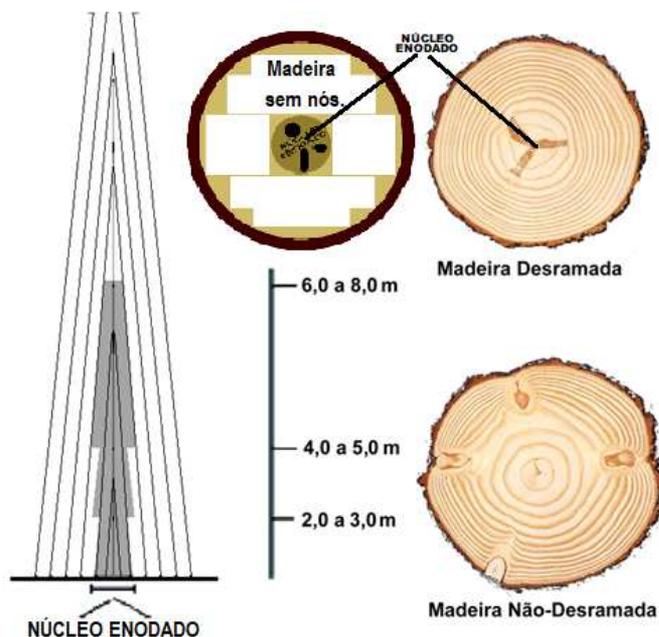


Figura 42 - Núcleo enodado, madeira desramada e madeira não desramada.

8 ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA

De acordo com Rezende e Oliveira (2001), a avaliação econômica de um projeto baseia-se em seu fluxo de caixa, representado pelos custos e receitas distribuídos ao longo da vida útil do empreendimento, resultando numa receita líquida para cada período considerado, obtida pela diferença entre receitas e custos associados ao projeto. O autor sugere os seguintes critérios para análise econômica e financeira de projetos florestais:

- Valor Atual (VA) ou Valor Presente Líquido (VPL);
- Taxa Interna de Retorno (TIR);
- Custo (ou Benefício) Periódico Equivalente (CPE ou BPE), também denominado de Valor Anual Equivalente (VAE);
- Custo Médio de Produção (CMP_r);
- Razão Benefício/Custo (B/C);
- Valor Esperado da Terra (VET), ou Valor da Produção do Solo (VPS);
- Tempo de Recuperação do Capital.

Um projeto de investimento pode ser representado esquematicamente por meio de um fluxo de receitas e despesas monetárias, estimado ao final de cada período de tempo (FARO, 1979), como na Figura 43, que ilustra o fluxo de caixa de um projeto convencional, em que as receitas líquidas positivas são representadas por setas ascendentes as receitas líquidas negativas por setas descendentes.

Existem vários fatores que podem influenciar a idade econômica de corte, como: o horizonte de planejamento, os custos envolvidos na produção, o preço da madeira, a produtividade do local e a taxa de desconto utilizada (SOARES et al., 2003). Investir num projeto significa aplicar recursos durante algum tempo, na expectativa de obter produtos nos períodos subsequentes.

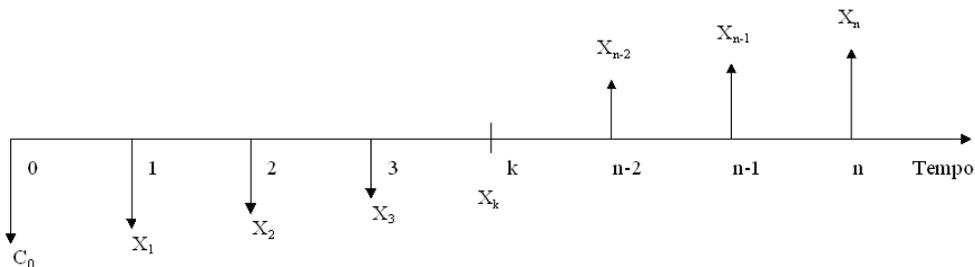


Figura 43 - Esquema genérico do fluxo de caixa de um projeto de investimento convencional. Fonte: Rezende (2005).

Só faz sentido analisar um, ou uma sequência de investimentos, dentro de um período de tempo ou Horizonte de Planejamento (HP) determinado. Faro (1979), define o HP como o período de tempo estimado durante o qual o empreendimento em análise irá operar. Para Solomon e Edin (1977), Horizonte de Planejamento é o período de tempo no qual se está disposto a fazer previsões e cálculos para os planos futuros. Johnston *et. al.* (1977) consideram que o HP é o período de tempo relevante para a análise de uma atividade, ou seja, nem tão longo que passe a ser mera especulação e nem tão curto que não permita a avaliação de seus resultados econômicos, sociais e ambientais.

As avaliações econômicas florestais geralmente são realizadas dentro do conceito de projetos de investimentos florestais, que é entendido como a inversão de capital em determinado empreendimento, com a finalidade de obtenção de receitas, num horizonte de planejamento igual a uma rotação para a utilização mais comum da madeira a ser produzida.

A avaliação econômica parte da determinação das receitas e despesas, considerando-se uma taxa de desconto obtida a partir da taxa de juros praticados no mercado financeiro para o tipo de empreendimento considerado.

As receitas podem ser calculadas por:

$$R_r + \sum_{j=1}^r Dj * 1,0i^{r-j} + N_q * 1,0i^{r-q}$$

Onde: R_r = valor do corte final na idade de rotação (r) por hectare; D_j = receitas de desbaste na idade j por hectare; N_q = receitas com produtos não madeireiros, já descontados os custos de produção, na idade “ q ” por hectare; r = rotação, em anos; j = idade de desbaste.

As despesas são determinadas por:

$$C * 1,0i^r + A * (1,0i^r - 1)$$

Onde: C = custos de produção; i = taxa de desconto; A = custo de administração.

8.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é definido como a quantia equivalente, na data zero, de um fluxo financeiro, descontando-se a taxa de juros determinada pelo mercado. É obtido atualizando-se os rendimentos e as despesas até o ano de início da implantação do projeto, descontando-se anualmente as despesas atualizadas das receitas atualizadas (JOHNSTON et al., 1977), ou seja, calculando-se o valor atual de um fluxo de caixa futuro, que pode ser expresso pela fórmula (SCHNEIDER, 2002):

$$VPL = \left[\frac{Rr + \sum Dj \cdot 1,0i^{r-j} - C \cdot 1,0i^r - \frac{a+t}{0,0i} \cdot (1,0i^r - 1)}{1,0i^r} \right]$$

Em que: VPL = valor presente líquido; R_r = receita do corte final na idade r ; D_j = receita do desbaste realizado no ano j ; C = custo de implantação; a = custo de administração anual; r = rotação, em ano; t = custo do arrendamento anual; i = taxa de juros ao ano.

De acordo com Johnston et al. (1977), o VPL é mais preciso quando calculado para uma só rotação da cultura considerada, tendo-se considerado nos cálculos as reduções de receitas por fenômenos naturais que atuam sobre os povoamentos. Se o valor presente for positivo, a proposta de investimento é atrativa, e quanto maior o valor positivo, mais atrativo é a proposta (PAMPLONA e MONTEVECHI, 1999).

8.2 Razão Benefício/Custo (B/C)

O índice que relaciona os benefícios aos custos (B/C) transforma-se num indicador de eficiência economicofinanceira por sugerir o retorno dos investimentos a partir da relação entre a receita total e as despesas efetuadas para viabilizá-la (DOSSA et al., 2000).

A razão benefício/custo é determinada dividindo-se o valor presente das receitas pelo valor presente dos custos (WILLIAMS, 1988).

O valor da razão Benefício/Custo é obtido através da fórmula (SCHNEIDER, 2002):

$$B/C = [Rr + \sum Dj \cdot 1,0i^{r-j}] / [C \cdot 1,0i^r + (a+t) / 0,0i \cdot (1,0i^r - 1)]$$

Em que: B/C = razão benefício/custo; Rr = receita do corte final na idade r ; Dj = receita do desbaste realizado no ano j ; C = custo de implantação; a = custo de administração anual; r = rotação, em ano; t = custo do arrendamento anual; i = taxa de juros ao ano.

Normalmente, esse é um método utilizado por agências do governo na comparação de projetos públicos. Isto porque, a decisão sobre a melhor alternativa de projeto é feita para aquele projeto cuja razão B/C for maior (SCHNEIDER, 2002).

8.3 Taxa interna de retorno (TIR)

Entende-se por taxa mínima de atratividade do capital aquela remuneração média que está sendo paga na economia para cada unidade monetária nela aplicada, acrescentando-se um ganho adicional que deve acompanhar a capacidade e o risco empresarial (DOSSA et al., 2000).

A taxa interna de retorno (TIR) permite a comparação da rentabilidade de projetos diferentes, floresta e agricultura, por exemplo. A TIR é representada pela rentabilidade gerada pelo próprio projeto, sendo independente das taxas de interesse, escolhidas arbitrariamente, e é definida como sendo a taxa de interesse que iguala o valor presente dos retornos esperados futuros com o valor presente dos custos esperados futuros (WILLIAMS, 1988), ou seja, é a taxa de juros na qual o valor presente líquido (VPL) é zero (NEVES et al., 2001).

Assim, a TIR permite verificar se o custo do capital é maior, igual ou menor que a rentabilidade de um determinado projeto, possibilitando avaliar a sua viabilidade econômica.

Algebricamente, a taxa interna de retorno é a taxa de desconto i , real e não-negativa, para a qual se verifica a relação (SCHNEIDER, 2002):

$$\left[Rr + \sum Dj \cdot 1,0i^{r-j} \right] = \left[C \cdot 1,0i^r + (a + t) / 0,0i \cdot (1,0i^r - 1) \right] = 0$$

Em que: Rr = receita do corte final na idade r ; Dj = receita do desbaste realizado no ano j ; C = custo de implantação; a = custo de administração anual; r = rotação, em anos; j = idade de realização em anos; t = custo do arrendamento anual; i = taxa de juros ao ano.

A regra de decisão indica que somente se terá vantagem investindo no projeto considerado se a TIR calculada for maior que a taxa de juros no mercado financeiro.

A escolha de um investimento deve, necessariamente, recair sobre aquele que tiver a maior TIR. Quanto maior for a TIR mais desejável é o investimento (DOSSA et al., 2000).

8.4 Valor Anual Equivalente (VAE)

O valor anual equivalente é a expressão anual do valor presente líquido no horizonte de planejamento computado, a uma determinada taxa de desconto. O VAE é um critério extremamente útil para comparar investimentos com períodos, ou horizontes, desiguais (MOORHEAD e DANGERFIELD, 1998).

A pressuposição do VAE é de que cada fluxo de caixa se repete perpetuamente, onde o infinito é um horizonte comum a todas as alternativas.

Ao empregar esse critério deve-se levar em consideração a natureza do valor das parcelas. Se essas apresentam uma receita positiva, deve-se optar pelo projeto de maior fluxo anual equivalente. Caso contrário, se as parcelas representam custos, como custos anuais de manutenção, deve-se optar pelo projeto de menor fluxo anual equivalente em termos absolutos.

O valor anual equivalente é calculado pela expressão (RESENDE e OLIVEIRA, 2001):

$$VAE = [VPL \cdot ((1+i)^n - 1) \cdot (1+i)] / [(1+i)^n - 1]$$

Onde: VAE = valor anual equivalente; VPL = valor presente líquido; i = taxa de juros; n = tempo do projeto com maior duração, em anos.

Um projeto é considerado viável economicamente se o VAE for positivo, o que indica que os benefícios periódicos são maiores do que os custos periódicos (SOARES et al., 2003).

8.5 Valor Esperado da Terra (VET)

O valor esperado da terra é determinado pelo resultado das despesas e receitas ocorridas numa unidade de área de produção florestal, descontadas a uma taxa de juros de mercado, conforme Resende (), como se descreve a seguir.

A receita líquida é calculada pela diferença entre as receitas brutas e despesas, que é uma renda periódica eterna. É pressuposto que as receitas e despesas são iguais e constantes de uma rotação para a outra.

Sendo as receitas e despesas periódicas eternas, podem ser capitalizadas e o valor capitalizado é o Valor Esperado da Terra (VET), calculado pela equação:

$$VET = \frac{R_r + \sum_{j=1}^r D_j * 1,0i^{r-j} + N_q * 1,0i^{r-q} - C * 1,0i^r - A * (1,0i^r - 1)}{1,0i^r - 1}$$

9 ROTAÇÃO FLORESTAL

A idade prevista para a colheita final de um povoamento florestal é chamada de idade de rotação. Há muitos fatores que influenciam a idade de rotação como preço dos produtos obtidos da floresta, custos e taxas de desconto, preço futuro, opções de reinvestimento, número de rotações, custos de replantio, uso e preço de produtos florestais não madeireiros, serviços ecológicos florestais não comercializáveis e serviços florestais recreacionais. As teorias desenvolvidas para determinação da melhor idade de rotação têm usado combinações de critérios físicos, biológicos e econômicos.

9.1 Rotação de máxima produtividade

É a idade em que o Incremento Médio Anual em volume (IMAV) por hectare é máximo, conferindo a máxima produtividade ao povoamento florestal. Considerando-se uma equação ajustada para a curva de crescimento do volume por hectare [$V=f(t)$], a idade de máximo IMAV pode ser determinada dividindo-se a $f(t)$ pela sua derivada primeira $f'(t)$, por meio da equação $t = f(t) / f'(t)$ – ver secção 3.10.4 e Figura 30.

9.2 Rotação de máximo resultado financeiro

De acordo com Newman (1988) há seis diferentes critérios principais para se estabelecer a idade ótima para a rotação florestal em termos econômico-financeiros: maximização do rendimento bruto; maximização do rendimento anual; maximização da receita líquida descontada de uma única rotação; maximização da receita líquida descontada de uma série infinita de rotações semelhantes; maximização das receitas líquidas anuais; maximização da taxa de crescimento do capital. Entretanto, rotações

únicas não são práticas correntes devido aos custos de transformação de cultivos florestais em outras formas de uso da terra. Além disso, para que se possa comparar tipos diferentes de empreendimentos, com diferentes horizontes de planejamento, é preciso usar séries infinitas. Assim, o que vigora são os critérios para as séries infinitas, o que implica em somente dois critérios para se determinar a rotação ótima em termos financeiros: considerando-se o custo da terra, ou não se considerando o custo da terra. Assim, o empreendedor deve decidir qual dos dois critérios utilizar, ou calcular por meio ambos para depois decidir. Portanto, resta utilizar o critério da idade de máximo Valor Esperado da Terra (VET), ou a de máximo Valor Anual Equivalente (VAE) para determinar-se a idade ótima de rotação em termos financeiros.

9.2.1 Rotação de máximo VET

O método de Faustmann, comumente chamado de valor de expectativa da terra, ou valor esperado da terra (VET), ou valor de expectativa do solo, ou valor esperado do solo (VES), tem sido frequentemente citado na literatura florestal.

O VET é um termo florestal usado para representar o valor presente líquido de uma área de terra nua a ser utilizada para a produção de madeira, calculado com base numa série infinita de rotações. Tal critério é mundialmente conhecido e utilizado para determinar a rotação econômica e o preço máximo de compra de terra nua, considerando-se uma série infinita, bem como para selecionar projetos alternativos (SILVA et al., 2002).

O cálculo do VET baseia-se na receita líquida perpétua (RT - CT), excluindo-se o custo da terra, a ser obtido de uma cultura (reflorestamento).

O VET, por considerar o horizonte infinito, é amplamente utilizado na análise econômica de projetos florestais, pois elimina o problema de se compararem projetos com diferentes durações.

9.2.2 Rotação de máximo VAE

Valor Anual Equivalente (VAE) é a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL da opção de investimento em análise, ao longo de sua vida útil. Dito de outra forma, o VAE transforma o valor atual do projeto ou o seu VPL em fluxo de receitas ou custos periódicos e contínuos, equivalentes ao valor atual, durante a vida útil do projeto.

10 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL

O planejamento da produção florestal inicia com a coleta de dados sobre as árvores e florestas, incluindo seu crescimento. As características dendrométricas dos indivíduos, a estrutura dos povoamentos, o crescimento e potencial produtivo são dados essenciais para se realizar o planejamento da produção. A coleta de dados permite a descrição da estrutura das florestas, que é realizada com o uso das características dendrométricas das árvores e dos povoamentos resumidas por meio de estatísticas sobre os dados coletados nos inventários florestais, posteriormente utilizados para modelagem e prognoses da produção com os modelos ajustados.

10.1 Processo de planejamento e regulação da produção

O planejamento da produção parte de uma situação em que cada talhão tem prevista a sua produção no ano final do período de rotação. Deve-se considerar que aquilo que se faz em uma rotação tem implicações sobre a rotação seguinte e, portanto, o ideal é fazer o planejamento considerando-se o período de duas rotações para a regulação completa da produção.

A produção não regulada inicial deve ser calculada pela soma das produções de cada talhão cortado em cada ano do horizonte de planejamento, ao final dos seus respectivos períodos de rotação.

Um dos primeiros passos a seguir no planejamento é verificar se a média anual da produção não regulada inicial é superior ou inferior à demanda ou consumo médio anual. Se o consumo médio for superior à demanda média é porque não há área suficiente para se ter uma produção sustentada com os níveis de produtividades atuais. Neste caso, há duas possibilidades de se atingir a sustentabilidade. A primeira

é através da aquisição de novas áreas de plantio e a segunda é a de se aumentar a produtividade através do melhoramento dos sítios ou do melhoramento genético, ou ainda, da substituição da espécie por uma mais produtiva que possa ser utilizada para os mesmos objetivos.

O segundo passo do planejamento é verificar se os anos de déficit podem ser supridos pela antecipação do corte de áreas a cortar nos anos seguintes, desde que a antecipação não seja muito grande para que não se baixe excessivamente a produtividade. A seguir deve-se verificar os demais anos de déficit e traçar estratégias para suprimento através da aquisição de madeira de terceiros, do aumento da área plantada ou do aumento de produtividade, podendo-se utilizar todos estes recursos ao mesmo tempo.

Inicialmente, para o exemplo acima, havia-se determinado um período de dez anos, mas ampliou-se para 2 rotações, ou seja, para 14 anos, pois, como se pode ver pela antecipação de corte de uma pequena secção do talhão D na primeira rotação, houve implicações na produção do mesmo talhão na segunda rotação.

Quando se antecipa o corte, como no caso do talhão D, do 7º para o 6º ano, por exemplo, a produtividade por hectare tabelada passa de 230,4 m³/ha para 194,6 m³/ha conforme a tabela de produção para o sítio considerado. A seguir deve-se verificar os demais anos de déficit e traçar estratégias para suprimento através da aquisição de madeira de terceiros, do aumento da área plantada ou do aumento de produtividade, podendo-se utilizar um mais destes recursos ao mesmo tempo.

A produção em cada ano é a soma das produções dos talhões que atingiram a idade de rotação no ano considerado, incluindo-se as antecipações de corte.

A venda de madeira somente deve ser realizada se não houver falta de madeira nos anos subsequentes. No último período as vendas devem considerar a carência

na rotação seguinte. No exemplo acima, vendeu-se toda a madeira restante menos uma quantidade igual à que foi necessário adquirir na 1ª rotação para que não falte madeira na rotação seguinte.

Conceitos utilizados para regulação da produção:

- Consumo (C(ano)) é a previsão de demanda ou consumo interno para o ano considerado.
- Produção não regulada (P(ano)) é a produção obtida multiplicando-se a área de produção pela produção do talhão considerado no ano considerado.
- Saldo anterior (SA(ano)) é o saldo atual do ano anterior.
- Antecipação de corte (PA(ano)): determina-se em cada talhão a área excedente no ano posterior e depois se calcula a produção antecipada da área excedente com a produtividade na idade antecipada.
- Saldo interno atual (SI(ano)) é a soma da produção do ano com o saldo anterior menos o consumo do ano, sendo que as antecipações já devem ter sido consideradas na produção não regulada do ano considerado.
- Aquisições (AQ(ano)) são os volumes adquiridos de terceiros no ano considerado.
- Vendas (VD(ano)) são os volumes vendidos no ano considerado.
- Saldo atual (S(ano)) é o resultado da soma do saldo interno mais as aquisições menos as vendas.
- Situação final regulada (SR(ano)) é a soma da produção não regulada mais o saldo anterior mais as aquisições menos as vendas.
- Área antecipada (AA(talhão, idade): é a parte da área de um talhão que será antecipada.
- $V(\text{talhão}, \text{idade}) = \text{produtividade do talhão considerado na idade de corte considerada}$.
- $A(\text{talhão}) = \text{área do talhão considerado}$.
- $P(\text{talhão}, \text{idade}) = \text{produção do talhão considerado na idade considerada}$;
- $AE(\text{talhão}, \text{ano}) = \text{Área excedente no talhão considerado no ano considerado}$;
- $C(\text{talhão}, \text{ano}) = \text{corte no talhão considerado, necessário para abastecimento do consumo no ano considerado}$.
- $V(\text{talhão}, \text{idade}) = \text{produção por hectare do talhão considerado na idade considerada}$.

10.2 Exemplo 1 – Produção de lenha para uma indústria de laticínios

Uma indústria de laticínios utiliza lenha em sua caldeira para produção de água quente e vapor, tendo um consumo anual de 4500 m³ de madeira. A empresa possui uma área de 149 hectares de efetivo plantio de *Eucalyptus*, manejado em talhadia simples, com rotação de 7 anos entre um corte e outro. O horizonte de planejamento é de duas rotações (14 anos).

Os cálculos devem ser realizados da seguinte forma:

1º) A produção em cada ano é a soma das produções dos talhões que atingiram a idade de rotação no ano considerado, incluindo-se as antecipações de corte:

$P(\text{ano}) = \sum V(t,i) \cdot A(t)$, sendo: $P(\text{ano})$ =Produção no ano considerado; $V(t,i)$ = produtividade do talhão t na idade de corte considerada i ; e, $A(t)$ =área do talhão t .

2º) Consumo ($C(\text{ano})$) é a previsão de demanda ou consumo interno para o ano considerado.

3º) Saldo anterior ($SA(\text{ano})$) é o saldo atual do ano anterior ($S(\text{ano}-1)$).

4º) Antecipações de corte: determina-se em cada talhão a área excedente no ano posterior e depois se calcula a produção antecipada da área excedente com a produtividade na idade antecipada:

$AA(D,2007) = [P(D,7) - C(d,2007)] / V(D,7)$; $AE(D,2007)$ =Área excedente no talhão D em 2007; $C(D,2007)$ =corte no talhão de D necessário para abastecimento do consumo em 2007; $V(D,7)$ =produtividade por hectare do talhão D aos 7 anos.

$$AE(D,2007) = [4608 - 4500] / 230,4 = 0,46875 \text{ ha} = AA(D,2006)$$

$PA(D,2006)=AA(D,2006) \cdot V(D,6)$; $PA(D,2006)$ =produção antecipada do talhão D para o ano de 2006; $AA(D,2006)$ =área antecipada do talhão D para 2006; $V(D,6)$ =Produtividade em m^3/ha do talhão D aos 6 anos de idade.

$$PA(D,2006)=0,46875 \times 194,6= 91m^2 \cdot 22 m^3 \sim 91 m^3$$

5º Saldo interno atual ($SI(ano)$): é a soma da produção do ano ($P(ano)$) com o saldo anterior ($SA(ano)$) menos o consumo do ano ($C(ano)$). Obs.: as antecipações já devem ter sido consideradas na produção não regulada do ano considerado.

6º Aquisições ($AQ(ano)$): São os volumes adquiridos de terceiros no ano considerado.

7º Vendas ($VD(ano)$): São os volumes vendidos no ano considerado.

8º Saldo atual ($S(ano)$): é o resultado da soma do saldo interno ($SI(ano)$) mais as aquisições ($AQ(ano)$) menos as vendas ($VD(ano)$).

9º Situação final regulada ($SR(ano)$): É a soma da produção não regulada ($P(ano)$) mais o saldo anterior ($SA(ano)$) mais as aquisições ($AQ(ano)$) menos as vendas ($VD(ano)$).

10º Vendas de madeira: neste exemplo, vendeu-se toda a madeira excedente, menos uma quantidade igual à que foi necessário adquirir na 1ª rotação para que não falte madeira na rotação seguinte.

Este é um exemplo simples, sem desbastes, com um só tipo de madeira e corte de um talhão em cada ano. Normalmente há vários talhões a cortar. Quando se adquire áreas para plantio, elas devem ser incluídas no planejamento como novos talhões. Em casos mais complexos, pode-se ter manejo em alto fuste com desbastes e vários sortimentos de madeira. Neste caso é necessário planejar a produção de cada sortimento separadamente, assim como as estratégias de suprimento para cada sortimento, de acordo com os consumos previstos para cada um (Tabela 27).

Tabela 27- Prognose do fluxo e regulação da produção (m³/ha)

Talhão	Área h0	Produção (m³/ha)						Ano												Totais	Médias
		V(t,7) 7 anos	V(t,6) 6 anos	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017				
A	24.5	22	194.4	163.9	Idade 1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	9526	-	
				Prod.						4763									4763		
B	17.0	26	268.9	227.6	Idade 2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	9143	-		
				Prod.					4571										4571		
C	22.6	24	230.4	194.6	Idade 3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	10414	-		
				Prod.				5207								5207					
D	20.0	24	230.4	194.6	Idade 4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	0	1	9199	-		
				Prod.		91	4500							108	4500						
E	22.1	22	194.4	163.9	Idade 5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	1	2	8592	-		
				Prod.			4296								4296						
F	17.5	24	230.4	194.6	Idade 6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	8064	-		
				Prod.		4032							4032								
G	25.3	22	194.4	163.9	Idade 7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	9837	-		
				Prod.		4918							4918								
Produção não regulada (P _{ano})					4918	4032	4387	4500	5207	4571	4763	4918	4032	4296	4500	5207	4571	4763	64667	4619	
Consumo (C _{ano})					-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-4500	-63000	-4500	
Saldo anterior (SA _{ano})					0	418	0	0	0	37	108	371	789	321	0	0	162	233	-	-	
Antecipação de corte (PA _{ano})					0	0	91	0	0	0	0	0	0	0	0	707	0	0	-	-	
Saldo interno atual (SI _{ano})					418	-50	-113	0	707	108	371	789	321	118	0	707	233	496	-	-	
Aquisições (AQ _{ano})					0	50	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163	-	
Vendas (VD _{ano})					0	0	0	0	-670	0	0	0	0	-118	0	-545	0	-333	-1666	-	
Saldo atual (S _{ano})					418	0	0	0	37	108	371	789	321	0	0	162	233	163	-	-	
Situação final regulada (SR _{ano})					4918	4500	4500	4537	4608	4871	5289	4821	4500	4500	4662	4733	4663	65604	-	-	

Um resumo da situação final é apresentado na Figura 44, onde estão separados os valores negativos (vendas e consumo) dos positivos (produção não regulada, saldo anterior e aquisições).

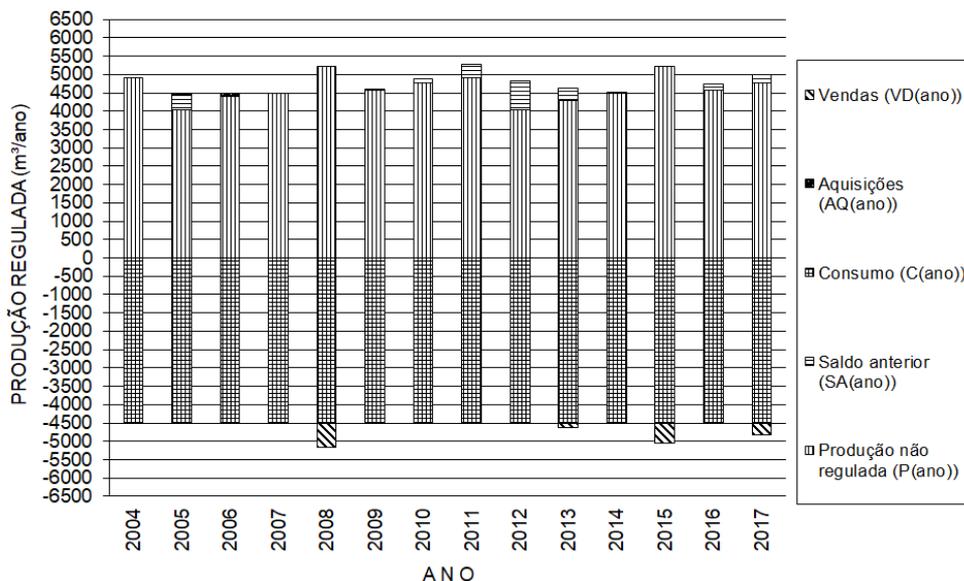


Figura 44 - Resultados da regulação da produção.

10.3 Exemplo 2 – Regulação da produção de lenha para abastecimento de um frigorífico

Um frigorífico utiliza lenha em sua caldeira e possui uma área de produção florestal de 1428 ha. O seu consumo de lenha é de 45000m³/ano e o manejo é em talhadia simples. Os dados das florestas são apresentados na Tabela 28 e da Tabela 29.

Considerando uma rotação de 7 anos e um horizonte de planejamento de 11 anos, qual o esquema de produção para um abastecimento constante?

Tabela 28 - Produção por idade e Índice de Sítio (IS) em m³/ha.

Idade	Índice de Sítio (IS)			
	20	22	24	26
2	20.7	25.5	30.7	36.4
3	47.5	58	69.5	82.1
4	77.5	94.3	112.6	132.4
5	107.4	130.3	155.1	181.8
6	135.4	163.9	194.6	227.6
7	161	194.4	230.4	268.9

Tabela 29- Dados dos povoamentos florestais da empresa obtidos no Inventário Florestal do ano em curso.

Talhão	Área	Idade	h ₁₀₀	Produção (m ³ /ha)	Estoque (m ³)
1	35	1	20	0.0	0.0
2	50	1	24	0.0	0.0
3	22	1	24	0.0	0.0
4	32	1	20	0.0	0.0
5	40	1	26	0.0	0.0
6	30	1	24	0.0	0.0
7	21	2	26	36.4	764.4
8	27	2	26	36.4	982.8
9	30	2	24	30.7	921.0
10	39	2	26	36.4	1419.6
11	45	2	26	36.4	1638.0

Talhão	Área	Idade	h ₁₀₀	Produção (m ³ /ha)	Estoque (m ³)
12	25	3	20	47.5	1187.5
13	49	3	26	82.1	4022.9
14	22	3	24	69.5	1529.0
15	37	3	26	82.1	3037.7
16	38	3	26	82.1	3119.8
17	42	3	24	69.5	2919.0
18	24	4	26	132.4	3177.6
19	26	4	20	77.5	2015.0
20	45	4	24	112.6	5067.0
21	29	4	24	112.6	3265.4
22	36	4	24	112.6	4053.6
23	38	4	26	132.4	5031.2
24	48	5	22	130.3	6254.4
25	25	5	24	155.1	3877.5
26	30	5	20	107.4	3222.0
27	35	5	22	130.3	4560.5
28	26	5	24	155.1	4032.6
29	44	5	24	155.1	6824.4
30	29	6	22	163.9	4753.1
31	20	6	22	163.9	3278.0
32	40	6	24	194.6	7784.0
33	45	6	24	194.6	8757.0
34	20	6	24	194.6	3892.0
35	29	6	24	194.6	5643.4
36	47	7	20	161.0	7567.0
37	42	7	22	194.4	8164.8
38	30	7	24	230.4	6912.0
39	50	7	22	194.4	9720.0
40	41	7	24	230.4	9446.4
41	45	7	20	161.0	7245.0
Totais	1428	-	-	-	156085.6

O planejamento e regulação da produção são realizados conforme a Tabela 30, em que se prevê a produção total anual segundo o regime de manejo adotado, considerando-se as produções por Índice de Sítio, as antecipações e aquisições necessárias e os eventuais excedentes vendidos.

Tabela 30- Planejamento e regulação da produção por ano (m³/ano).

Talhão	Área (ha)	IS (m)	Ano de produção																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11								
1	35	20										5635									
2	50	24										11520									
3	22	24										5069									
4	32	20										5152									
5	40	26										10756									
6	30	24										6912									
7	21	26									5647										
8	27	26									7260										
9	30	24									6912										
10	39	26									10487										
11	45	26									12101										
12	25	20								4025											
13	49	26								13176											
14	22	24								5069											
15	37	26								9949											
16	38	26								10218											
17	42	24								9677											
18	24	26							6454												6454
19	26	20							4186												4186
20	45	24							10368												10368
21	29	24							6682												6682
22	36	24							8294												8294
23	38	26							1030	9016											10218
24	48	22							9331											9331	
25	25	24							5760											5760	
26	30	20							4830											4830	
27	35	22							6804											6804	
28	26	24							5990											5990	
29	44	24							10138											10138	
30	29	22																			
31	20	22							5638											5638	
32	40	24							3888											3888	
33	45	24							9216											9216	
34	20	24							10368											10368	
35	29	24							4608											4608	
36	47	20							6682											6682	
37	42	22							7567											7567	
38	30	24							8165											8165	
39	50	22							6912											6912	
40	41	24							9720											9720	
41	45	20							9446											9446	
									7245											7245	
Totais	1428		49055	40399	43883	45000															
Consumo			45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000
Saldo anterior			0	4055	0	0	0	0	5242	2649	2693	6748	2147	0							
Antecipação de corte			0	0	1030	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
Saldo próprio			4055	-546	-1117	0	7114	2649	2693	6748	2147	0	1202								
Aquisições			0	546	1117	0	0	0	0	0	0	0	0								
Vendas									1872												1202
Saldo atual			4055	0	0	0	5242	2649	2693	6748	2147	0	0								
Situação final regulada			49055	45000	43970	45000	50242	47649	47693	51748	47147	45000	45000								

Um gráfico de resumo dos resultados pode ser elaborado como na Figura 45, não sendo debitadas as vendas do último ano. Observa-se que o resultado do mínimo de madeira disponibilizado é de 45 mil m² que é o consumo anual previsto pela indústria.

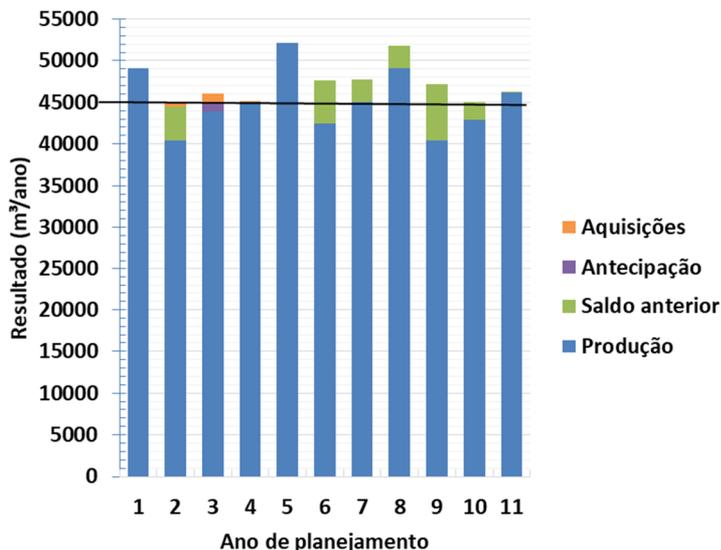


Figura 45 - Produção anual após antecipações, aquisições e vendas, atingindo ou superando a produção mínima (sem descontar as vendas do último ano).

11 PESQUISA OPERACIONAL FLORESTAL

Pesquisa operacional é a ciência aplicada que tem por objetivo otimizar o uso de recursos de produção através de métodos quantitativos. É uma ferramenta de planejamento da produção através de métodos matemáticos.

11.1 Introdução

A expressão Pesquisa de Operações (PO) foi concebida durante a 2ª Grande Guerra, quando a administração militar britânica chamou um grupo de cientistas para aplicar métodos científicos no estudo de operações militares com o objetivo de vencer batalhas.

O principal objetivo era utilizar os recursos militares de forma efetiva para várias operações e para as diversas atividades dentro de cada operação.

A partir de então, a eficiência da pesquisa de operações na área militar despertou o interesse de outras áreas governamentais e do setor industrial.

Depois da 2ª Guerra, alguns fatores contribuíram para o desenvolvimento e emprego da PO em outras áreas:

- Disponibilidade de cientistas de PO que trabalharam nas forças armadas;
- Desenvolvimento do método Simplex para solução de problemas de programação linear em 1947 por George Dantzig;
- Desenvolvimento de computadores capazes de processar os dados de PO a partir da década de 50.

Muitas das técnicas de PO foram desenvolvidas antes do fim dos anos 50, tais como:

- Programação linear;
-

- Programação dinâmica;
- Teoria das filas;
- Teoria de inventário.

A programação linear teve início na década de 60 (Curtis, 1962; Leak, 1964; Loucks, 1964; Nautiyal e Pearse, 1967). Início do uso da PL no planejamento florestal: (1971) Navon - Timber RAM (FS-USA); Ware e Clutter (Univ. da Georgia). O sistema Timber Resource Allocation Method (Timber RAM), deu origem aos sistemas FORPLAN (Iverson e Alston, 1986) e recentemente ao SPECTRUM (USA, 1999), ambos do FS-USA. No Brasil, as primeiras aplicações de PL na área florestal foram de Rodriguez e Lima (1985) e Rodriguez et al. (1986). Johnson e Scheurman (1977), analisando a forma como são definidas as variáveis nas aplicações de PL no meio florestal definiram duas estruturas básicas que denominaram de Modelo I e Modelo II.

Pesquisa Operacional (PO) pode ser entendida como o uso da matemática e de métodos quantitativos para subsidiar a tomada de decisões. PO utiliza ferramentas de diversas áreas como a matemática, estatística, engenharia, economia, psicologia, entre outras. A metodologia de PO procura definir matematicamente as consequências resultantes de diferentes alternativas possíveis de ações a serem praticadas para atingir determinado objetivo. Os seguintes sinônimos são empregados para a PO: análise de decisões, pesquisa de operações, pesquisa sobre operações, administração científica, manejo científico, programação matemática.

A PO implica em seis fases principais para seu desenvolvimento:

- 1) Formulação do problema
- 2) Desenvolvimento de modelos
- 3) Seleção do tipo de dados de entrada
- 4) Solução do modelo
- 5) Validação do modelo
- 6) Implementação da solução

A formulação do problema compõe-se de:

- Definição do objetivo;
- Determinação e quantificação das alternativas de decisão ou de execução das tarefas;
- Determinação e quantificação das restrições para execução das tarefas.

No desenvolvimento de modelos deve-se observar os seguintes aspectos:

- Tendo definido o problema, é preciso transformá-lo num modelo matemático que o represente.
- Deve-se identificar os elementos estáticos e dinâmicos e utilizar recursos matemáticos para expressar as relações entre eles.
- O modelo proposto deverá ser testado a campo e modificado sob condições ambientais para satisfazer todas as restrições e atingir os objetivos.

A seleção de dados de entrada é crítica para todo o processo, nesta fase deve-se ter mente que:

- Nenhum modelo funciona sem dados apropriados.
- O objetivo desta fase é garantir que a qualidade e quantidade de dados seja suficiente para testar e operar o modelo matemático, quanto ao objetivo, alternativas e restrições.

Na fase de solução do modelo, processa-se os dados preliminarmente considerando-se que:

- Nesta fase o modelo matemático é operado em fase de teste.
- Se o modelo não operar adequadamente ou se os objetivos esperados não forem alcançados, deve-se considerar a modificação do modelo ou dos dados de entrada.

Para validação do modelo deve-se ter em conta que:

- Um modelo é considerado válido se permitir uma prognose real da performance do sistema.
- Um modelo deve ser aplicável a longo prazo e deve ser atualizado periodicamente levando em consideração aspectos do passado, do presente e do futuro.

Na implementação da solução deve-se considerar que nesta fase a melhor solução encontrada por meio do modelo matemático deve ter sua implementação planejada, executada, controlada, analisada e modificada quando necessário. Para tanto, o ciclo PDCA (Plan, Do, Control, Act) de Demming pode ser utilizado para a implementação da solução.

11.2 Métodos de Pesquisa Operacional

São muitos os métodos utilizados em PO, entre eles, pode-se citar:

- PROGRAMAÇÃO LINEAR – É um método matemático para alocar uma quantidade de recursos fixos e em que alguns objetivos são otimizados e são satisfeitas determinadas restrições.
- PROGRAMAÇÃO INTEIRA – É um caso especial de programação linear em que uma ou mais variáveis assume somente valores inteiros.
- PROGRAMAÇÃO POR OBJETIVOS – É uma metodologia para tratar de objetivos organizacionais múltiplos e incompatíveis.
- LOGÍSTICA DE TRANSPORTE – É um tipo especial de programação linear em que o objetivo é minimizar o custo de distribuição de um produto a partir de várias fontes com vários destinos.
- TEORIA DE FILAS – É um método para otimizar o tempo de duração de tarefas sequenciais.
- TEORIA DE JOGOS – É um método de análise para tomada de decisão quando há um ou mais oponentes em situação de conflito de objetivos, para otimizar os resultados, maximizando lucros e minimizando as perdas.
- CONTROLE DE INVENTÁRIO – É um método matemático para reordenar períodos de tempo, níveis e quantidades, assegurando abastecimento, minimizando resíduos e perdas. Está relacionado à aquisição, estoque e manuseio de produtos.

- TÉCNICA DE SIMULAÇÃO – É uma metodologia para criar um modelos a partir de situações reais e aplicá-los em experimentos para determinar os possíveis resultados. Usa-se quando os riscos em situação real são muito grandes, ou as situações reais não são manejáveis, ou o tempo consumido em situação real é muito grande.
- TEORIA DE ALOCAÇÃO – É um método que envolve a alocação de diferentes recursos para diferentes tarefas.
- PROGRAMAÇÃO NÃO-LINEAR – É uma metodologia de otimização usada quando os objetivos ou as restrições são de natureza não-linear, como o crescimento das árvores ou dos povoamentos, bem como taxas de desconto aplicadas em compras de grandes quantidades.
- PROGRAMAÇÃO DINÂMICA – É uma metodologia usada para resolver problemas que envolvem a tomada de decisões sobre uma série de atividades consecutivas.
- TEORIA SEQUENCIAL – É um tipo especial de teoria de filas em que os recursos são fixos, mas a ordem das atividades pode ser controlada. Exemplo: vários aviões esperando pela ordem de pouso.
- MODELOS DE REPOSIÇÃO – São técnicas para otimizar a reposição de recursos (produtos, máquinas, pessoal, capital) devido ao seu esgotamento, deterioração, falha, aposentadoria, etc.
- CADEIA DE MARKOV – É um método probabilístico para determinar situações de estágios futuros. É usado quando se pode separar um processo em vários estágios e se conhece a probabilidade de passagem de um estágio para o outro, como a regeneração natural das populações florestais.
- PROCESSO DE DECISÃO DE MARKOV – Processo baseado na cadeia de Markov que auxilia na escolha de ações para otimizar os resultados considerando o ocorrido imediatamente antes e depois.
- PLANEJAMENTO DE REDES PERT E CPM – PERT (Program Evaluation and Review Technique) e CPM (Critical Path Method) são técnicas utilizadas para planejamento e monitoramento de grandes projetos. É útil para programar tarefas tomando por base as obrigatoriamente precursoras, ou posteriores, e o tempo de duração de cada uma.
- LÓGICA SIMBÓLICA – É uma metodologia para substituição de símbolos por meio de lógica utilizada principalmente no desenho computacional de máquinas e circuitos.
- TEORIA DA INFORMAÇÃO – É um processo analítico emprestado do campo da comunicação eletrônica. Busca avaliar a eficiência do fluxo de informações num sistema e auxilia na melhoria de sua performance.

11.3 Benefícios da PO

As principais vantagens que a PO proporciona são os seguintes:

- Controle – Provê ferramentas analíticas e quantitativas para identificar problemas e encontrar a melhor solução, com larga aplicação em planejamento da produção e abastecimento.
- Sistema – Auxilia na tomada de decisões para a melhor alocação de recursos, reduzindo o uso dos mesmo devido à otimização, facilitando o planejamento de operações e identificação de recursos obsoletos, o que resulta em sistemas mais eficientes.
- Decisão – Modelos matemáticos auxiliam na redução de erros na tomada de decisão, indicando o melhor caminho.
- Coordenação – A pesquisa operacional orientada para modelos de planejamento pode auxiliar na coordenação de diferentes áreas de uma organização.

11.4 Limitações da PO

Entre os fatores limitantes em PO, pode-se citar:

- Recursos eletrônicos – Depende de recursos computacionais como computadores e principalmente softwares específicos.
- Fatores não-quantificáveis – Algumas variáveis são difíceis de quantificar e muitas vezes são quantificadas de forma subjetiva, o que pode levar a erros na solução.
- Distância entre Gerência e Administração Científica – A execução de modelos de PO pode não ser fácil para o administrador, bem como, pode ser difícil para o cientista de PO entender determinado sistema real se não for o seu campo de trabalho.
- Custo e Tempo necessários – Quando uma base de dados sofre mudanças constantes, incorporando-se ao modelo de PO, pode haver um custo substancial envolvido. Às vezes, uma solução moderada no presente pode ser mais desejável do que uma solução perfeita de PO.
- Implementação – A implementação de decisões é uma tarefa delicada, envolvendo relações de trabalho e humanas nem sempre muito simples.

11.5 Aplicações da PO

Entre os problemas que podem ser resolvidos pela administração científica, pode-se citar:

1. Econômico financeiros:
 - Análise de crédito.
 - Análise de fluxo de caixa.
 - Política de dividendos.
 - Investimentos.
2. Mercadológicos
 - Seleção de produtos.
 - Locação de recursos de publicidade.
 - Número de vendedores
 - Seleção de mix de produtos.
3. Vendas, aquisição e exploração
 - Otimização de ordens de compras.
 - Política de reposição.
4. Administração da produção
 - Locação e dimensionamento de recursos.
 - Política de distribuição.
 - Recursos de carga e descarga.
 - Planejamento da produção.
 - Administração de projetos.
5. Administração de pessoal
 - Seleção de pessoal.
 - Recrutamento.
 - Transferências.
 - Alocação e desenvolvimento.
6. Pesquisa e desenvolvimento
 - Seleção de projetos.
 - Controle de projetos.
 - Consistência e escolha de alternativas.

11.6 Programação Linear (PL)

PL é uma metodologia matemática para escolha de alternativas de uso de diferentes recursos de forma a otimizar objetivos sob determinadas restrições. O objetivo da PL pode ser de maximização ou minimização dos resultados.

A terminologia utilizada em PL é diferente de outras disciplinas, sendo necessário conhecer seus conceitos. Os principais termos e expressões são descritos a seguir:

Função linear – uma função linear é composta de termos aditivos em que cada variável está relacionada unicamente a um coeficiente e cada coeficiente está relacionado com uma só variável, do tipo $z=f(x)$, onde z é desconhecido e dependente de x ; $x = \sum c_j \cdot x_j$, sendo x_j conhecidos, independentes e $x_j \geq 0$, chamados de variáveis de decisão; c_j são coeficientes a determinar, chamados de parâmetros da decisão; j = número de ordem da variável (=1 até n).

Função objetivo – é uma função linear de variáveis de decisão (x_j) que expressa o objetivo da decisão da seguinte forma: $z=f(x)$; as funções objetivo procuram maximizar $f(x)$ ou minimizar $f(x)$, o objetivo z .

Variáveis de decisão – são os fatores (x_j) que influem na decisão para a otimização da função objetivo z ; as variáveis podem ser controladas pelo programador em valores a serem determinados e cujas quantidades (c_j) de uso de cada uma (coeficientes de uso, ou parâmetros da decisão) são as incógnitas procuradas para otimizar o objetivo.

Restrições – são fatores de influência sobre as variáveis de decisão que limitam seu uso, expressas matematicamente como: $f(x) \geq b_i$, $f(x) \leq b_i$, ou $f(x) = b_i$, em que: x

$= \sum a_i \cdot x_j$; b_i = valor da restrição i , chamados de mão do lado direito (right hand side = RHS); i = número de ordem da restrição (= 1 até m).

Solução admissível – é qualquer solução não-negativa que satisfaça as restrições; o espaço que compreende todas as soluções admissíveis é denominado de região de admissibilidade.

Solução ótima – é a solução admissível que otimiza (maximiza ou minimiza) o objetivo z .

O modelo matemático geral de PL baseia-se num sistema de equações e inequações, como segue:

Otimizar (maximizar ou minimizar) z pela seguinte equação:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (\geq, =, \leq) b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n (\geq, =, \leq) b_2$$

... ..

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n (\geq, =, \leq) b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Há uma infinidade de softwares, inclusive livres para solução de problemas de programação matemática, entre eles estão o LibreOffice-CALC, O EXCEL-SOLVER o LINGO e o SAS. O LibreOffice-CALC é um software livre, e o LINGO é fornecido em

uma verão acadêmica livre e outra paga, enquanto que o EXCEL-SOLVER e o SAS são softwares proprietários.

11.6.1 Modelos de programação linear no manejo florestal

Início: década de 60 (Curtis, 1962; Leak, 1964; Loucks, 1964; Nautiyal e Pearse, 1967).

Início do uso da PL no planejamento florestal: (1971) Navon - Timber RAM (FS-USA); Ware e Clutter (Univ. da Georgia);

Timber Resource Allocation Method (Timber RAM), deu origem aos sistemas FORPLAN (Iverson e Alston, 1986) e recentemente ao SPECTRUM (USA, 1999), ambos do FS-USA;

No Brasil, as primeiras aplicações publicadas na área florestal são de Rodriguez e Lima (1985) e Rodriguez et al. (1986);

Johnson e Scheurman (1977), analisando a forma como são definidas as variáveis nessas aplicações definiram duas estruturas básicas, que denominaram de Modelo I e Modelo II.

A partir do modelo básico denominado de Modelo I, muitos outros foram gerados para tentar sanar as deficiências encontradas, sendo mais conhecido o Modelo II;

Os modelos I e II não definem a localização espacial das unidades de manejo, por isso são usados no planejamento estratégico da gestão de recursos florestais;

A maioria dos demais modelos de PL são derivações dos dois primeiros, ou combinações de ambos. No planejamento tático e operacional, usam-se outros modelos e outras técnicas de programação matemática como a Programação Inteira

(PI), P. Inteira Mista (PIM), P. Não-Linear (PNL), P. Multi-Objetivos (PMO), Método do Caminho Crítico (CPM), entre outros;

Atualmente, ainda são muito úteis os Modelos I e II, mas novas técnicas se somaram à programação linear e, em muitos casos, são mais adequadas ou complementares.

DIFERENÇAS ENTRE OS MODELOS I E II

Modelo I: é mais rígido; preserva as Unidades de Manejo (Distritos, Talhões, Secções) do início ao fim do horizonte de planejamento; apresenta maior número de variáveis de decisão, geralmente; requer variáveis explícitas no estoque final.

Modelo II: é mais flexível; não preserva as Unidades de Manejo durante o período de planejamento (as U.M. podem ser divididas ou unidas durante o período de planejamento); apresenta maior número de restrições de área; o volume de corte é maior ao final do planejamento, geralmente.

MODELO I

Objetivo:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^M D_{ik} X_{ik} \right)$$

Sujeito a:

- Restrições de área;
- Restrições de produtividade;
- Restrições de capacidade operacional;
- Restrições de fluxo de caixa;
- Restrições de não negatividade.

Onde: Z = valor total do projeto (valor da função objetivo); N = número de talhões ou unidades básicas de manejo (UBM); M = número de regimes de manejo (prescrições, ou alternativas); X_{ik} = Área da unidade básica de manejo *i* destinada à prescrição *k*; D_{ik} = Valor da prescrição *k* por unidade de área se implementada no talhão *i*.

Variáveis e Parâmetros do Modelo I Básico Florestal de PL

- Z = valor total do projeto (valor da função objetivo)
- N = número de talhões ou unidades básicas de manejo (UBM)
- M = número de regimes de manejo (prescrições, ou alternativas)
- T = número de anos de planejamento (horizonte de planejamento)
- P = número de produtos florestais (outputs)
- A_i = Área total da unidade básica de manejo *i*
- X_{ik} = Área da unidade básica de manejo *i* designada à prescrição *k*
- D_{ik} = Valor da prescrição *k* por unidade de área se implementada no talhão *i*
- V_{iktp} = Volume (output) por unidade de área do produto *p* no talhão *i* no ano *t* obtido com a prescrição *k*
- F_{ikt} = Entrada (+) ou saída (-) no fluxo de caixa do talhão *i* no ano *t* com a prescrição *k*
- VM_{intp} e VM_{axtp} = Volumes mínimo e máximo permitidos do produto *p* no ano de planejamento *t*
- OM_{int} e OM_{axt} = Capacidade operacional mínima e máxima (p.ex. colheita, plantio etc.) no ano de planejamento *t*
- FM_{int} , FM_{axt} = Caixa mínimo e máximo disponíveis no ano *t*
- X_{ik} são as variáveis de decisão e somente podem assumir valores positivos. Em que: $i = 1, 2, \dots, N$; $k = 1, 2, \dots, M$; $t = 1, 2, \dots, T$; $p = 1, 2, \dots, P$.

Restrições de área - refere-se ao espaço físico disponível para a produção florestal em hectares por unidade de manejo:

$$\sum_{k=1}^M X_{ik} \leq A_i \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

Onde: A_i = Área total da unidade básica de manejo *i*; X_{ik} = Área da unidade básica de manejo *i* designada à prescrição *k*.

Restrições de produtividade - refere-se ao estoque previsto em cada idade de cada unidade de manejo em relação aos consumos mínimo e máximo admitidos:

$$\sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^M V_{ikt p} X_{ik} \right) \geq VMin_{tp} \quad (t = 1, 2, \dots, T) \quad (p = 1, 2, \dots, P)$$

$$\sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^M V_{ikt p} X_{ik} \right) \leq VMax_{tp} \quad (t = 1, 2, \dots, T) \quad (p = 1, 2, \dots, P)$$

Onde: X_{ik} = Área da unidade básica de manejo i designada à prescrição k ; $V_{ikt p}$ = Volume (output) por unidade de área do produto p no talhão i no ano t obtido com a prescrição k ; $VMin_{tp}$ e $VMax_{tp}$ = Volumes mínimo e máximo permitidos do produto p no ano de planejamento t

Restrições de capacidade operacional - São as operações recomendadas para cada unidade em cada período:

$$\sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^M \alpha_{ikt} X_{ik} \right) \geq OMin_t \quad (t = 1, 2, \dots, T)$$

$$\sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^M \alpha_{ikt} X_{ik} \right) \leq OMax_t \quad (t = 1, 2, \dots, T)$$

Onde: X_{ik} = Área da unidade básica de manejo i designada à prescrição k ; $OMin_t$ e $OMax_t$ = Capacidade operacional mínima e máxima (p.ex. colheita, plantio etc.) no ano de planejamento t ; $\alpha_{ikt}=0$ se a prescrição k não recomenda a operação na unidade i no período t ; $\alpha_{ikt}=1$ se a prescrição k recomenda a operação na unidade i no período t .

Restrições de fluxo de caixa - São as restrições de disponibilidade de recursos financeiros em cada período considerado:

$$\sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^M F_{ikt} X_{ik} \right) \geq FMin_t \quad (t = 1, 2, \dots, T)$$

$$\sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^M F_{ikt} X_{ik} \right) \leq FMax_t \quad (t = 1, 2, \dots, T)$$

Onde: X_{ik} = Área da unidade básica de manejo i designada à prescrição k ; F_{ikt} = Entrada (+) ou saída (-) no fluxo de caixa do talhão i no ano t com a prescrição k ; $FMin_t$, $FMax_t$ = Caixa mínimo e máximo disponíveis no ano t .

MODELO II

Objetivo:

$$\text{Maximizar } Z = \overbrace{\sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=-M}^{J-N} C_{ij} x_{ij}}^A + \overbrace{\sum_{i=-M}^{H-1} D_{iH} W_{iH}}^B$$

Sujeito a:

- Restrições de área;
- Restrições de fluxo constante;
- Restrição de estoque final;
- Restrições de não negatividade.

Onde: Z=Produção total = função objetivo; Cij = Custo anual por hectare, do estrato florestal i, caso o regime de manejo j seja empregado; Xij= Regeneração das áreas (hectares) no início do período i e cortadas no início do período j (seguido por plantio imediato); WiH= Áreas (hectares) regeneradas no início do período i e deixadas para o inventário final no período h, no final do horizonte de planejamento; H = horizonte de planejamento.

Restrição de área - Assegura que as áreas colhidas de cada classe etária presente no período 0, mais as áreas deixadas para o inventário final desta classe etária, é igual à área total da classe etária do início do período de planejamento:

$$\sum_{j=0}^{H-1} x_{ij} + w_{iH} = A_i \quad i = -M, -M+1, \dots, -1$$

$$\sum_{k=j+N}^{H-1} x_{jk} + w_{jH} = \sum_{i=-M}^{j-N} x_{ij} \quad j = 0, 1, 2, \dots, H-1$$

Onde: x_{ij} = Regeneração das áreas (hectares) no início do período i e cortadas no início do período j (seguido por plantio imediato); w_{iH} = Áreas (hectares) regeneradas no início do período i e deixadas para o inventário final no período h , no final do horizonte de planejamento; A_i = número de hectares presentes ao início do período 0 que foram regeneradas no período i , onde $i = -M$ a -1 pela progressão $(-M, -M+1, \dots, -2, 1)$ A_{-8} representa o nº de hectares que foram regenerados oito períodos antes do início do período 0); H = horizonte de planejamento; N = nº mínimo de períodos entre os cortes.

Restrição de fluxo constante - Força um fluxo constante, para garantir abastecimento, mantendo a produção entre um mínimo e um máximo:

$$(1 - \alpha) F_k - F_{k+1} \leq 0 \quad k = 0, 1, 2, \dots, H - 2$$

Onde:

$$F_k = \sum_{i=-M}^{k-N} V_{ik} x_{ik} \quad F_{k+1} = \sum_{i=-M}^{(k+1)-N} V_{i(k+1)} x_{i(k+1)}$$

α = fração reduzida máxima no nível de corte permitido desde um período k até um período $k+1$; β = máximo de aumento da fração no nível de corte permitido desde o período k até o período $k+1$; V_{ik} = volume por hectare cortado ao início do período k proveniente da regeneração no início do período i ; x_{ik} = Regeneração das áreas, em hectares, no início do período i e cortados no início do período j ; H = horizonte de planejamento; N = nº mínimo de períodos entre os cortes.

Restrição de estoque final - Garante um estoque mínimo ao final do período de planejamento:

$$\sum_{i=-M}^{H-N} V_{iH}^m W_{iH} \geq E^m$$

Onde: V_{iH}^m = volume comercial de madeira das áreas reflorestadas no início do período i e deixado no inventário final; E^m = volume comercial mínimo no inventário final; W_{iH} = Áreas (hectares) plantadas no início do período i e deixadas para o inventário final no período h , no final do horizonte de planejamento; A quantidade de volume comercial inventariado deixada em cada classe de idade i , ao final do horizonte de planejamento, é dada por:

$$V_{iH}^m W_{iH} \geq E_i^m \quad (i = -M, -M+1, \dots, H-N)$$

E_i^m = volume comercial mínimo no inventário final nas áreas regeneradas no início do período i ; $-M$ = número de períodos antes do início do período 0, onde a classe mais velha presente no início do período 0 é reflorestada (como exemplo: $-M = -8$ indica que a classe de idade presente mais velha foi reflorestada oito períodos antes que o período 0); H = horizonte de planejamento; N = nº mínimo de períodos entre os cortes.

Restrições de não-negatividade - X e W representam área e não podem ser negativos:

$$\begin{aligned} X_{ij} &\geq 0 && \text{para todas } i \text{ e } j, \\ W_{iH} &\geq 0 && \text{para todas } i. \end{aligned}$$

Onde: X_{ij} = regeneração das áreas (hectares) no início do período i e cortadas no início do período j (seguido por plantio imediato); W_{iH} = Áreas (hectares) regeneradas no início do período i e deixadas para o inventário final no período h , no final do horizonte de planejamento.

11.6.2 Exemplo 1 – Otimização de produtos a fabricar

Uma companhia que fabrica 2 produtos, deseja maximizar o lucro, sendo o lucro sobre P1 e P2 de R\$ 50 e 60, respectivamente. Ambos requerem diferentes número de horas de 3 máquinas para sua manufatura, conforme a Tabela 31. O problema é determinar a combinação de produtos que maximiza o lucro sem violar as restrições.

Tabela 31 - Planilha de dados de produtividade e disponibilidade das máquinas

Máquina	Produto		Disponibilidade (horas semanais)
	P1	P2	
1	2	1	300
2	3	4	509
3	4	7	812
Lucro	R\$ 50	R\$ 60	.

DEFINIÇÃO DO OBJETIVO:

Maximizar o lucro.

DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE DECISÃO:

Produto P1 (x1) e produto P2 (x2).

ELABORAÇÃO DA FUNÇÃO OBJETIVO:

$$\text{Maximizar o lucro} = 50.x1 + 60.x2$$

DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES:

$$\text{Máquina 1: } (2.x1 + 1.x2) \leq 300;$$

$$\text{Máquina 2: } (3.x1 + 4.x2) \leq 509;$$

$$\text{Máquina 3: } (4.x1 + 7.x2) \leq 812;$$

$$\text{sendo } x1 \text{ e } x2 \geq 0.$$

As restrições com "e" somam-se na mesma linha. Os valores a serem assumidos por X1 e X2 irão representar as quantidades de cada produto a serem produzidas para maximizar o lucro a ser obtido. O modelo matemático é definido como uma função objetivo e três restrições, como a seguir:

Função objetivo:

$$50.x1 + 60.x2 = \text{máximo}$$

Sujeito a:

$$2.x1 + 1.x2 \leq 300$$

$$3.x1 + 4.x2 \leq 509$$

$$4.x1 + 7.x2 \leq 812$$

Onde: $x1$ e $x2 \geq 0$.

Utilizando-se o SAS para solução do problema, pode-se ter um programa como segue:

```
* PROGRAMA SAS - PL, EXEMPLO 1;
DATA A;
INPUT NOME$ X1-X2 TIPO$ LADO_DIREITO;
DATALINES;
LUCRO 50 60 MAX .
MAQU1 2 1 LE 300
MAQU2 3 4 LE 509
MAQU3 4 7 LE 812
;
PROC LP;
ID NOME;
TYPE TIPO;
RHS LADO_DIREITO;
RUN;
QUIT;
```

11.6.3 Exemplo 2 – Otimização do transporte para a fábrica

ENUNCIADO:

Uma empresa possui 3 Povoamentos florestais com áreas de 20000, 26667 e 100000 hectares e duas unidades industriais. A empresa trabalha em sistema frio e o tempo de depósito da madeira é de 3 meses. A Fábrica 1 consome um máximo de 2 milhões e um mínimo de 1,8 milhões m³ de madeira por ano. A Fábrica 2 consome um máximo de 2,4 milhões e um mínimo de 2,2 milhões m³ de madeira por ano. A

empresa conta com dois depósitos intermediários com capacidades de 600 mil m³ de madeira cada um (Figura 46). As distâncias entre os Povoamentos, depósitos e fábricas são discriminados em Km na Tabela 32.

Tabela 32- Distância entre os Povoamentos florestais e os depósitos (Km)

Depósito	Povoamento Florestal			Fábrica	
	1	2	3	1	2
1	5	4	-	9	12
2	-	5	2	-	9

Obs. - Não há ligação do Povoamento 1 com o Depósito 2, nem do Povoamento 3 com o depósito 1. Não há ligação do Depósito 1 com a Fábrica 2.

PROBLEMA:

Considerando-se:

- Capacidade do Depósito 1 = 2400mil m³ por ano;
- Capacidade do Depósito 2 = 2400mil m³ por ano;
- Produtividade florestal média anual de 30 m³/ha;
- Capacidade média de carga por caminhão de 40 m³/viagem.

Responda:

- Qual o programa de abastecimento que minimiza a distância de transporte?
- Qual será a distância média por viagem?
- Quantos Km serão percorridos para abastecer as duas fábricas?
- Existem gargalos na produção?

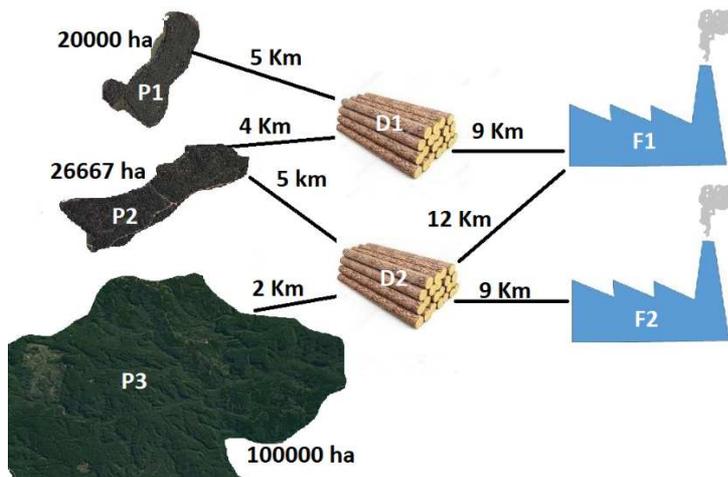


Figura 46 - Localização e distâncias das unidades de manejo, depósitos e fábricas.

Tabela 33- Tableau correspondente ao problema para solução com o SOLVER do EXCEL, ou CALC.

		Alternativas de decisão (Variáveis de decisão)										
		P1.D1.F1	P2.D1.F1	P2.D2.F1	P2.D2.F2	P3.D2.F1	P3.D2.F2					
		600	80	0	0	40	2000	Relaçã				
Atividade								LHS	o	RHS		
Objetivo		14	13	17	14	14	11	Mínim	o	4640	Folg	Excess
								o	0	0	a	o
Restrições	Depósito 1	1	1	0	0	0	0	140	<=	2400	1000	
	Depósito 2	0	0	1	1	1	1	240	<=	2400	0	
	Povoamento 1	1	0	0	0	0	0	600	<=	600	0	
	Povoamento 2	0	1	1	1	0	0	800	<=	800	0	
	Povoamento 3	0	0	0	0	1	1	240	<=	3000	600	
	Fabrica 1 máx	1	1	1	0	1	0	180	<=	2000	200	
	Fabrica 1 mín	1	1	1	0	1	0	180	>=	1800		0
	Fabrica 2 máx	0	0	0	1	0	1	200	<=	2400	400	
	Fabrica 2 mín	0	0	0	1	0	1	200	>=	2200		-200

⇒ P=povoamento;
D=depósito;
F=fábrica.

Para a solução com o SOLVER, o objetivo é o RHS na linha de objetivo da planilha, as variáveis de decisão estão na linha de atividades e as restrições são os valores do RHS das linhas de restrições.

RESULTADOS DA ANÁLISE:

- Função objetivo: serão percorridos 1160000Km para transportar a madeira até a fábrica; a Fábrica 1 deverá receber 2.000.000 m³/ano e a Fábrica 2 receberá 1.800.000 m³/ano.
- A distância média percorrida por viagem é de 12,21053 Km/viagem;
- A produção anual máxima é de: 3.800.000m³;
- O consumo mínimo da Fábrica 2 não será atingido;
- O gargalo que limita o abastecimento da Fábrica 2 é o Depósito 2, que deveria ter capacidade de armazenar mais 200 mil m³ por ano, ou, 50 mil m³ a cada período de 3 meses.

11.6.4 Exemplo 3 – Otimização de máquinas na colheita

Uma empresa possui uma série de máquinas de colheita que lhe permite montar três tipos de módulos para colher a madeira. A empresa tem dois objetivos: maximizar a produção e minimizar os custos.

As máquinas com seus custos e os módulos com suas produtividades possíveis são expressos na Tabela 34.

Tabela 34 – Máquinas, módulos, custos e produtividades na colheita.

Dados do Problema	Feller	Skidder	Processador	Forwarder	Harvester
Módulo1 (m ³ /h)	50	15	15	0	0
Módulo2 (m ³ /h)	0	0	0	30	12
Módulo3 (m ³ /h)	50	0	15	30	0
Máquinas disponíveis	5	8	4	6	2
Custo (R\$/hora)	500	400	700	500	1000

A solução envolve o processamento em três fases. Na primeira, deve-se maximizar a produtividade por hora; na segunda minimizar o custo a partir de uma produção mínima a ser estabelecida com base nos resultados da primeira fase, para depois processar novamente os dados para maximizar a produção com um custo máximo estabelecido com base nos resultados das duas fases anteriores. O tableau da primeira está na Tabela 35.

Tabela 35- Maximização da produtividade por hora (Tableau)

Restrições	Modulo 1	Modulo 2	Modulo 3	Tipo	RHS
Feller	1	0	1	<=	250
Skidder	1	0	0	<=	120
Processador	1	0	1	<=	60
Forwarder	0	1	1	<=	180
Harvester	0	1	0	<=	24
Producao	1	1	1	máximo	.

O programa SAS para resolver o problema na primeira fase é o que segue:

```
DATA DADOS;
INPUT RESTRICAO$ MODULO_1-MODULO_3 TIPO$ RHS;
CARDS;
FELLER 1 0 1 <= 250
SKIDDER 1 0 0 <= 120
PROCESSADOR 1 0 1 <= 60
FORWARDER 0 1 1 <= 180
HARVESTER 0 1 0 <= 24
PRODUCAO 1 1 1 MAX .
;
PROC LP DATA=DADOS;
ID RESTRICAO;
TYPE TIPO;
RHS RHS;
RUN;
```

Como resultado obtém-se o valor da função objetivo de maximização da produtividade em 84 m³/hora. Estabelecendo-se um mínimo de 70 m³/h como restrição na segunda fase, tem-se o tableau para a solução apresentado na Tabela 36. Deverá ser utilizado o módulo 1 com uma produtividade de 60 m³/h e o módulo 2 com produtividade de 24 m³/h. Alternativamente o módulo 2 pode ser substituído pelo módulo 3 com mesma produtividade. Serão utilizadas 60h de Feller buncher, 60h de Skidder, 60h de Processador, 24h de Forwarder e 24h de Harvester.

Tabela 36 - Minimização do custo com colheita com produtividade mínima de 70m³/h (Tableau)

Restrições	Modulo 1	Modulo 2	Modulo 3	Tipo	RHS
Feller	1	0	1	<=	250
Skidder	1	0	0	<=	120
Processador	1	0	1	<=	60
Forwarder	0	1	1	<=	180
Harvester	0	1	0	<=	24
Producao	1	1	1	>=	70
Custo	1600	1500	1700	mínimo	.

11.6.5 Exemplo 4 – Planejamento da produção florestal

Um silvicultor possui uma pequena florestas com quatro talhões com as características da Tabela 37. Os dados de inventário florestal contínuo da floresta são apresentados na Tabela 38.

Tabela 37- Talhões florestais da propriedade.

Talhão	Idade	Área (ha)
1	2	20
2	7	25
3	14	28
4	20	23

O silvicultor pretende minimizar o custo com uma produção mínima de 90% da capacidade produtiva da floresta. Para facilitar, ajustou-se uma equação para estimar as produções anuais conforme a Tabela 38.

Tabela 38 - Talhões e estoque anual por idade e variáveis de regressão (Y, X1, x2, x3) para ajuste da equação $V=b_0+b_1.t+b_2.t^2+b_3.t^3$.

Talhão	t=Idade (anos)	Produção (m³/ha)	Produtividade (m³.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Y	X1=t	X2=t ²	X3=t ³
1	5	75	15.0	75	5	25	125
1	10	150	15.0	150	10	100	1000
1	15	350	23.3	350	15	225	3375
1	18	500	27.8	500	18	324	5832
1	20	600	30.0	600	20	400	8000
1	22	650	29.5	650	22	484	10648
2	5	78	15.6	78	5	25	125
2	10	154	15.4	154	10	100	1000
2	15	353	23.5	353	15	225	3375
2	18	494	27.4	494	18	324	5832
2	20	596	29.8	596	20	400	8000
2	22	653	29.7	653	22	484	10648
3	5	78	15.6	78	5	25	125
3	10	144	14.4	144	10	100	1000
3	15	343	22.9	343	15	225	3375
3	18	510	28.3	510	18	324	5832
3	20	620	31.0	620	20	400	8000
3	22	657	29.9	657	22	484	10648
4	5	71	14.2	71	5	25	125
4	10	150	15.0	150	10	100	1000
4	15	345	23.0	345	15	225	3375
4	18	517	28.7	517	18	324	5832
4	20	619	31.0	619	20	400	8000
4	22	659	30.0	659	22	484	10648

Resultados da análise de regressão; B0=296.8017271; B1=-81.3537999; B2=8.375974905; B3=-0.178303564; R²=0.9975; CV=3.07%.

O gráfico produzido com a equação de regressão para estimar a produção por hectare está delineado na Figura 47.

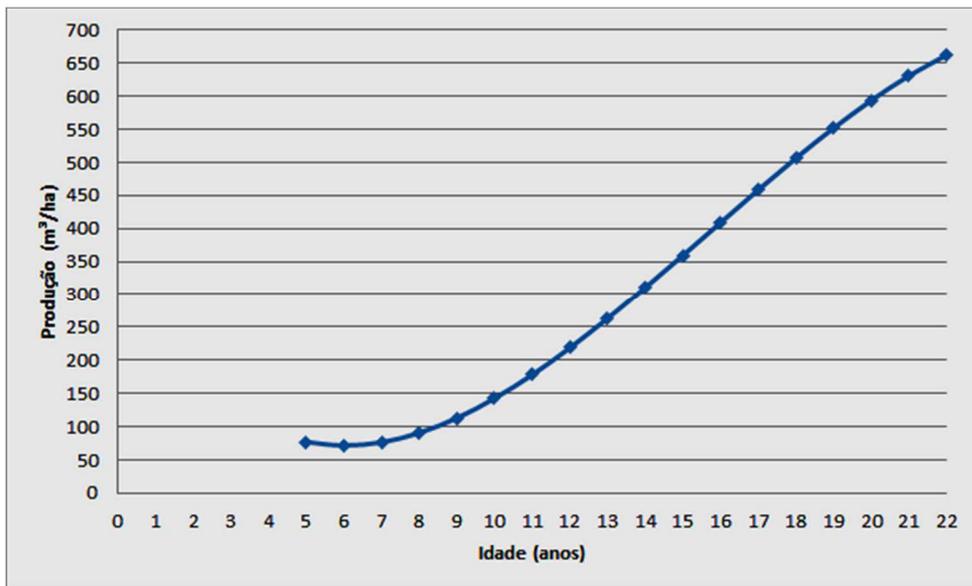


Figura 47 - Produção (estoque) por hectare por idade (m³/ha).

A seleção das idades de rotação foi realizada conforme as dimensões da madeira desejada, tendo-se estabelecido um mínimo de 18 anos, podendo ser alternativamente com 20 ou 22 anos (Tabela 39).

Tabela 39- Produção e produtividade anual por idade de rotação.

Idade	Produção (V=m³/ha)	Produtividade (m³/ha/ano)
5	77	15.4
6	72	12.0
7	77	10.9
8	91	11.3
9	113	12.6
10	143	14.3
11	178	16.2
12	219	18.2
13	263	20.2
14	310	22.2

Idade	Produção (V=m³/ha)	Produtividade (m³/ha/ano)
15	359	24.0
16	409	25.6
17	458	27.0
18	506	28.1
19	552	29.0
20	594	29.7
21	631	30.0
22	662	30.1

Com base nas idades dos talhões e idades de rotação escolhidas, estabeleceram-se os regimes de manejo (R) possíveis para cada talhão e as produtividades anuais por talhão em cada regime de manejo (T1R1 a T4R4) (Tabela 40).

Tabela 40 - Prognose das produtividades anuais por talhão em cada regime de manejo possível para o período de 2018 a 2045 por período.

Talhão			1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4
Regime de Manejo	Alternativas	→	T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4	T3R5	T4R1	T4R2	T4R3
Rotações	(anos)		18	20	22	18	20	22	18;18	18;20	18;22	20;20	20;22	22;18	22;20	22;22
Produtividade (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	18anos		28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1
	20anos		29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7
	22anos		30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1
Produtividade por ano de produção (m ³ /ha)	2018		Período 1													
	2019															
	2020															
	2021															
	2022															
	2023															
	2024															
	2025															
	2026															
	2027															
	2028															
	2029															
	2030															
	2031															
	2032															
	2033															
	2034															
	2035															
	2036															
	2037															
2038																
2039																
2040																
2041																
2042																
2043																
2044																
2045																
Total			28.1	29.7	30.1	28.1	29.7	30.1	56.3	57.8	58.2	59.4	59.8	58.2	59.8	60.2

Com os regimes de manejo estabelecidos para os talhões e respectivas produtividades, realizou-se a otimização da produção, desprezando-se os custos, de forma a obter um valor para a máxima produção total (Tabela 41), resultando em um máximo de 4414 m³, sendo utilizados 20 ha do talhão 1 no regime de manejo 3 (uma rotação de 22anos), 24 ha do 2 no regime de manejo 3 (uma rotação de 22anos), 28 ha do 3 no regime de manejo 5 (rotações de 20 e de 22 anos) e 23 ha do 4 no regime de manejo 3 (duas rotações de 22 anos).

Tabela 41- Tableau para maximização da produção com o EXCEL

Restrições	Variáveis (=Alternativas de manejo de cada talhão)														Atividade	Relação	RHS
	T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4	T3R5	T4R1	T4R2	T4R3			
Atividade =	0	0	20	0	0	25	0	0	0	0	28	0	0	23			
Objetivo	28.1	29.7	30.1	28.1	29.7	30.1	56.3	57.8	58.2	59.4	59.8	58.2	59.8	60.2		Máximo	4414.2
Area T1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	<=	20
Area T2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	25	<=	25
Area T3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	28	<=	28
Area T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	23	<=	23

Então, determinou-se o custo por m³ produzido em cada regime de cada talhão por ano de produção na Tabela 42, considerando-se os custos por m³ produzido nas diferentes idades de rotação como segue:

- 18 anos: 35 R\$/m³;
- 20 anos: 30 R\$/m³;
- 22 anos: 28 R\$/m³.

Utilizando-se os custos de produção anual, elaborou-se o tableau para minimizar os custos, com uma produção mínima de 4000 m³ no período, conforme a Tabela 43, resultando num custo total mínimo de R\$ 3770,20, sendo que para isso deve-se utilizar:

- 20 ha do talhão 1 no regime de manejo (uma rotação de 22 anos);
- 25 ha do talhão 2 no regime de manejo 3 (uma rotação de 22 anos);
- 21,1 ha do talhão 3 no regime de manejo 5 (uma rotação de 20 anos e uma rotação de 22 anos);
- 23 ha do talhão 4 no regime de manejo 3 (duas rotações de 22 anos).

Tabela 43- Tableau para minimização do custo com o EXCEL.

Restrições	Variáveis (=Alternativas de manejo de cada talhão)														Atividade	Relação	RHS
	T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4	T3R5	T4R1	T4R2	T4R3			
Atividade =	0	0	20	0	0	25	0	0	0	0	21.1	0	0	23			
Objetivo	35.0	30.0	28.0	35.0	30.0	28.0	70.0	65.0	63.0	60.0	58.0	63.0	58.0	56.0		Mínimo	3770.2
Produção	28.1	29.7	30.1	28.1	29.7	30.1	56.3	57.8	58.2	59.4	59.8	58.2	59.8	60.2	4000.0	=	4000.0
Area T1	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	<=	20.0
Area T2	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	<=	25.0
Area T3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	21.1	<=	28.0
Area T4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	23.0	<=	23.0

11.7 CPM - Critical Path Method

O método do caminho crítico (CPM) é um método matemático para organizar uma ou mais seqüências de atividades de um projeto, em tempo mínimo de execução.

A programação pode ser realizada para frente, a partir de uma data inicial, ou para trás, a partir de uma data final.

11.7.1 Programação para Frente (Data Cedo)

Na programação para frente parte-se do evento origem e determina-se a PD*i* (Primeira data de Início do evento *i*), que representa o caminho de maior duração entre a origem do projeto e o evento *i*.

$$PDi = \max C (\text{origem}, i)$$

11.7.2 Programação para Trás (Data Tarde)

Na programação para trás parte-se do caminho inverso, ou seja, do evento objetivo do projeto para determinar a UDA*i* (Última data para acabar um evento *i*), assumindo-se que PD*objetivo* = UDA*objetivo* menos o caminho de maior duração entre o evento *i* e o evento objetivo.

$$UDAi = UDA_{\text{objetivo}} - \max C (i, \text{objetivo})$$

11.7.3 Determinação do Caminho Crítico:

A sequência de passos de cálculos é realizada como a seguir:

PDA - Primeira Data para Acabar:

$$PDA_{ij} = PDI_{ij} + d_{ij};$$

UDI - Última Data de Início:

$$UDI_{ij} = UDA_{ij} - d_{ij};$$

FT - Folga Total:

$$FT_{ij} = UDA_{ij} - (PDI_{ij} + d_{ij});$$

FL - Folga Livre:

$$FL_{ij} = PDI_{jk} - (PDI_{ij} + d_{ij});$$

Pertence ao caminho crítico a atividade *ij* que possui a data cedo igual a data tarde, ou seja, PDI = UDA nos eventos *i* e *j*, e não possuem folgas.

EXEMPLO DE PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO CPM

Considere-se a programação de 14 atividades com as características da Tabela 44.

A elaboração do fluxo das atividades e cálculo da semana de início e fim da atividade são representados na Figura 48. O início da tarefa A é 1, ou seja, a 1ª semana e termina na semana 2 (Final de A = Início de A + Duração de A – 1). O início de B é igual a (1 + Final de A); o final de B é (Início de B + Duração de B -1); e, assim sucessivamente. As derivações ocorrem quando há mais de uma tarefa sucessora, abrindo o fluxo em 2 ou até mais ramos. Isso pode ser realizado manualmente, ou utilizando um software como o SAS, com o PROC CPM (ver programa ao final desta secção).

Tabela 44 - Duração e sucessores das atividades a programar pelo CPM

Atividade	Duração (semanas)	Sucessor1	Sucessor2
A	2	B	B
B	4	C	C
C	6	D	E
D	5	F	G
E	4	H	I
F	7	I	I
G	5	J	J
H	6	J	J
I	8	N	N
J	9	K	L
K	5	M	M
L	4	M	M
M	6	.	.
N	2	.	.

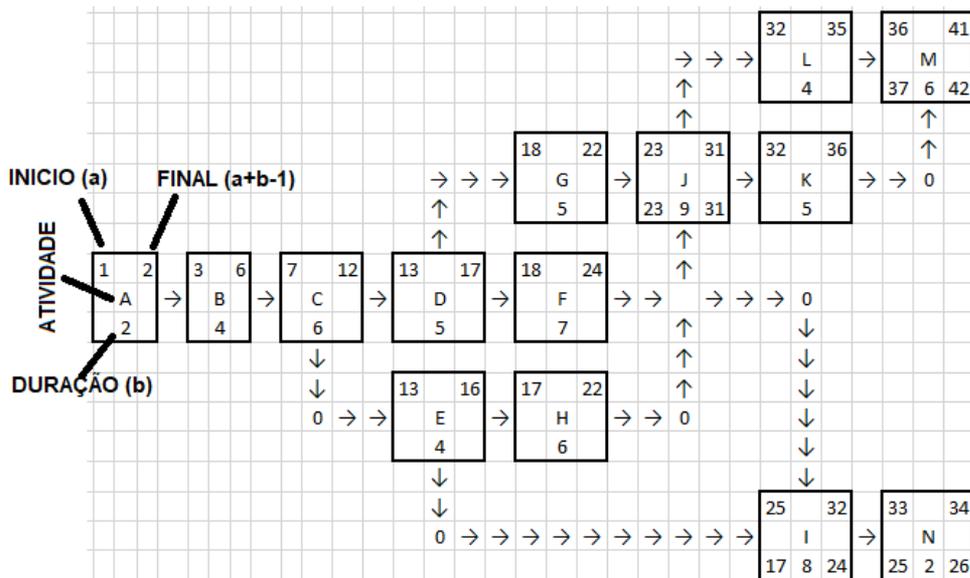


Figura 48 - Desenvolvimento do cronograma pelo CPM para as 14 atividades.

A partir do fluxograma pode ser desenvolvido o diagrama de Gantt, para ilustrar o avanço das atividades (Figura 49).

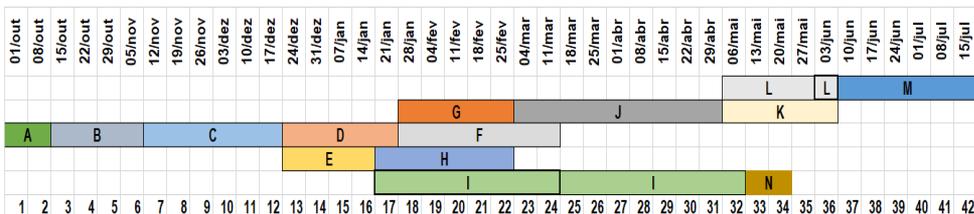


Figura 49 - Diagrama de Gantt, representando o progresso das 14 atividades.

O diagrama de Gantt facilita determinar as atividades com folgas para iniciar ou terminar (Tabela 45).

Tabela 45 - Atividades com folgas, evidenciadas pelo diagrama de Gantt.

Atividade	Tempo	Período	Folga para
I	8	17 a 24	Iniciar
L	1	36	Terminar

O programa SAS para realizar a programação CPM deste caso é listado a seguir:

```
DATA DADOS;
INPUT ATIVIDADE $ SEMANAS SUCESSOR1 $
SUCESSOR2 $;
DATALINES;
A 2 B B
B 4 C C
C 6 D E
D 5 F G
E 4 H I
F 7 I I
G 5 J J
H 6 J J
I 8 N N
J 9 K L
K 5 M M
L 4 M M
M 6 . .
N 2 . .
;
PROC CPM DATA=DADOS
          OUT=RESULTADO
          INTERVAL=WEEK
          DATE='01JAN07'D;
  ACTIVITY ATIVIDADE;
  DURATION SEMANAS;
  SUCCESSOR SUCESSOR1 SUCESSOR2;
PROC PRINT DATA=RESULTADO NOOBS;
RUN;
```

Como resultado do processamento é obtida a Tabela 46.

Tabela 46 - Resultados da programação CPM para 14 atividades com o SAS.

Atividade	Sucessor1	Sucessor2	Semanas	E_START	E_FINISH	L_START	L_FINISH	T_FLOAT	F_FLOAT
A	B	B	2	01/jan/07	14/jan/07	01/jan/07	14/jan/07	0	0
B	C	C	4	15/jan/07	11FEB07	15/jan/07	11FEB07	0	0
C	D	E	6	12FEB07	25/mar/07	12FEB07	25/mar/07	0	0
D	F	F	5	26/mar/07	29APR07	21MAY07	24/jun/07	8	0
E	H	I	4	26/mar/07	22APR07	26/mar/07	22APR07	0	0
F	I	I	7	30APR07	17/jun/07	25/jun/07	12AUG07	8	0
G	J	J	5	01/jan/07	04FEB07	30APR07	03/jun/07	17	17
H	J	J	6	23APR07	03/jun/07	23APR07	03/jun/07	0	0
I	N	N	8	18/jun/07	12AUG07	13AUG07	07OCT07	8	0
J	K	L	9	04/jun/07	05AUG07	04/jun/07	05AUG07	0	0
K	M	M	5	06AUG07	09SEP07	06AUG07	09SEP07	0	0
L	M	M	4	06AUG07	02SEP07	13AUG07	09SEP07	1	1
M			6	10SEP07	21OCT07	10SEP07	21OCT07	0	0
N			2	13AUG07	26AUG07	08OCT07	21OCT07	8	8

Onde: Atividade = nome da atividade; Sucessor1 = primeira atividade sucessora; Sucessor2 = segunda atividade sucessora; Semanas = tempo de execução da atividade em semanas; E_START = primeira data para iniciar a atividade; E_Finish = primeira data para encerrar a atividade; L_Start = última data para iniciar a atividade; L_Finish = última data para encerrar a atividade; T_Float = folga para iniciar a atividade; F_Float = folga para encerrar a atividade. Obs.: todos os tempos e períodos estão em semanas.

12 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

Os impactos dos empreendimentos de qualquer área da economia são avaliados quanto aos aspectos econômicos, ambientais e sociais.

Desde os anos 1970 foram desenvolvidas diversas metodologias para AIA, baseadas em princípios, critérios e indicadores para diferentes formas de impactos ambientais, algumas específicas para determinado caso e outras mais genéricas.

A escolha do método de AIA depende de diversos fatores (CARVALHO e LIMA, 2010; IDEIA, 2002), estando entre eles:

- Dados e informações disponíveis;
- O tipo de projeto que será avaliado;
- Os recursos técnicos e financeiros existentes;
- A quantidade e a qualidade dos dados e informações disponíveis;
- A quantidade de tempo que se dispõe para realizar o estudo;
- Os Termos de Referência e os requisitos legais que o EIA/RIMA tem que cumprir.
- As atividades, futuros produtos, serviços, ou os principais processos que estarão sendo estudados.

Procurou-se levantar e classificar as metodologias mais comuns existentes para Avaliação de Aspectos Ambientais (AIA), sobre as quais se baseou a metodologia proposta para aplicar sobre a produção brasileira de madeira de *Eucalyptus* destinada à fabricação de celulose e papel, conforme seu tipo e finalidade: para a fase de identificação e sumarização, ou para a fase de avaliação.

As avaliações de impacto e a gestão de risco (próximo capítulo) tem muita semelhança e metodologias utilizadas para um podem ser adaptadas algumas vezes para o outro.

12.1 Métodos de AIA para a fase de identificação e sumarização

Tem como objetivo identificar, qualificar, quantificar e apresentar os prováveis impactos decorrentes de um projeto. Com base em RODRIGUES (2002) e SOARES (2002) identificou-se os 6 principais métodos:

- Método Espontâneo (*Ad-Hoc*) - utilizado para projetos específicos, usa o *brainstorming* com auxílio de Tabelas e matrizes; não tem padrão;
- Método de listagens (*checklists*) - usa listas padronizadas dos fatores ambientais associados ao projeto; com informações sobre técnicas de previsão, descrição do impacto, escalas de valores e índices de ponderação;
- Métodos de Matrizes - relacionam as ações do projeto aos fatores ambientais com interseção de linhas e colunas; representa-se o impacto de cada ação sobre cada fator ambiental; na Matriz de Leopold, por exemplo, com 100 ações de projeto no eixo horizontal e 88 características e condições ambientais no eixo vertical, os impactos são identificados como positivos ou negativos e quantificados quanto à magnitude e importância numa escala de 0-10;
- Redes de Interação – apresentados na forma de diagramas, gráficos ou fluxogramas que procuram estabelecer a sequência de impactos ambientais a partir de uma determinada intervenção do tipo causa e efeito, utilizando métodos gráficos; aos possíveis impactos são associados parâmetros de valor em magnitude, importância e probabilidade, identificando impactos diretos e indiretos decorrentes em cada caso;
- Sobreposição de Cartas (*Overlay*) – é usado para estudos que envolvam alternativas de localização e questões de dimensão espacial; consiste na sobreposição de cartas temáticas, uma para cada fator ambiental, para identificação da situação ambiental de forma espacializada;
- Modelo de Simulação - é constituído por modelos matemáticos destinados a representar a estrutura e o funcionamento dos sistemas através de relações complexas entre componentes quantitativos ou qualitativos (Físicos, Biológicos ou Socioeconômico), a partir de um conjunto de hipóteses ou pressupostos;

12.2 Métodos de AIA para a fase de avaliação

São utilizados para comparação de alternativas, e podem ser classificados de acordo com o modo de incorporar a opinião ao processo. Com base em RODRIGUES (2002) e SOARES (2002) identificou-se os 3 principais métodos:

- Metodologias quantitativas - procuram associar valores às considerações qualitativas formuladas na avaliação de impactos de um projeto; o meio ambiente é dividido em categorias (como ecologia, poluição, estética e interesse humano) divididas em componentes e subdivididos em parâmetros representados por um conjunto de medidas; são expressos os efeitos sobre todos os parâmetros através de uma mesma escala, geralmente, de 0 a 10;
- Folha de Balanço - utiliza-se da quantificação monetária e os impactos não quantificáveis são objeto de análise qualitativa;
- Matriz de Realização de Objetivo - os impactos são avaliados em função de uma relação de custos sobre benefícios a partir da ponderação dos diferentes objetivos da sociedade e dos grupos afetados.

12.3 Princípios e critérios para avaliação ambiental

Crítérios são limites estabelecidos na realização de julgamentos referentes à qualidade ou quantidade, baseados em determinações científicas previamente identificadas, passíveis de controle e que permitem dizer se algo é bom ou mau, benéfico ou maléfico, de alto ou baixo custo, de grande ou pequena importância, etc. Um critério pode ser entendido, também, como a forma de julgar o cumprimento de um princípio.

Então, para se estabelecer critérios, primeiro é necessário estabelecer os princípios, depois a forma de julgá-los com base em observações e estudo de dados existentes ou de experimentação. Os critérios para verificação do atendimento aos princípios em termos absolutos (sim/não), ou em termos relativos (grau ou percentual de atendimento) devem ser determinados por estudos prévios com base científica, ou conforme a legislação e normas pertinentes.

Os parâmetros (quantitativos) e atributos (qualitativos), eleitos a partir de princípios, para realizar análises ambientais com base nos critérios estabelecidos, são os indicadores. A norma ISO/TR 14061 (1998), traduzida e adequada para o Brasil pela ABNT como NBR 14789 (dez./2001), estabelece os princípios, critérios e indicadores para o manejo de plantações florestais, definindo-os como segue:

Princípio – *Legislação ou regra fundamental que serve de base para ação e é expressa na forma de objetivo ou atitude em relação à função do ecossistema florestal e aos aspectos pertinentes do sistema social com que este ecossistema se relaciona.*

Critério – *Expressão da postura face a parâmetros ou requisitos que traduzem a adesão a um princípio e que se relaciona ao estado ou à dinâmica de um sistema.*

Indicador – *Parâmetro quantitativo ou qualitativo que permite avaliar, de forma objetiva e não ambígua, as características do ecossistema florestal ou do sistema social relacionado, ou descreve elementos do manejo florestal e dos processos produtivos conduzidos neste sistema.*

Para SOARES (2002), índices ambientais são funções matemáticas baseadas em duas ou mais variáveis, são a expressão numérica dos indicadores, que por sua vez podem ser entendidos como:

Ferramentas de acompanhamento de estratégias de ação sobre o meio ambiente através de análise sistemática dos desvios temporais e/ou espaciais de uma situação de referência.

SOARES (2002) classifica os indicadores em três categorias como:

- **Indicadores de pressão** - servem para avaliar a pressão das atividades antrópicas sobre o ambiente (exemplo: crescimento da demanda de madeira para celulose);
- **Indicadores de estado** - usados para descrever situações ambientais (exemplo: concentração de nitratos na água de um rio);
- **Indicadores de resposta** - servem para avaliar os esforços para resolver um problema ambiental (exemplo: financiamentos destinados à despoluição de solos).

12.4 Classificação dos impactos ambientais

O CREA, preocupado com a capacitação dos profissionais registrados no conselho quanto às exigências legais ambientais, tem promovido cursos sobre elaboração de EIA/RIMA em vários Estados; dentre as metodologias sugeridas, o curso ministrado no Rio Grande do Sul pela IDEIA (2002) sugere que a avaliação de impacto seja realizada com base nas características de:

- IMPORTÂNCIA – representada pelo mérito dado ao fato quanto a seu efeito ambiental;
- MAGNITUDE – representada pela intensidade em caso de ocorrência;
- SEVERIDADE – dada pelo cruzamento da importância e magnitude;
- FREQUÊNCIA/PROBABILIDADE – representada pela ocorrência passada ou probabilidade de ocorrer;
- SIGNIFICÂNCIA – que pode ser uma exigência legal, uma política voluntária, ou uma exigência de parte interessada.

O mesmo sistema de avaliação é sugerido pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – FEPAM (2002), no Rio Grande do Sul.

O método GUT (Gravidade/Urgência/Tendência) vem sendo utilizado largamente em administração de problemas e é descrito por CARVALHO (1997) como sendo uma avaliação da gravidade dos problemas (importância), da urgência em resolvê-los (temporalidade) e da tendência que possuem para permanecerem na mesma condição, piorar ou melhorar.

A característica “gravidade” do método GUT, é semelhante à “severidade” do Curso sobre EIA/RIMA da IDEIA.

A “urgência” do GUT, caracterizado pela premência de tempo, é relacionado ao Princípio da Precaução, objeto da análise para certificação do manejo florestal pelo

FSC e do Capítulo 35 da Agenda 21, “A ciência para o desenvolvimento sustentável”, que diz o seguinte:

“A abordagem da precaução pode oferecer uma base para políticas relativas aos sistemas complexos que ainda não são plenamente compreendidos e cujas consequências de perturbações não podem ainda ser previstas.”

Neste caso, a iminência de que possa acontecer algo grave, que pode já ter ocorrido, pode estar acontecendo, ou que poderá ocorrer, determina o grau de urgência baseado no Princípio da Precaução, em que se tome uma providência em curtíssimo prazo (imediate, agora), em curto prazo (logo, nos próximos dias), em médio prazo (em breve, nas próximas semanas), em longo prazo (nos próximos meses), ou longuíssimo prazo (nos próximos doze meses); de forma que, em acontecendo, as consequências sejam anuladas ou minimizadas.

A Precaução é, também, objeto de análise de responsabilidade por danos ao meio ambiente previsto no Decreto Federal Nº 3179/99, em seu Artigo 41, Parágrafo Primeiro:

“VI - deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível.”

Assim, riscos potenciais, deverão ser caracterizados pela iminência em acontecer, como critério de avaliação, tanto por exigência legal, quanto sócio-econômica, ou técnico-administrativa.

A característica “tendência” do GUT, é semelhante à “probabilidade” do EIA/RIMA do curso da IDEIA, pois ambos tratam das chances de algo ocorrer, embora

"tendência" tenha a ver também com a inclinação para melhorar ou piorar, sendo um critério mais completo que a simples probabilidade.

A "significância" usada pela IDEIA é relacionado à "gravidade" do método GUT, pois diz respeito à importância legal, ou para a organização, ou para seus clientes, podendo ser analisado como subcritério da importância, ao qual se considera incluso.

Na definição dos objetivos e metas ambientais do SGA (ISO 14000) da Alston Brasil Ltda, CHIARADIA (2001) informa que são levados em consideração os requisitos legais, aspectos ambientais, requisitos tecnológicos, financeiros e operacionais e a visão das partes interessadas; para AIA é usada uma matriz de avaliação de impactos ambientais baseada no método de falha e análise de efeito ambiental (EFMEA - Environmental Failure Mode and Effects Analysis), uma variação do método de falha e análise de efeito (FMEA), que de acordo com MOHR (2002) é uma metodologia para analisar e descobrir todas as formas de falhas potenciais em um sistema, os efeitos que as falhas tem sobre o sistema e de como corrigir e mitigar as falhas ou efeitos sobre o sistema. Segundo os autores citados, o método inclui os seguinte itens de avaliação: o local ou área onde é realizada a atividade, as atividades, os produtos e ou serviços resultantes da atividade, os aspectos e impactos ambientais previstos, a situação de ocorrência (normal ou não), a incidência (frequência), classe (intensidade), temporalidade, legislação, severidade (gravidade), probabilidade e frequência, modo da falha, causa da falha, e o resultado (efeito positivo ou negativo).

Segundo ROSA (1993), a avaliação de impactos ambientais deve levar em consideração os seguinte fatores: adversidade e significância; área de ocorrência (região afetada, a sociedade, os interesses afetados, etc.); intensidade, a severidade do impacto, a sua reversibilidade e o seu potencial de mitigação; temporalidade (temporário / permanente), espacialização (local / regional), reversibilidade (reversível

- retorna às condições originais com a aplicação de medida mitigadora ou de controle / irreversível); controle ou mitigabilidade.

Os critérios do curso da IDEIA, sendo cruzados com o método GUT, conforme a Tabela 6, resultam em cinco características de análise que foram redenominadas para formar o método chamado de “5i”.

O estudo de aspectos ambientais, pela legislação brasileira, inclui o planejamento de ações, assim como pelas normas ISO da série 14000 (ABNT, 1996), sendo que as normas ISO da série 9000 recomendam que se utilize o sistema PDCA (Plan, Do, Control, Act) para o planejamento de qualquer tipo de ação em gestão e o descrevem com detalhes.

Tabela 47 - Características para avaliação de aspectos ambientais

CRITÉRIOS		CRITÉRIOS RESULTANTES	
IDEIA a	GUT b	Denominação original	Redenominação (5i)
Severidade	Importância	Importância	Importância
	Magnitude	Magnitude	Intensidade
Frequência	-	Frequência	Incidência
Probabilidade	Tendência	Probabilidade ou Tendência	Inclinação
-	Urgência	Urgência	Iminência
Significância	Gravidade	Importância	-

Fontes: (a) IDEIA (2002); (b) CARVALHO (1997).

O planejamento de ações, passa pela tomada de decisão sobre as ações que deverão ser adotadas. Neste aspecto, vem auxiliar a Metodologia do Processo Decisório, como descrito por CARVALHO (1997).

Conforme o exposto, as metodologias “5i”, Processo Decisório e PDCA são complementares, pois a primeira auxilia na avaliação do grau de impacto, a segunda na decisão de medidas a serem tomadas e a terceira no planejamento das ações, que

são os passos gerais a serem seguidos no estudo de aspectos ambientais conforme as normas ISO da série 14000 e conforme a legislação brasileira referente ao EIA/RIMA. Entretanto, o escopo deste trabalho se restringe à avaliação de impactos ambientais, com a classificação e metodologia que se expõem a seguir.

12.4.1 Classificação qualitativa:

Quanto ao Gênero: natural e antrópico. O aspecto natural divide-se em biótico e físico (abiótico). O aspecto antrópico tem quatro subtipos, conforme as ISO série 14000 (ABNT, 1996a/b), tidos como classificação quanto à significância, que é a classificação quanto à quem é significativo o efeito resultante do impacto considerado, que são: 1) exigência legal; 2) política voluntária; 3) exigência de parte interessada ou 4) exigência por pressão da sociedade. Embora este tipo de classificação seja relevante, os subtipos citados podem ser considerados como parte da classe antrópica cultural. Neste estudo, a classificação quanto ao gênero se restringirá aos tipos: natural (biótico e físico) e antrópico (social, cultural e econômico).

- **Quanto ao Modo:** direto e indireto (SOARES, 2002a).
- **Quanto ao Resultado:** positivo e negativo (SOARES, 2002a).
- **Quanto à Reversibilidade:** reversível, parcialmente reversível, irreversível.
- **Quanto à Decorrência:** de emergência ou imprevisto; de desgaste ou falha de manutenção; de falha de sistema ou operacional; de falha de equipamento ou de projeto; decorrente da própria atividade.

Os impactos podem ser classificados também **quanto ao gênero de suas causas**, que podem ser: matéria, energia, seres vivos, processos ou fenômenos, mas esta análise não será levada a cabo neste estudo, pois pode ser considerada como

implícita na atividade geradora do efeito, sendo somente uma informação complementar.

Quanto à Mitigabilidade: mitigável – a causa e/ou efeito negativo pode ser minimizada ou eliminada sem que seja necessário parar de realizar a atividade produtiva permanentemente; não mitigável – para que a causa ou efeito adverso seja minimizada ou eliminada é necessário parar de realizar a atividade produtiva permanentemente.

Quanto à capacidade de Detecção – De acordo com SOARES (2002-b), os impactos ambientais potenciais e reais devem ser avaliados quanto ao grau de facilidade de detecção (detectância) através dos meios de monitoramento disponíveis, conforme os seguintes critérios: difícil (improvável que o impacto ambiental seja detectado), moderado (provável que o aspecto ambiental seja detectado dentro de um período de tempo razoável e fácil (praticamente certo que o impacto ambiental seja detectado rapidamente).

12.4.2 Classificação absoluta:

Espacial – é realizada pela área de abrangência: local, regional, global; pode ser dada em unidades de medida de superfície (m², ha, km²) ou, quando conhecidas as medidas da parte afetada e do todo considerado pode ser dada em proporção ao todo em estudo. Conforme SOARES (2002a) devem considerados os impactos nas seguintes amplitudes espaciais: restritos ao local de ocorrência; restritos aos limites físicos da empresa; atingem a região adjacente à empresa; atingem amplas áreas externas da empresa.

Temporal (ou prazo de carência do efeito) – é realizada pelo prazo em que o efeito se mantém ativo ou presente, que pode ser temporário (pequeno médio e

longo prazos) ou permanente; é dado em unidades de tempo (horas, dias, semanas, meses, anos). SOARES (2002b) acrescenta que o aspecto da temporalidade deve levar em conta se o impacto é resultante de atividades, produtos e/ou serviços desenvolvidos: no passado que ainda geram impactos ambientais (passivo ambiental); no presente; ou que estão em fase de implantação ou podem ter impacto no futuro.

12.4.3 Classificação relativa

Os parâmetros de quantificação dos aspectos ambientais são graduados em uma escala de acordo com o seu grau de impacto, por exemplo: graduada de 0 a 10. Neste caso, os graus mínimo e máximo devem ser determinados para cada fator considerado e os valores intermediários devem ser calculados de acordo com métodos de parametrização.

Gravidade ou Importância - É o valor relativo de um fato, ou gravidade no caso de acontecer, em relação ao valor global do todo considerado. A importância será tanto maior, quanto maior o valor do fato ocorrido sobre o valor do todo ao qual está relacionado. É o risco de dano estimado com base no que já ocorreu. A importância Tem a ver com o porte de algo em relação à média: mínimo, pequeno, médio, grande, excepcional. Um exemplo de classes de gravidade encontrado na literatura é dado na Tabela 7.

Urgência ou Iminência - É o tempo restante para que se tome uma providência a respeito de um fato que poderá ocorrer. É determinado pela iminência da ocorrência de um evento imediatamente, em médio prazo, ou em prazo remoto. A iminência diz respeito à situação temporal de um fato em si. Representa a premência de tempo em se tomar uma providência em relação a algo que poderá acontecer. É o

grau de urgência para que se adote alguma medida. Um exemplo de graus de premência de tempo, elaborado em 1992 para prazos de combate às formigas na Bahia Sul, é apresentado na Tabela 8 a seguir.

Tabela 48 - Exemplo de categorias de gravidade

Definição	Categoria	Descrição
Catastrófica	I	Morte, perda do sistema ou danos ambientais severos.
Crítica	II	Ferimentos graves, doença ocupacional grave, danos grandes no sistema ou no meio ambiente – Consumo significativo de recursos naturais; geração elevada de poluição.
Marginal	III	Ferimentos leves, doenças do trabalho não importantes, danos pequenos nos sistemas ou ao meio ambiente - Consumo moderado de recursos naturais; geração moderada de poluição e rejeitos
Desprezível	IV	Menos do que a categoria de pequenos ferimentos, doenças do trabalho não importantes ou não causa danos em sistemas ou ao meio ambiente - Consumo desprezível de recursos naturais; não causa poluição significativa.

Fonte: SOARES (2001).

Tabela 49- Exemplo de níveis temporais – Prazo e ações a tomar

ÍNDICE	RISCO	AÇÃO	PRAZO
0 - 10	Nenhum	Monitoramento	12 meses
11 - 25	Muito pequeno	Monitoramento	6 meses
26 - 45	Pequeno	Monitoramento	3 meses
46 – 75	Médio	Combate	1 mês
76 – 100	Alto	Combate	15 dias
>100	Muito alto	Combate	Imediato

Fonte: FLORIANO (1998c).

Intensidade ou força envolvida - É o grau com que determinado fato ocorre em relação ao seu padrão. Quando for paramétrico e se sua distribuição for normal, pode-se classificá-lo quanto à média e desvio padrão. Quando for um atributo não paramétrico, pode ser quantificado em percentagens e transformado em variável contínua, se a ocorrência for maior de 30 vezes, por métodos matemáticos

adequados, de forma a ser tratado como parâmetro. Para SOARES (2002-b), os impactos ambientais devem ser avaliados segundo sua criticidade em relação ao meio ambiente como severo (impacto ambiental adverso causando danos irreversíveis, críticos ou de difícil reversão e/ou ponha perigo à vida de seres humanos externos à empresa, leve (impacto adverso que cause danos reversíveis ou contornáveis e/ou ameace a saúde de seres humanos externos à empresa) e dano mínimo (quando o impacto ambiental causa danos mínimos ou imperceptíveis).

Frequência ou Incidência - É o número de vezes que um fato ocorre por unidade de tempo; pode ser também uma proporção em relação ao seu padrão normal de ocorrência. Um exemplo de classes de frequência é apresentado a seguir:

Tabela 50 - Exemplo de níveis de frequência

Definição	Nível	Descrição
Frequente	A	Ocorre frequentemente (ou alta probabilidade), ou ocorre permanentemente quando iniciada a atividade.
Provável	B	Irá ocorrer várias vezes na vida do sistema ou do item.
Ocasional	C	Irá ocorrer algumas vezes ao longo da vida do sistema ou do item.
Remota	D	Não se espera que ocorra (embora haja alguma expectativa) ao longo da vida do item ou sistema.
Improvável	E	Pode-se assumir que não irá ocorrer, ao longo da vida do sistema ou do item.

Fonte: SOARES (2001).

Tendência ou inclinação - É a prognose de algo se manter no mesmo, melhorar ou piorar com o passar do tempo, sem que se faça nada a respeito. Relaciona-se ao risco de dano futuro. Quanto maior o risco da situação piorar, maior o grau que lhe deve ser atribuído; quanto maior a tendência da situação melhorar, menor a graduação. Considere-se uma máquina funcionando: com o tempo há tendência de desgaste e que sua situação se deteriore; se for uma máquina de boa

qualidade e houver manutenção permanente e adequada, a tendência das condições de funcionamento passam a ser de piora progressiva muito lenta, podendo ser consideradas estáveis para um período de tempo relativamente longo. Numa outra situação observa-se uma fazenda em fase de análise e planejamento físico: a tendência é de melhora com a adequação do uso dos espaços; áreas utilizadas na agricultura que apresentam problemas e cujo planejamento de uso futuro é de restauração da floresta original, têm tendência de melhoria em grau máximo, enquanto áreas planas e férteis utilizadas com florestas cultivadas tem leve tendência de piorar, mesmo que seja adotado um manejo adequado, pois as culturas agrícolas são mais prejudiciais ao ambiente do que as florestas; fazendo-se a média ponderada das tendências de cada área em relação à sua destinação futura, pode-se inferir a tendência média para a propriedade como um todo.

12.4.4 Dimensionamento dos impactos

O dimensionamento da significância final dos impactos ambientais e as ações a serem tomadas conforme o grau de impacto, de acordo com SOARES (2002-b), deve ser realizada de acordo com Tabela 10.

Tabela 51 - Significância final dos impactos ambientais e ações a serem tomadas

Atendimento Legislação, Partes interessadas e Preocupação Global	Pontuação Obtida	Significância	Ação a ser tomada
<p>- Caso exista legislação aplicável ou demanda de partes interessadas, deve-se tomar a significância como sendo, no mínimo, “substancial”.</p> <p>- Caso exista legislação aplicável e não está sendo atendida, deve-se tomar a significância como sendo “importante”.</p> <p>- Caso não ocorra nenhuma das situações acima, considerar para definição da significância a pontuação obtida.</p>	De 01 a 06 pontos	Desprezível	<p>“Manter rotina” (se o respectivo aspecto ambiental for real) ou</p> <p>“Plano de emergência” (se o respectivo aspecto ambiental for potencial)</p>
	De 08 a 16 pontos	Significante	<p>“Controle operacional” (se o respectivo aspecto ambiental for real) ou</p> <p>“Plano de emergência” (se o respectivo aspecto ambiental for potencial).</p>
	Igual ou acima de 18 pontos	Importante	<p>“Controle operacional e Plano de Ação” (se o respectivo aspecto ambiental for real)</p> <p>“Plano de emergência” (se o respectivo aspecto ambiental for potencial)></p>

Fonte: SOARES (2002-b).

A classificação de riscos no método GUT (CARVALHO, 1997) é feita de acordo com a Tabela 52.

Tabela 52- Grau de conforto das decisões

Grau de conforto		Probabilidade	Gravidade
Não tenho conforto	↓	Alta	Alta
Não tenho conforto	↓	Alta	Média
Tenho conforto	↑	Alta	Baixa
Cuidado	↔	Média	Alta
Cuidado	↔	Média	Média
Tenho conforto	↑	Média	Baixa
Tenho conforto	↑	Baixa	Alta
Tenho conforto	↑	Baixa	Média
Tenho conforto	↑	Baixa	Baixa

Probabilidade: Alta - vai acontecer, Média - pode acontecer, Baixa - dificilmente acontecerá; Gravidade: Alta- muito importante, Média - importante; Baixa - desprezível. Fonte: CARVALHO (1997).

Cruzando-se as indicações das tabelas de significância dos impactos e de conforto nas decisões e adequando os resultados obtidos pelo cruzamento, pode-se obter a Tabela 53, para classificação da relevância de impactos ambientais.

Tabela 53 – Classificação do grau de relevância ou impacto pelo método “5i”.

Classes de Valor	Relevância ou Impacto	Observações
0 a -2,0	BAIXÍSSIMO	Há conforto para execução do projeto sem riscos maiores. Pode necessitar de algumas medidas mitigatórias.
2,1 a -4,0	BAIXO	Inspira cuidados. É necessário adotar algumas medidas mitigadoras sobre as atividades de maior impacto.
4,1 a -6,0	MÉDIO	Pode ser executado sob controle rígido. Exige medidas mitigadoras e compensatórias sobre a maioria das atividades.
6,1 a -8,0	ALTO	É projeto de alto risco. Exige extremos cuidados para sua execução e grandes ações para redução de riscos.
8,1 a -10,0	ALTÍSSIMO	Somente se justifica em casos de extrema necessidade social. Os riscos são altíssimos. Tende a ser inviável.

Fonte: Adaptação, com auxílio das classes para determinação da significância de impactos ambientais sugeridas por SOARES (2002-b) cruzadas com as classes para avaliação de riscos potenciais do método GUT descrito por CARVALHO (1997), para quantificação do grau de impacto total, ou de relevância.

13 GESTÃO DE RISCOS

13.1 Introdução

As organizações enfrentam fatores internos e externos e influências que tornam incerto se e quando atingirão seus objetivos; o efeito dessa incerteza nos objetivos de uma organização é denominado de "risco" (ISO, 2009).

Risco pode ser conceituado como a possibilidade de ocorrência de um evento que adverso à realização de um objetivo. É o efeito da incerteza sobre os objetivos.

Segundo a ISO (2009), as organizações devem criar uma estrutura de gerenciamento de riscos, implementá-la e integrá-la em sua gestão e cultura, mantendo um sistema de monitoramento sobre os riscos e melhorar continuamente os planos para conter os riscos a que estão sujeitas. Gerenciar riscos em uma organização tem como principais efeitos melhorar a eficácia e eficiência operacionais e o desempenho em saúde e segurança, bem como a proteção ambiental. A estrutura de gerenciamento de riscos é um conjunto de componentes que fornece as bases e os arranjos organizacionais para a concepção, implementação, monitoramento, revisão e melhoria contínua do gerenciamento de riscos em toda a organização.

De acordo com a norma ISO 31.000, o processo de gerenciamento de riscos deve ser realizado de acordo com a Figura 50. No estabelecimento do contexto de riscos, uma organização deve articular seus objetivos e definir os parâmetros externos e internos a serem levados em conta ao gerenciar riscos, definindo os critérios de escopo e risco para o processo remanescente.

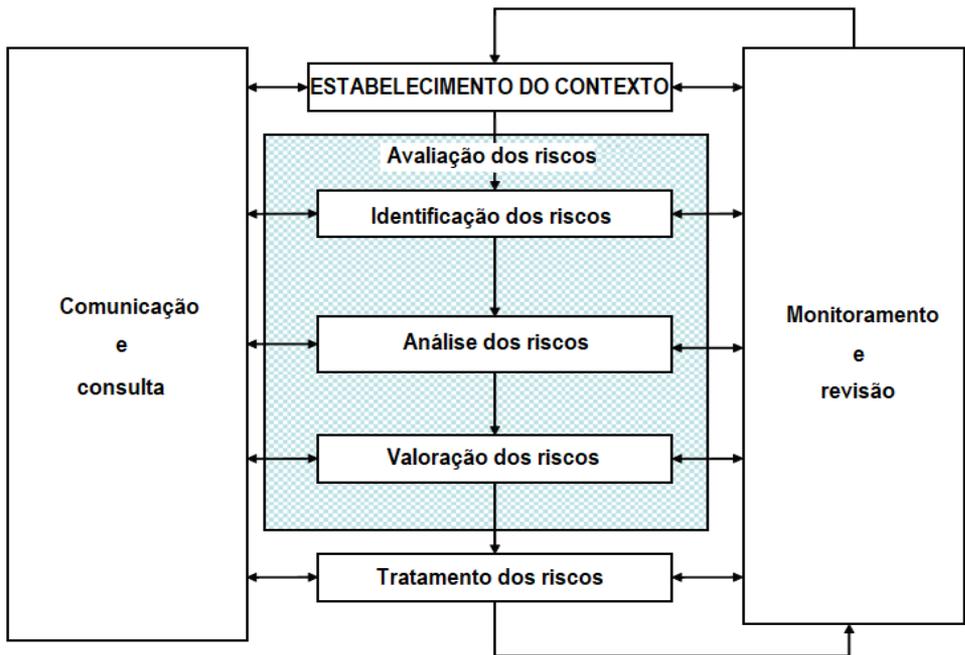


Figura 50 - Processo de gerenciamento de riscos (ISO, 2009).

O tratamento de riscos pode envolver (ISO, 2009):

- Evitar o risco, decidindo não iniciar ou continuar com a atividade que dá origem ao risco;
- Assumir ou aumentar o risco, a fim de buscar uma oportunidade;
- Remover a fonte de risco;
- Mudar a probabilidade de acontecer;
- Mudar as consequências;
- Compartilhar o risco com as partes interessadas (incluindo contratos e financiamento de risco);
- Reter o risco por escolha informada.

O planejamento da produção florestal tem sido tradicionalmente baseada na pressuposição de que o resultado da atividade de manejo é certo, na verdade os resultados do manejo florestal são incertos e estão sujeitos a riscos potenciais causados pelo ambiente, pelo homem e pelas próprias árvores, devido aos longos

períodos necessários para que as árvores amadureçam e estejam em ponto de serem colhidas. O manejo de áreas florestais deve ser realizado considerando-se estes riscos. A análise de riscos deve fazer parte de todas as decisões florestais, devendo-se levar em consideração que é quase impossível obter uma compreensão completa de todas as alternativas (BETTINGER, 2009).

No passado era usual a recomendação de que se considerasse uma perda de 10% da produção. Então, eram acrescentados 10% sobre a área necessária de plantio para abastecimento industrial de forma a evitar o risco de falta de madeira devido à eventuais perdas. A partir do desenvolvimento do manejo florestal com técnicas mais aprimoradas, isso deixou de ser uma prática viável, pois é possível gerenciar os riscos de forma a reduzir a área de plantio para o estritamente necessário, ou determinar com precisão as perdas que poderão ocorrer, considerando-as no planejamento da produção.

13.2 Classificação de riscos

Oliveira (2009) classifica os riscos em estratégicos (Tabela 54), de conformidade (certificação) (Tabela 55) e operacionais (Tabela 56)

Tabela 54- Exemplos de riscos estratégicos (adaptado de Oliveira, 2009)

PERIGOS para o negócio (valor, qualidade e quantidade de produto ou produtos)	Efeitos	Probabilidade de acontecer (1-5)
Alterações climáticas	Alteração de produtividade; Alteração de custo dos fatores de produção; Aumento da volatilidade;	Variável
Novos mercados	Alteração da procura e oferta de matéria prima e produtos;	Variável
Enquadramento social	Convulsões sociais / greves;	Variável
Políticas públicas	Mudanças na legislação.	Variável

Fonte: Oliveira (2009).

Tabela 55- Exemplos de Risco Conformidade

Classe de Risco	Problemas relacionados	Probabilidade e de acontecer (1- 5)
Regulação administrativa	Atraso do prazo de projecto	Variável
	Aumento de custos administrativos	
	Aumento dos custos financeiros	
Certificação	Não certificação do produto final	Variável
	Rotura de stocks de madeira certificada	
	Alteração de preços e condições de fornecimento de mercado	

Fonte: Oliveira (2009).

Tabela 56- Exemplos de riscos operacionais

Fase/Atividade	Riscos relacionados às operações	Impacto no valor (1-5)	Fatores críticos
Instalação	Adaptação da planta	2 a 4	Adaptação da planta e recomendação nutricional
	Fertilização errada	1 a 5	
	Preparação mal feita	3 e 4	Número de plantas e qualidade da plantação e diversidade genética
	Qualidade e número planta	2 e 4	
	Qualidade da plantação	2 a 5	

Fase/Atividade	Riscos relacionados às operações	Impacto no valor (1-5)	Fatores críticos
Manutenção	Competição interespecífica	1 a 4	Sanidade
	Fertilização errada	1 a 4	
	Agentes bióticos	2 a 4	Gestão da competição interespecífica e intraespecífica
	Momento do corte	1 a 2	
	Número de varas	2 a 4	
Exploração	Qualidade do material a explorar	1 a 3	Gestão da informação
	Qualidade do corte e recheia	1	
	Terreno e densidade viária	1	Conformidades legais e boas práticas
	Não conformidades	2 a 4	
Erosão	Destruição de infraestruturas	4	Gestão da rede viária e exploração pós incêndio
	Perda de solo após um incêndio	2 a 5	
Gado, furto ou Vandalismo	Extravio de madeira	1 a 2	Antecipação de tensões locais
	Destruição de plantação,	4	Seleção de PS e F
	Furto dos factores de produção	3	
Eventos abióticos	Incêndio no povoamento	1 a 5	Gestão do momento do corte/exploração
	Seca	1 a 4	
	Geadas Outros	2 a 4	Gestão do sub-bosque e tática de combate

Fonte: Oliveira (2009).

13.3 Identificação e quantificação de riscos

Os principais riscos na produção florestal são listados a seguir:

– Ambientais

- Catástrofes ambientais (vento, raios, seca, enxurradas e alagamentos).
- Fogo.
- Pragas.

- Doenças.
- Solos - compactação, esgotamento, contaminação, erosão.
- Contaminação biológica.
- Sociais
 - Políticos - instabilidade política social.
 - Legais - mudanças na legislação (perda de área produtiva).
 - Instabilidade social - pressões ambientais, greves;
- Econômicos
 - Taxa de juros - aumento.
 - Instabilidade econômica - interna e externa.
 - Impostos - aumento.
 - Estoque industrial excedente.
 - Preço dos produtos.
 - Custos dos insumos.
 - Custos de produção.
 - Inflação descontrolada.
 - Taxa cambial flutuante.
 - Endividamento.
 - Redução de consumo.
 - Substituição de produtos por similares.

Na análise de riscos, pode-se adotar dois ou mais fatores para parametrizá-los de forma a realizar análise quantitativa. Oliveira (2009) sugere a quantificação em função da probabilidade (nos níveis 1=rara a 5=muito provável) e impacto caso ocorra (nos níveis 1=sem importância a 5=muito importante). Pode-se realizar a parametrização também tomando-se como base, por exemplo o método GUT (gravidade, urgência e tendência), ou o método 5i (importância, iminência, incidência, intensidade, inclinação), sendo que 3 dos fatores do 5i coincidem com os 3 do GUT, sendo o 5i mais abrangente. O método 5i foi desenvolvido para classificação de riscos de impactos ambientais de empreendimentos florestais. A parametrização de riscos pelo método é apresentada da Tabela 57 a Tabela 61. Para a quantificação não é necessário utilizar todos os fatores (os 5i), mas ao menos os 3 que coincidem com o

GUT. Os valores dos índices de cada fator selecionado devem ser somados; esta soma é dividida pelo número de fatores utilizados. Os valores dos índices de cada fator vão de 1 a 10 e a média também será portanto um valor de 1 a 10, aumentando o risco quanto mais próximo de 10 for o resultado da parametrização. Os fatores do método 5i são descritos a seguir:

- 1) Importância ou gravidade – É o valor relativo de um fato, no caso de acontecer, em relação ao valor global do todo considerado. Deve ser estimado com base em fatos ocorridos.
- 2) Iminência ou urgência - É o tempo restante para que se tome uma providência a respeito de um fato que poderá ocorrer. Representa a premência de tempo em se tomar uma providência em relação à algo que poderá acontecer.
- 3) Intensidade - É o potencial de dano que uma quantidade média normal pode causar aos seres vivos, ou a força com que determinado fato ocorre em relação ao seu padrão médio.
- 4) Incidência - É a frequência com que algo ocorre numa escala que deve ser transformada para 1 a 10.
- 5) Inclinação ou tendência - É a prognose de algo se manter no mesmo, melhorar ou piorar com o passar do tempo, considerando as condições e estado atuais.

Tabela 57 - Classes de Importância

Índice	Dano/TODO (%)	Crítérios
1	≤10%	Dano ou risco insignificante à saúde humana e demais formas de vida ou ecossistemas. Dano ou risco desprezível aos sistemas produtivos. Alterações em até 10 % da paisagem. Perdas de produção de até 10% por período não superior a 30 dias.
2	>10 e ≤ 20	Risco de ferimentos muito leves. Alteração da paisagem ou de habitats em até 20%. Dano ou risco muito pequenos às atividades produtivas. Perdas de produção de até 20% por período não superior a 30 dias.
3	>20 e ≤ 30	Risco de ferimentos leves. Alteração da paisagem ou de habitats em até 30%. Dano ou risco pequenos às atividades produtivas. Perdas de produção de até 30% por período não superior a 30 dias.
4	>30 e ≤ 40	Risco de ferimentos leves. Risco de doenças crônicas enquanto executar a atividade. Alteração da paisagem ou de habitats em até 40%. Pequenas alterações topográficas. Dano ou risco pequenos às atividades produtivas. Perdas de produção de até 40% por período não superior a 30 dias.
5	>40 e ≤ 50	Risco de ferimentos médios. Risco de doenças crônicas com sequelas permanentes de pequena gravidade. Alteração da paisagem ou de habitats em até 50%. Alterações topográficas com consequências pequenas para os solos e regime hídrico. Dano ou risco médios às atividades produtivas. Perdas de produção de até 50% por período não superior a 30 dias.
6	>50 e ≤ 60	Risco de ferimentos médios. Risco de doenças crônicas com sequelas permanentes de média gravidade. Alteração da paisagem ou de habitats em até 60%. Alterações topográficas com consequências médias para os solos e regime hídrico, exigindo medidas mitigadoras com custo de até 5% do projeto. Risco de interrupção de atividades produtivas. Perdas de produção de até 60% por período não superior a 30 dias.
7	>60 e ≤ 70	Redução de habitats em até 70%. Risco de acidentes e de doenças graves. Alterações topográficas com consequências para os solos e regime hídrico, exigindo medidas mitigadoras com custo de até 10% do projeto. Risco de perda considerável de sistema produtivo. Risco de interrupção, por período longo, de qualquer processo. Perdas de produção de até 70% por período não superior a 30 dias.
8	>70 e ≤ 80	Risco de colocar uma ou mais espécies em perigo de extinção local. Redução de habitats em até 80%. Risco de acidentes e de doenças muito graves. Alterações topográficas com consequências para os solos e regime hídrico, exigindo medidas mitigadoras com custo de até 15% do projeto. Risco de perda quase integral de sistema produtivo. Risco de interrupção, por período muito longo, de qualquer processo. Perdas de produção de até 80% por período não superior a 30 dias.
9	>80 e ≤ 90	Risco de colocar uma ou mais espécies em perigo de extinção local. Redução de habitats em mais de 80%. Risco de acidentes e de doenças muito graves. Alterações topográficas com consequências para os solos e regime hídrico, exigindo medidas mitigadoras com custo de até 20% do projeto. Risco de perda quase integral de sistema produtivo. Risco de interrupção, por período muito longo, de qualquer processo. Perdas de produção de até 90% por período não superior a 30 dias.
10	>90%	Risco de extinção de uma ou mais espécies, ou de habitats, no local. Risco de morte. Alterações topográficas com consequências para os solos e regime hídrico, exigindo medidas mitigadoras com custo superior a 20% do projeto. Risco de perda integral de sistema produtivo. Risco de interrupção permanente de qualquer processo. Perdas de produção superiores a 90% por período não superior a 30 dias.

Fonte: Adaptação das Tabelas para índice de importância encontradas na bibliografia citada.

Tabela 58 - Classes de Iminência

Índice	Prazo para providências (dias)	Crítérios
1	720	Risco remoto de problemas de pequena gravidade após 2 anos.
2	360	Risco pequeno de problemas de pequena gravidade após 1 ano.
3	180	Risco médio de problemas de pequena gravidade após 6 meses.
4	90	Risco médio de problemas de média gravidade após 3 meses.
5	60	Risco médio de problemas de média gravidade após 2 meses.
6	45	Alto risco de problemas de média gravidade após 45 dias.
7	30	Alto risco de problemas de alta gravidade após 30 dias.
8	15	Alto risco de problemas de alta gravidade após 15 dias.
9	5	Alto risco de problemas de altíssima gravidade após 5 dias.
10	1	Altíssimo risco de problemas de altíssima gravidade a qualquer momento.

Fonte: Adaptação das Tabelas para índice de iminência encontradas na bibliografia citada.

Tabela 59 - Classes de Intensidade

Índice	Crítérios				
	Energia elétrica doméstica (amperagem**)	Perdas físicas humanas* (%)	Espécimes restantes por espécie (milhares)	Risco de mortes anuais (nº/100mil)	DL50 de tóxicos (mg/Kg)
1	≤ 0,5mA	≤ 1	≥ 200	≤ 7	≥ 10000
2	> 0,5 a ≤ 1mA	>1 e ≤ 3	>200 e ≤ 150	>7 e ≤ 11	>8000 e ≤ 10000
3	> 1 a ≤ 2mA	>3 e ≤ 6	>150 e ≤ 80	>11 e ≤ 17	>6000 e ≤ 8000
4	> 2 a ≤ 5mA	>6 e ≤ 10	>80 e ≤ 60	>17 e ≤ 20	>4000 e ≤ 6000
5	> 5 a ≤ 10mA	>10 e ≤ 15	>60 e ≤ 40	>20 e ≤ 23	>2000 e ≤ 4000
6	> 10 a ≤ 15mA	>15 e ≤ 20	>40 e ≤ 20	>23 e ≤ 27	>1000 e ≤ 2000
7	> 15 a ≤ 20mA	>20 e ≤ 30	>20 e ≤ 10	>27 e ≤ 30	>500 e ≤ 1000
8	> 20 a ≤ 30mA	>30 e ≤ 40	>10 e ≤ 5	>30 e ≤ 35	>50 e ≤ 500
9	> 30 a ≤ 50mA	>40 e ≤ 50	>5 e ≤ 2	>35 e ≤ 40	>5 e ≤ 50
10	> 50mA	> 50	< 2	> 40	< 5

(*) Perdas físicas do ser humano, em percentagem: redução de sentidos – visão, audição, tato, olfato e paladar; redução de funções fisiológicas; redução de órgãos vitais ou de seu potencial; perda ou paralisia de membros com redução da capacidade produtiva; etc. (**) Adaptação para exposição de 10 segundos conforme a norma: IEC/TR2 60479-1 (IEC, 1994). Fonte: Adaptação das Tabelas para índice de intensidade encontradas na bibliografia citada.

Tabela 60 - Classes de Incidência

Índice	Critérios			Critérios
	Normalidade*	Freq. Anual	Freq. %	
1	$\leq(X-2S)$	$\leq 0,5$	$\leq 10\%$	Ocorrência rara, poderá não ocorrer.
2	$>(X-2S)$ e $\leq(X-1,5S)$	$>0,5$ e ≤ 1	>10 e ≤ 20	Ocorrência remota.
3	$>(X-1,5S)$ e $\leq(X-1S)$	>1 e ≤ 3	>20 e ≤ 30	Ocorrência escassa.
4	$>(X-1S)$ e $\leq(X-0,5S)$	>3 e ≤ 5	>30 e ≤ 40	Ocorrência ocasional.
5	$>(X-0,5S)$ e $\leq(X)$	>5 e ≤ 7	>40 e ≤ 50	Pequena ocorrência.
6	$>(X)$ e $\leq(X+0,5S)$	>7 e ≤ 10	>50 e ≤ 60	Média ocorrência.
7	$>(X+0,5S)$ e $\leq(X+1S)$	>10 e ≤ 20	>60 e ≤ 70	Ocorrência entre média e alta.
8	$>(X+1S)$ e $\leq(X+1,5S)$	>20 e ≤ 40	>70 e ≤ 80	Ocorrência alta.
9	$>(X+1,5S)$ e $\leq(X+2S)$	>40 e ≤ 50	>80 e ≤ 90	Ocorrência muito alta.
10	$>(X+2S)$	> 50	$>90\%$	Ocorrência altíssima ou permanente.

(*): Normalidade: X=média; S=desvio padrão. Fonte: Adaptação das Tabelas para índice de incidência encontradas na bibliografia citada.

Tabela 61 - Classes de Inclinação

Índice	Tendência	Chances (%)	Critérios
1	de Melhorar	$>75\%$	Forte tendência a melhorar.
2		>50 e ≤ 75	Tendência razoável a melhorar.
3		>35 e ≤ 50	Tendência moderada a melhorar.
4		>0 e ≤ 35	Leve tendência a melhorar.
5	de Estabilidade	100%	Não há tendência de piorar, ou de melhorar, se nada for feito.
6	de Piorar	>0 e ≤ 35	Leve tendência a piorar.
7		>35 e ≤ 50	Tendência moderada a piorar.
8		>50 e ≤ 75	Tendência razoável a piorar.
9		>75 e ≤ 90	Alta tendência a piorar.
10		$>90\%$	Altíssima tendência a piorar.

Fonte: Adaptação das Tabelas para índice de inclinação encontradas na bibliografia citada.

O resultado da análise dos riscos leva a uma interpretação do resultado da parametrização que pode ser realizada como na Tabela 62.

Tabela 62 - Interpretação do resultado da parametrização pelo método 5i.

Classes de Valor	Grau de risco	Observações
0 a -2,0	BAIXÍSSIMO	Há conforto para execução do projeto sem riscos maiores. Pode necessitar de algumas medidas mitigatórias.
2,1 a -4,0	BAIXO	Inspira cuidados. É necessário adotar algumas medidas mitigadoras sobre as atividades de maior risco.
4,1 a -6,0	MÉDIO	Pode ser executado sob controle rígido. Exige medidas mitigadoras e compensatórias sobre a maioria das atividades.
6,1 a -8,0	ALTO	É projeto de alto risco. Exige extremos cuidados para sua execução e grandes ações para redução de riscos.
8,1 a -10,0	ALTÍSSIMO	Somente se justifica em casos de extrema necessidade. Os riscos são altíssimos. Tende a ser inviável.

A partir do resultado da análise de riscos, deve-se definir as ações para minimizar, eliminar ou conter os riscos em caso de acontecer, que é a próxima fase de tratamento dos riscos.

13.4 Tratamento de riscos

O tratamento de risco caracteriza-se em desenvolver ações para modificar os riscos, eliminando, minimizando, ou criando planos de contingência caso ocorram os efeitos indesejados, bem como implementar essas ações.

O tratamento de risco é um processo contínuo onde os tratamentos aplicados são monitorados, quantificados para verificar se o nível de risco é tolerável, avaliados quanto a eficácia do tratamento e gerar novo tratamento de risco com base nos resultados.

De acordo com a norma ISO 31.000/2009, as opções de tratamento de risco não são necessariamente mutuamente exclusivas ou apropriadas em todas as circunstâncias, podendo incluir:

- a) evitar o risco, decidindo não iniciar ou continuar com a atividade que dá origem ao risco;
 - b) assumir ou aumentar o risco, a fim de buscar uma oportunidade;
 - c) remover a fonte de risco;
 - d) alterar a probabilidade de ocorrência;
 - e) mudar as consequências;
 - f) compartilhar o risco com partes interessadas (incluindo contratos e financiamento de risco); e
 - g) reter o risco por decisão informada.
- (ISO, 2009).

13.5 Análise de risco financeiro (método de Monte Carlo)

Tem-se utilizado o método de Monte Carlo na análise de risco em projetos florestais. O método se baseia em simulação de diferentes cenários para a produção tendo como consequência diferentes resultados financeiros. Como a simulação pode conter diferentes horizontes de planejamento, é aconselhável que a simulação seja realizada com um indicador de série infinita como o VAE (valor anual equivalente) ou o VET (valor esperado da terra). É comum encontrar estudos usando o VPL, ou a taxa de retorno, mas isso não é o mais adequado, pois determinados para séries finitas.

A simulação envolve alterações sobre todos os recursos e demais fatores que influenciem no valor dos mesmos, incluindo todas as possibilidades de variação de cada um, como taxa cambial, aumento do salário mínimo, perda de produtividade florestal, aumento do preço de insumos e máquinas e todos os demais imprevistos com repercussão econômica sobre o projeto. Todo fator com incerteza inerente deve ser contemplado na análise. As simulações devem envolver escalas que abranjam toda a amplitude de variação de cada recurso. Geralmente, são realizadas centenas

ou milhares de simulações e calcula-se o resultado financeiro para cada uma delas, seja VET ou VAE, ou outro índice financeiro escolhido. Isso implica em uso de computadores e programas adequados. Depois de realizadas as simulações e obtidos os resultados financeiros de cada uma, verifica-se qual a percentagem de resultados inaceitáveis; esta percentagem é o risco do empreendimento não ter sucesso financeiro.

A simulação pode ser realizada de forma aleatória sobre a variação de cada fator ou recurso dentro de sua amplitude de variação e de sua probabilidade de ocorrência, simulando as tarefas de forma aleatória com base nas probabilidades de ocorrência de cada evento, buscando-se assim aproximar-se ao máximo da situação real.

14 MONITORAMENTO

14.1 Introdução

Controlar atividades, custos, qualidade, etc., tem sido uma preocupação desde que surgiu a primeira organização. Todos os dias surgem novas ferramentas de controle e as organizações estão sempre mudando seus sistemas.

Monitoramento é uma palavra nova nos dicionários da língua portuguesa e significa supervisionar as atividades para garantir que estejam em curso e dentro do cronograma e parâmetros planejados para atingir os objetivos e as metas de desempenho.

Monitoramento está intimamente relacionado ao PDCA (MIRSHAWKA , 1990), sigla para Plan, Do, Check, Action, o ciclo do Dr. Shewhart, conhecido no Japão como ciclo do Dr. Deming, que o difundiu no país. O PDCA foi modificado e chamado de MAMP (Método de Análise e Melhoria de Processos) pelo SEBRAE (GRIMALDI e MANCUSO, 1994). É uma metodologia para melhoria da qualidade que envolve os quatro passos: Planejar, Executar, Avaliar e Corrigir, que são a base para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento.

Tudo que envolve medição e dados, de alguma forma está relacionado a monitorar. Uma espécie de monitoramento utilizado em indústrias é o controle estatístico de processo, outra é o controle ambiental.

As normas da família ISO 9000 tratam do assunto, sendo um dos requisitos para certificação. Segundo a NBR ISO 9001, o fornecedor deve, em primeiro lugar, identificar quais técnicas estatísticas são necessárias para estabelecimento, controle e verificação da capacidade de seus processos e das características de seus

produtos; depois deverá estabelecer procedimentos para implementar e controlar a aplicação das mesmas. Até aqui, abrangendo os três primeiros passos do PDCA, sendo que o último passo, *Action*, é tratado no requisito ação corretiva e preventiva.

Monitorar pode ser mais do que simplesmente medir e avaliar, como pode parecer à primeira vista. A abrangência do verbo monitorar, que não está na maioria dos dicionários de antes da década de 90, atinge todo o PDCA, dependendo da sua abrangência.

Pode-se classificar os sistemas de monitoramento em três tipos principais:

- Monitoramento de avaliação– corresponde ao *check* do PDCA;
- Monitoramento de controle – abrange avaliação e correção;
- Monitoramento para melhoria contínua – abrange planejamento, execução, avaliação e correção.

O monitoramento para avaliação é aquele em que se realizam medições periódicas de determinada atividade e se as apresenta em tabelas e gráficos para simples acompanhamento. Ao final tem-se, geralmente, um relatório periódico de médias e variâncias e, às vezes, de tendências. Serve, principalmente, para verificar a situação atual e realizar prognoses com base nisso.

O monitoramento para controle é representado principalmente pelo controle estatístico de processos, onde a atividade é acompanhada, procurando-se verificar se está dentro de determinados parâmetros preestabelecidos. Quando ocorrem variações fora dos limites, são desencadeadas ações para sua correção. Tem como objetivo principal evitar que os processos saiam de controle, mantendo-os dentro de padrões pré-definidos, tendo como resultado produtos e serviços com a mesma qualidade, continuamente.

O monitoramento para melhoria contínua é aquele em que os resultados das medições, ou avaliações, são utilizados para cálculos que irão determinar ações a serem executadas em função dos resultados obtidos. O objetivo dos monitoramentos

deste tipo é a automação de etapas, ou de processos completos, eliminando o fator humano na tomada de decisões. Usualmente são adotados para redução de custos, pois o ser humano tem como hábito exagerar nas doses, como forma de ter certeza dos resultados. Por exemplo, um operário ao encontrar um grande formigueiro e calcular a dose de formicida, pode aplicar mais do que a dose calculada com receio de que não seja suficiente.

No desenvolvimento de um sistema de monitoramento para melhoria contínua é necessário levantar todas as informações sobre o assunto e seguir as quatro etapas do PDCA: planejamento, execução, avaliação e correção. Estas etapas se relacionam com as fases do processo decisório conforme a Tabela 63. O monitoramento para melhoria contínua pode ser considerado uma fusão das duas metodologias: PDCA e Processo Decisório.

Tabela 63– Etapas do Monitoramento x Fases do Processo Decisório

Etapas de Desenvolvimento	Processo Decisório			
	Análise de Situação	Análise de Problema	Análise de Decisão	Análise de Problemas Potenciais
Levantamento de Informações	x	x		
1ª etapa Planejamento			x	x
2ª etapa Execução			x	
3ª etapa Avaliação	x	x		
4ª Etapa Correções			x	x

Inicia-se com o levantamento de informações onde se descreve e analisa a situação em si e o problema, ou problemas, que apresenta, depois é realizado o planejamento, onde se define os objetivos do sistema a ser desenvolvido e analisam-se as alternativas possíveis para a solução dos problemas de forma a atingir os objetivos, define-se o que e como medir as variáveis do problema periodicamente e o

que fazer em cada caso, levando-se em consideração todas as alternativas. Depois, passa-se à execução, medindo e verificando as ocorrências e tomando as decisões conforme o planejado e, por último, realizam-se as correções necessárias quanto ao sistema e quanto às soluções aplicadas aos problemas ocorridos e que não tiveram o efeito desejado, planejando a execução das ações corretivas, o que já é o início de um novo ciclo.

Para desenvolvimento de um sistema de monitoramento para melhoria contínua é recomendável que se estude antes sobre o assunto “Processo Decisório” e sobre sua etapa denominada de “Análise de Decisão”, esta última apresentada resumidamente na seção , a seguir.

14.2 Análise de decisão

Quando temos um problema e conhecemos as causas do problema, podemos ter diferentes soluções, ou seja, ações que podemos adotar para solucionar o problema. A primeira coisa que precisamos fazer neste momento é determinar o propósito da nossa decisão.

Frequentemente tomamos decisões baseando-nos em casos anteriores. Isso nos limita a fatos passados. Temos de olhar para o presente e futuro quando tomamos uma decisão de maneira a evitar os erros do passado. Estabelecer o critério de uma decisão de maneira correta nos permite ter uma visão ampla. "Isso sempre deu certo assim" não é uma frase bem vinda neste caso.

14.2.1 Propósito da decisão (Objetivo da Decisão)

O propósito da decisão deve ser formulado através de um **verbo de ação** que estimule alguma coisa, um **objeto alvo** referente à ação do verbo que indique o que

está sendo estimulado e um ou mais **agentes modificadores** que indiquem limitações da decisão, onde o verbo de ação, o objeto alvo e os agentes modificadores descrevem o foco da nossa decisão.

Ao estabelecermos um propósito de decisão devemos levar em consideração que ele deve permitir que se produza um conjunto de critérios (objetivos) e um grupo de alternativas comparáveis.

Os componentes do propósito de uma decisão:

- (a) **verbo de ação** - indica o modo como serão abordadas as alternativas;
- (b) **objeto alvo** - identifica o grupo geral das alternativas a considerar;
- (c) **agentes modificadores** - limitam o grupo de alternativas, apuram o propósito da decisão e realçam a necessidade de se tomar uma decisão.
- **Foco da decisão** = a + b + c.

14.2.2 Critérios

Os critérios que temos para tomar uma decisão são os nossos desejos, as restrições que fazemos, os objetivos que temos em relação ao propósito da decisão, ou seja, são os pré-requisitos que temos para tomar a decisão em relação ao nosso propósito.

Os critérios que temos para decidir podem ser **obrigatórios**. Estes nós não negociamos e são eliminatórios. Outros podem não o ser e são passíveis de negociação, são os critérios **desejáveis**. Precisamos separá-los como na Tabela 64.

Tabela 64 - Classificação dos critérios para a decisão

Obrigatórios	Desejáveis
são indispensáveis	têm importância relativa
são mensuráveis	podem ser mensuráveis
são realistas	todos que não são obrigatórios
Imprescindíveis	Negociáveis

Os critérios obrigatórios são o mínimo que queremos. O não atendimento de qualquer um é fator de eliminação de alternativas. Os critérios desejáveis não são eliminatórios e alguns são mais desejáveis do que outros, assim, precisamos atribuir pesos para eles, de forma a poder ordená-los.

Os critérios podem ser entendidos como os objetivos que queremos alcançar com a decisão a ser tomada.

14.2.3 Alternativas

As alternativas para decidirmos podem ser evidentes e estar presentes no mercado ou no ambiente em que nos encontramos. Mas, muitas vezes, nem mesmo uma experiência passada existe e temos de produzi-las. Podemos utilizar novamente o *brainstorming* para gerar alternativas em grupo.

Mesmo que tenhamos várias alternativas, é importante que façamos uso de informações que já possuímos para produzi-las, ou complementar nosso grupo de alternativas:

USO DO PROPÓSITO DA DECISÃO:

- uma das funções do propósito da decisão é delimitar e definir um grupo de alternativas; no propósito da decisão poderemos encontrar algumas alternativas, ou indicação para as encontrar;

- desmembre o propósito da decisão em sub-propósitos, cada um deles pode ser usado para gerar uma sub-alternativa, procure formas para combinar as sub-alternativas em uma única completa;

USO DOS CRITÉRIOS (OBJETIVOS):

- os critérios criam limitações e dão indicação das alternativas que temos;
- indague, para cada critério, quais as maneiras que temos para satisfazê-lo gerando alternativas, depois tente combiná-las para encontrar uma solução completa.

USO DAS CONSEQUÊNCIAS ADVERSAS:

- considere as consequências adversas para melhorar uma alternativa existente ou sugerir novas.

14.2.4 Comparação das alternativas

As alternativas têm de ser comparadas primeiramente frente aos critérios obrigatórios e depois quanto aos desejáveis.

FRENTE AOS CRITÉRIOS OBRIGATÓRIOS

Neste caso, faremos a eliminação pura e simples das alternativas que não atendam um dos critérios obrigatórios. As alternativas que passarem no teste, deverão ser classificadas na 5ª etapa a seguir.

Pode-se usar uma grade de comparação para facilitar a comparação, conforme Tabela 65.

Tabela 65 – Alternativas x Critérios obrigatórios

critérios (descrição)	Alternativa 1		Alternativa 2			etc...	
	Atende	Não Atende	Atende	Não Atende	Atende	Atende	Não Atende
Primeiro critério							
Segundo critério							
etc...							

FRENTE AOS CRITÉRIOS DESEJÁVEIS

As alternativas devem receber notas de 0 a 10, quanto ao atendimento de cada um dos critérios desejáveis, iniciando-se com valor 0 (zero) para aquelas que não atendem o critério considerado, até o valor 10 para aquelas que o atendem plenamente. A soma dos produtos dos pesos dos critérios pela nota da alternativa nos dará o número de pontos que a alternativa atingiu. Quanto mais pontos, melhor a alternativa (Tabela 66).

Tabela 66 – Alternativas x Critérios desejáveis

Critérios		Alternativa 1		Alternativa 2		ETC...	
Descrição	Peso (a)	Nota (b ₁)	Pontos (a x b ₁)	Nota (b ₂)	Pontos (a x b ₂)	Nota (b ₃)	Pontos (a x b ₃)
Primeiro							
Segundo							
Etc...							
soma	-	-		-		-	

Deverão ser escolhidas duas a três alternativas entre as que alcançarem maior número de pontos. A escolha do número de alternativas dependerá de nossa experiência e bom senso.

14.2.5 Avaliação dos riscos

Após a escolha das melhores alternativas passaremos a verificar os riscos, ou consequências adversas, que poderão resultar das alternativas escolhidas.

Deve-se definir o grau de probabilidade de acontecer cada uma das consequências e a gravidade em caso de acontecer (Tabela 67):

PROBABILIDADE:

- (A) Alta- vai acontecer;
- (M) Média- pode acontecer;
- (B) Baixa- dificilmente acontecerá.

GRAVIDADE:

- (A) Alta- muito importante;
- (M) Média- importante;
- (B) Baixa- desprezível.

Tabela 67 – Avaliação dos riscos da decisão

Riscos (consequências adversas)	probabilidade			gravidade		
	A	M	B	A	M	B
Primeira consequência adversa						
Segunda consequência adversa						
Etc...						

14.2.6 Grau de conforto das decisões

Após definidos os riscos, deveremos avaliar o grau de conforto para a tomada de decisão, em função da probabilidade e gravidade através da Tabela 68.

Tabela 68 – Grau de conforto das decisões

grau de conforto		probabilidade	gravidade
Não tenho conforto	↓	Alta	Alta
Não tenho conforto	↓	Alta	Média
Tenho conforto	↑	Alta	Baixa
Cuidado	↔	Média	Alta
Cuidado	↔	Média	Média
Tenho conforto	↑	Média	Baixa
Tenho conforto	↑	Baixa	Alta
Tenho conforto	↑	Baixa	Média
Tenho conforto	↑	Baixa	Baixa

Dependendo dos riscos, é possível que nenhuma das alternativas escolhidas nos dê conforto para decidir, então, poderemos ter de abandonar as alternativas que escolhemos inicialmente e passarmos a considerar a 3ª, ou a 4ª, ou mesmo outra de menor pontuação.

Finalmente, escolhida a alternativa que mais satisfaz os nossos critérios de seleção e que nos dá maior conforto para decidir, podemos passar para o planejamento de ações sobre as consequências adversas, que é nossa última etapa da tomada de decisão.

Nos casos de pressão de tempo, podemos resumir a tomada de decisão a quatro etapas somente: 1) Propósito da decisão, 2) Objetivos Obrigatórios, 3) Alternativas e 4) Consequências adversas.

14.2.7 Ações sobre os riscos

Deveremos sempre considerar a adoção de ações sobre os riscos, de maneira a eliminar o desconforto sobre as decisões que tomamos.

Nós podemos decidir conviver com os riscos se eles forem muito remotos e de baixa gravidade, mas em outros casos poderemos decidir por minimizá-los, ou mesmo eliminá-los.

Há dois tipos de ações para minimizar ou eliminar riscos:

- Ações de proteção;
- Ações de prevenção.

AÇÕES DE PROTEÇÃO

São as ações que tomamos sobre o efeito do risco com a finalidade de reduzir a gravidade em caso de acontecer.

AÇÕES DE PREVENÇÃO

São aquelas que tomamos sobre as causas com a finalidade de reduzir a probabilidade de acontecer.

14.3 Metodologia para desenvolvimento de sistemas de monitoramento operacional

A partida para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento decisório deve ser a identificação de uma situação com tendência de piorar na atualidade e que tenha quedas periódicas de seus índices, em outras palavras: situações que são problemas cíclicos. A existência prévia de dados de um sistema de monitoramento simples pode ser o ponto de partida do estudo. Como segundo passo do desenvolvimento temos a avaliação da amplitude das perdas que estão ocorrendo, ou ocorreram, quanto à atividade que apresenta problemas. E, por último, devemos determinar a premência de tempo para solução do problema em cada uma das intensidades em que ele ocorre. Depois de satisfeito isso, podemos determinar os

pontos críticos e quais as decisões a serem tomadas em cada caso em função da nossa experiência ou dos dados disponíveis.

Para que um sistema deste tipo seja desenvolvido temos de contar sempre com muitos dados, com pessoas que tenham larga experiência no assunto e satisfazer as condições a seguir:

- 1) a situação é um problema e merece atenção;
- 2) a causa do problema já deve ter sido identificada por qualquer método de análise de problemas;
- 3) As soluções para o problema já tenham sido identificadas em suas mais diversas variações;
- 4) O problema é cíclico, ou seja, não é possível eliminar definitivamente as causas, somente podemos controlar as causas e efeitos.

Se as causas do problema não são conhecidas ou se as soluções ainda não foram determinadas, passe a tratar disso antes de iniciar o desenvolvimento do monitoramento decisório. Se o problema não é cíclico, então não há necessidade de monitoramento decisório e devemos rever o caso, pois há grande probabilidade de que seja possível eliminar as causas e, então, eliminar o problema definitivamente.

As medições sobre efeitos, ou resultados, nos fornecem dados preciosos para identificar atividades que tem problemas. Deve-se levantar todos os dados disponíveis e identificar as pessoas envolvidas com a atividade que possam contribuir com informações.

Vamos analisar três casos baseados em situações que são problemas para muitas empresas:

1º Caso – Danos causados por formigas saúvas em reflorestamentos: Neste caso específico, a causa do problema é conhecida: formigas cortadeiras; e a solução também: o combate das formigas com formicidas. É um caso típico para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento decisório. Normalmente as empresas têm pessoas com larga experiência na identificação de áreas que

necessitam combate, na caracterização da intensidade do ataque e na avaliação dos danos causados, o que pode compensar a inexistência de registros sobre estas variáveis. É bom verificar quanto se gasta com formicidas, mão-de-obra e equipamentos para combate, assim como estimar os danos causados em termos de redução do incremento anual em madeira por unidade de área. Um reflorestamento atacado por formigas tende sempre a aumentar as perdas com o passar do tempo, ou seja, a tendência é piorar. No entanto, sabemos de antemão que a solução não é definitiva; algum tempo após a aplicação do formicida, as formigas voltam a se instalar na área e o problema se torna cíclico.

2º Caso – Redução no crescimento de árvores pela matocompetição: Aqui, também, é conhecida a causa: matocompetição; e a solução: capina química ou convencional. A capina também não é uma solução definitiva, pois as ervas daninhas voltam a se instalar e desenvolver com o passar do tempo. O problema é cíclico, a causa não pode ser eliminada, somente controlada.

3º Caso – Perdas causadas por acidentes rodoviários: Nesta última situação, a causa não é conhecida e precisa ser estudada, o que pode ser feito através de dados de levantamentos internos da empresa, ou da polícia rodoviária federal, que mantém estatística regular das causas de acidentes. Com estes dados pode ser montado um diagrama de Pareto para identificar qual (is) a(s) causa(s) mais frequente(s). Para exemplificar, veja o exemplo na Figura 51, com dados fictícios:

Acidentes na BR-000 em 1997		
CAUSAS	N ^o	% ACUM.
Fator Humano	500	50%
Condições do Veículo	250	75%
Condições da Sinalização	167	92%
Condições da Rodovia	83	100%
Total	1.000	100%

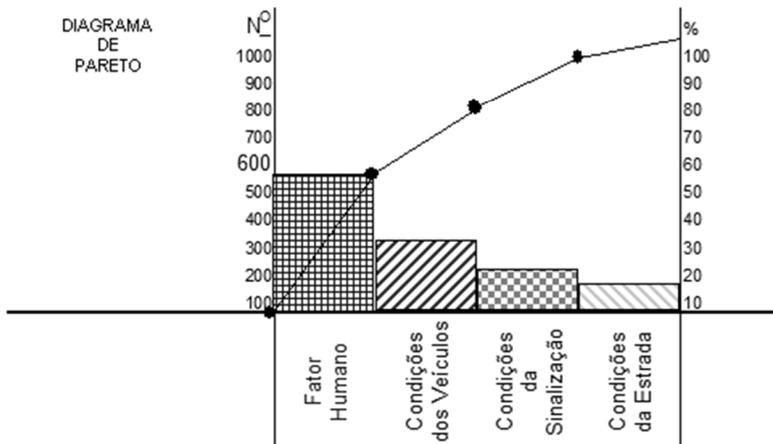


Figura 51– Diagrama de Pareto acerca de causas de acidentes rodoviários.

Neste exemplo, pode-se verificar que o fator humano é responsável por 50% das causas, que somados às condições dos veículos, chegam a 75%. É recomendável trabalhar, em primeiro lugar, com o fator humano, para reduzir os acidentes. Mas, se desejarmos obter melhor resultado, é necessário incluir em nossas ações o controle da condição dos veículos. A causa fator humano pode ser reduzida com treinamento, mas há necessidade de reciclagem, pois o que é absorvido nos treinamentos aos poucos é esquecido e deixado em desuso, tornando o problema cíclico. Também, a manutenção dos veículos, que é a solução para a segunda causa, tem de ser periódica, pois o desgaste de peças é contínuo.

Como vimos, todos os três casos satisfazem as condições para que sejam objetos de monitoramento decisório e pode-se seguir em frente com as situações.

Outra forma de identificar problemas cíclicos em empresas é examinar seus relatórios contábeis. Examinando balancetes descobre-se onde é gasto o dinheiro e, onde há grandes gastos constantes, pode haver também grandes problemas cíclicos. Buscar problemas cíclicos que mereçam atenção em empresas e criar monitoramentos para eles é uma forma muito eficaz de reduzir custos e melhorar a qualidade.

Outras atividades que podem ser objeto de monitoramento são:

- Máquinas veículos e equipamentos, com o objetivo de reduzir custos com reforma e manutenção, tendo como critério o valor da intervenção em relação ao do equipamento;
- Estradas, com o objetivo de reduzir os custos com manutenção e reforma em relação ao valor do produto final, ou serviço de transporte que está sendo prestado através da estrada em questão. Deve considerar como critério o seu uso, ou fluxo de veículos para caracterizar sua importância;
- Meio-Ambiente, para controlar as agressões ao meio-ambiente por indústrias, empresas florestais, empresas de transporte, etc;
- Serviços prestados por terceiros, para controlar a produção (qualidade e quantidade), evitando erros e atrasos;
- Estoques, para redução a um nível compatível com as necessidades e de custo mínimo.

Identificando um problema, identificando a sua causa, descobrindo a solução e sabendo que o problema é cíclico, é a chave para perceber a necessidade e criar um sistema de monitoramento para melhoria contínua.

14.3.1 Levantamento de informações

A primeira coisa a fazer é identificar as pessoas envolvidas com o problema e levantar todas as informações sobre o mesmo, envolvendo suas causas, efeitos, solução, periodicidade e custos. Pode-se fazer uma reunião com o pessoal envolvido e solicitar que cada um junte todas as informações de que dispõe; deve-se verificar que informações são necessárias para complementar as disponíveis e encarregar

alguém, presente na reunião, de coletá-las. Feito isso, pode-se então passar ao PDCA, ou seja, às quatro etapas sequenciais: Planejar, Executar, Analisar e Corrigir:

1ª ETAPA – PLANEJAMENTO

Na etapa de planejamento, deve-se:

- Definir o objetivo do monitoramento;
- Determinar as causas que serão controladas e suas variáveis;
- Definir como serão realizadas as medições ou levantamentos;
- Determinar a periodicidade dos levantamentos;
- Criar critérios de decisão;
- Definir as ações a executar, em cada situação das causas, através de fórmulas, ou fluxogramas, ou tabelas, conforme os critérios de decisão.

2ª ETAPA - EXECUÇÃO

Na etapa de execução, deve-se:

- Treinar todo o pessoal na execução das atividades e dos levantamentos, no uso dos fluxogramas, tabelas e fórmulas de decisão e na execução das ações selecionadas;
- Realizar os levantamentos programados;
- Determinar as ações a serem executadas conforme fórmulas, fluxogramas, ou tabelas, de acordo com o que foi planejado;
- Executar as ações selecionadas;

3ª ETAPA - AVALIAÇÃO

Nesta etapa, deve-se avaliar a eficácia das ações tomadas, ou seja, se as ações controlaram os efeitos e se o levantamento e a metodologia planejados levaram à decisão correta.

A ineficácia das ações pode ser devida às seguintes causas:

- A ação foi mal executada (por erro ou atraso);

- Não foi escolhida a ação correta, o que pode ocorrer por três motivos: 1) a metodologia da decisão está errada; 2) houve falha na execução do levantamento; 3) houve falha no planejamento do levantamento.

Encontrada a causa da ineficácia da ação executada, passa-se à fase seguinte.

4ª ETAPA - CORREÇÕES

Em caso de a ineficácia da ação ter sido devida à sua execução incorreta, deve-se determinar as ações corretivas quanto à execução da ação e providenciar para que as pessoas responsáveis sejam treinadas quanto à nova forma de execução.

Se for constatado que as ações executadas não foram eficazes devido à inadequação da ação, deve-se determinar as correções necessárias à metodologia para que a tomada de decisões seja eficaz nas próximas vezes e treinar o pessoal quanto às modificações realizadas.

Observe que a etapa de correções é seguida de um novo planejamento, onde temos novas informações representadas pelo primeiro planejamento e pelos defeitos, ou problemas, encontrados quando de sua execução, já se determinou o que deve ser feito para corrigir os defeitos e faz –se necessário realizar um novo planejamento com estes dados, em outras palavras, é o início de um novo ciclo. Volta-se, depois, à etapa de execução, à de avaliação, de correção e, assim, sucessivamente.

Os três exemplos que se apresenta a seguir são factuais, realmente foram desenvolvidos em empresas florestais para: monitoramento de formigas cortadeiras, monitoramento de matocompetição e monitoramento do transporte de madeira.

14.4 2. Monitoramento de formigas cortadeiras

Este é um caso real desenvolvido para uma grande indústria de celulose de *Eucalyptus*, em 1993. Procurou-se demonstrar todas as etapas do desenvolvimento

deste exemplo, para perfeito entendimento do processo do início ao fim. As etapas do processo de desenvolvimento foram semelhantes às do PDCA. Partiu-se de um levantamento de informações e depois seguiram-se as quatro etapas:

- Planejamento;
- Execução;
- Avaliação;
- Correção.

LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

As informações existentes eram referentes aos custos com a atividade que chegavam a R\$ 0,25/m³ ao final da rotação dos plantios de *Eucalyptus*. Um valor considerável se levamos em conta que a empresa produz cerca de 2,2 milhões de m³/ano, representando um custo total anual de R\$ 550 mil. Isso já demonstra a importância do assunto, mas ainda teríamos que somar as perdas por danos causados pelas formigas. Estima-se que um formigueiro com área de 10 m² é capaz de matar, num período de quatro meses, uma planta de *Eucalyptus* com 42 meses de idade (idade média dos povoamentos). Considerando-se um incremento médio anual de 33m³/ha e 1000 plantas/ha, teríamos perdido 0,1155 m³ nos quatro meses de ataque, ou 0,3465m³/ano por formigueiro de 10 m² de área. Multiplique-se este valor pelo número de formigueiros encontrados em toda a área florestal da empresa e ter-se-á uma estimativa dos danos totais causados por formigueiros deste tamanho.

Em primeiro lugar reuniu-se todo o pessoal envolvido com a atividade de controle e combate às formigas cortadeiras desde encarregados, técnicos e engenheiros em uma sala. Através de um “brainstorming” descobriu-se que os principais indicadores do risco em relação às formigas cortadeiras, ou variáveis das causas, eram os seguintes:

- Tamanho dos formigueiros: quanto maiores os formigueiros, mais risco representam;

- Número de formigueiros: quanto mais formigueiros mais danos causam;
- Percentagem de danos causados às copas das árvores: quanto mais a árvore é atacada, mais retarda seu crescimento, até a sua morte;
- Número de árvores atacadas: quanto mais árvores atacadas, maior a gravidade das perdas;
- Pontos de concentração: segundo os técnicos, áreas muito infestadas são problemáticas, pois com a diminuição das copas, há penetração de luz no interior da floresta, favorecendo o crescimento do sub-bosque que irá competir com as árvores;
- Idade do plantio: quanto mais jovens, mais susceptíveis são e menor resistência ao ataque as árvores oferecem.

Com isso, em mãos, foi realizado um levantamento em várias áreas piloto com idades até três anos, com cerca de 100 hectares cada uma, num total de cerca de 8 mil hectares.

1ª ETAPA - PLANEJAMENTO

Realizou-se uma análise estatística dos dados do levantamento piloto. Reuniu-se o pessoal outra vez. Apresentou-se os resultados dos levantamentos e, então, surgiu a pergunta: A partir de que tamanho os formigueiros representam risco mais sério e para qual tamanho de árvores. Neste momento, iniciou-se a distribuição dos dados em classes. Então construímos uma tabela de dupla entrada por classe de tamanho de formigueiros e por classe de idade de árvores com os valores críticos de tamanho de formigueiro para cada classe de idade. A segunda pergunta que surgiu auxiliou a definir o risco real dos formigueiros por tamanho: Qual o dano causado por cada classe de formigueiro, em cada classe de idade das árvores. Esta foi uma fase intermediária de estudo dos dados, para melhor entendimento do problema.

O objetivo deste monitoramento é decidir se há necessidade de realizar o combate com formicidas e quanto tempo resta para executá-lo sem que as perdas sejam significativas. Com base nisso decidimos que o principal indicador era o prazo

para executar o combate e tentamos responder às seguintes questões em relação às nossas variáveis:

- Qual o prazo para combate de um formigueiro antes que ele cause danos significativos em cada classe de tamanho de formigueiro de até 1 m², 2 m², 3 m², 4 m², 5 m², 10 m², 20 m², 30 m², 40 m² e 50 m²? (considerou-se que formigueiros de 50 ou mais m² de área apresentam risco máximo³).
- Qual o prazo para combate de uma área com 10, 20, 30, 40, 50, 100, 150 e 200 formigueiros por hectare? (200 formigueiros/ha foi considerado o máximo de risco).
- Qual o prazo para combate de uma área em que a percentagem de danos causados às copas das árvores é de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45% e 50% da sua altura? (acima de 50% foram consideradas irrecuperáveis).
- Qual o prazo para combate às formigas em uma área em que, no caminhamento geral, foram encontradas até 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, e 50 árvores atacadas? (acreditamos que numa área de 100 ha, dificilmente ocorreriam mais de 50 árvores atacadas e que este número seria o risco máximo).
- Qual o prazo para combate de uma área que apresenta 1, 2 e 3 pontos de concentração? (pela experiência do pessoal, considerou-se que 3 pontos de concentração seriam o risco máximo).
- Qual o prazo para combate de uma área com infestação média (referente ao levantamento piloto e à experiência de cada um dos participantes) e com idades de 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos? (como os povoamentos eram submetidos a combates sistemáticos em períodos pré-determinados até os 6 meses de idade, não foram amostrados povoamentos até esta idade).

A partir das respostas para estas perguntas, montou-se uma escala de tempo de 15 em 15 dias, iniciando-se com 0 até 360 dias e converteu-se a soma de valores encontrados para cada possibilidade de combinação em um fator de risco. A escala final, desenvolvida após a fase de avaliação, está na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

³ Risco máximo = situação que envolve grandes perdas e que exige combate imediato às formigas.

Descrevemos a seguir, os seis indicadores, ou variáveis, considerados para o desenvolvimento do sistema de monitoramento para formigas cortadeiras: Tamanho dos formigueiros, número de formigueiros por hectare, Porcentagem das copas com danos, pontos de concentração e idade da plantação.

Tamanho dos formigueiros (T) – para medir a superfície de um formigueiro é necessário localizar todos os seus olheiros, traçar uma linha no sentido da maior distância entre dois olheiros representando seu comprimento (c) e outra, transversal à primeira, representando sua largura máxima (L), como na Figura 52; a superfície, ou tamanho do formigueiro (T) é dado pelo produto da sua largura pelo seu comprimento.

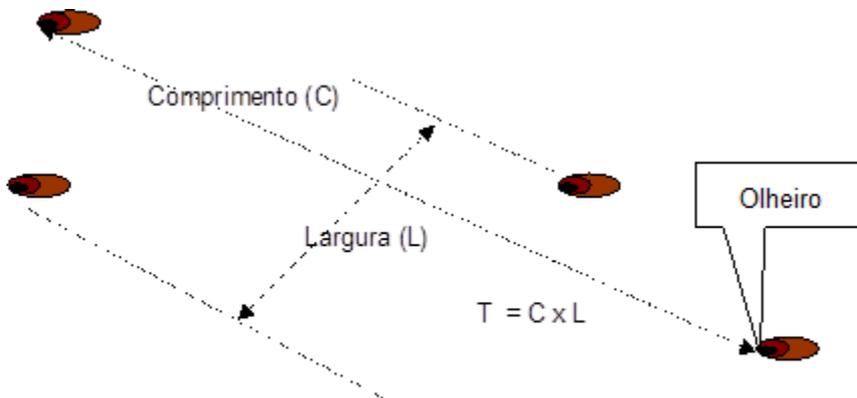


Figura 2.1 – Medição de um Formigueiro

Figura 52 - Medição de um formigueiro.

Número de formigueiros por hectare – para determinação do número de formigueiros por hectare amostra-se entre 2 a 6% da superfície florestal, em faixas distribuídas nos locais de maior infestação de formigas, onde se faz a contagem dos formigueiros encontrados na faixa entre quatro linhas de árvores plantadas, como na Figura 53.

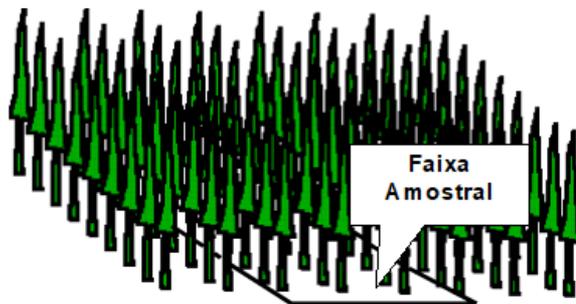


Figura 53 - Faixa de amostragem para monitoramento de formigas cortadeiras.

Conta-se os formigueiros encontrados na faixa de amostragem e divide-se o número encontrado pela área da faixa, que é dada por 4 vezes a distância entre duas linhas de plantio, multiplicado pelo comprimento da faixa.

Porcentagem das copas com danos – é o percentual da altura, com danos, da copa da árvore que foi mais atacada pelas formigas; ver exemplo de estimativa na Figura 54; para esta avaliação, escolhe-se deliberadamente a árvore mais atacada do povoamento florestal que está sendo monitorado.

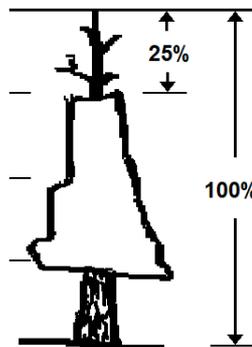


Figura 54 - Porcentagem da altura da árvore com danos.

Nº de árvores cortadas – é o número total de todas as árvores com danos que forem encontradas no povoamento que está sendo monitorado, independentemente de se encontrarem ou não nas faixas de amostragem.

Ponto de concentração – é uma área com um raio de até 50 m, onde ocorrem pelo menos três formigueiros e cuja área total de formigueiros é superior a 25 m².

Idade do plantio – é a idade do povoamento florestal expressa em meses.

Para levantamento de dados foi desenvolvida a tabela **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde há um exemplo hipotético de levantamento em uma área. A tabela é adequada para o monitoramento de áreas de floresta equiânea com uma superfície em torno de 100 hectares.

2ª ETAPA - EXECUÇÃO

Neste caso, em particular, o levantamento é realizado procurando-se sempre o pior, ou seja, percorre-se todas as estradas da área a ser levantada e realiza-se a amostragem em faixas que são locadas nos pontos de maior infestação, procurando-se o maior formigueiro, a árvore com mais danos na copa, contando-se todas as árvores cortadas por formigas, identificando-se todos os pontos de concentração e anota-se tudo na planilha de levantamento (Figura 55). A anotação na tabela é feita com o número correspondente ao fator da ocorrência. Por exemplo, o maior formigueiro observado tinha em torno de 2,5 m², pertencente à classe de tamanho >2,0m² e ≤3,0m², que corresponde ao fator 8 e este valor é anotado na coluna correspondente a tamanho dos formigueiros; a amostragem revelou a existência de 17 formigueiros/ha, fator 2; a árvore com maior dano tinha 25% da copa afetada, fator 18; contou-se um total de 15 árvores atacadas, fator 8; não haviam pontos de concentração, fator 1; e, o plantio estava com 28 meses de idade, fator 10. Com esses dados é calculado o índice de risco (Tabela 69) e determina-se a ação a executar.

Nesta fase, realizou-se novo levantamento das mesmas áreas onde foi realizado o levantamento piloto e executou-se as ações determinadas pelo risco calculado.

3ª ETAPA - AVALIAÇÃO

Após um mês, foi realizado novo levantamento, nas áreas onde foi determinado combate pelo monitoramento, para avaliação dos resultados desta ação. Verificou-se que as ações de combate, na grande maioria dos casos, foram eficazes. Nos casos em que isso não se verificou, a ação havia sido determinada com eficiência, mas a sua execução fora deficiente. As correções efetuadas nestes casos resumiram-se em treinar melhor o pessoal envolvido na sua execução.

4ª ETAPA - CORREÇÕES

Com posse dos dados do segundo levantamento, fez-se a correção da tabela de ações em função do risco, dando como resultado final a tabela 2.2. As correções necessárias foram somente de redistribuição de classes e revisão da tabela original de levantamento, reduzindo as informações coletadas, resultando na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A tabela original envolvia mais cálculos que foram eliminados. É certo que com o tempo, devido à influência de fatores biológicos e climáticos, haverá necessidade de correções no sistema, mas foi testado em larga escala e funciona satisfatoriamente nas condições em que foi desenvolvido.

14.4.1 Considerações a respeito do sistema de monitoramento de formigas cortadeiras

Este sistema é aplicável a povoamentos florestais de *Eucalyptus*, com mais de seis meses de idade quando o risco maior é representado pelas saúvas, no norte do

Estado do Espírito Santo e sudeste da Bahia. A adequação em outras regiões pode ser realizada através da metodologia aqui descrita;

A produtividade de uma pessoa treinada, com um veículo, no levantamento de formigas cortadeiras, é de 500 hectares por dia, nas condições em que foi desenvolvido;

O sistema proporcionou uma redução imediata em torno de 30% dos custos no combate às formigas.

14.5 3. Monitoramento de ervas daninhas

O exemplo a seguir é hipotético e servirá somente para exemplo, devendo ser adaptado para situações reais. Desenvolvemos um sistema semelhante para uma indústria de celulose, em 1993, mais simples e mais dependente da decisão da supervisão. O modelo apresentado aqui é mais complexo e automático, mas não foi testado em campo para avaliar os resultados.

14.5.1 A situação

As empresas florestais têm despesas constantes e de considerável monta com as capinas de seus reflorestamentos de *Eucalyptus*. Além disso, os herbicidas utilizados agredem o meio-ambiente e as capinas do tipo convencional (mecânica e/ou manual) destroem a estrutura da camada superficial do solo e prejudicam os microorganismos desta camada pelo revolvimento e exposição do solo.

14.5.2 Levantamento de informações

Custos da atividade à época: R\$ 0,35/m³ até a colheita da madeira aos sete anos de idade. Estudo de causas e efeito: algumas causas da redução do crescimento

do *Eucalyptus* são citadas no diagrama da Figura 56. A causa contemplada neste estudo é a matocompetição (ervas daninhas) e o efeito estudado é a redução do crescimento do *Eucalyptus*, que se pretende impedir.

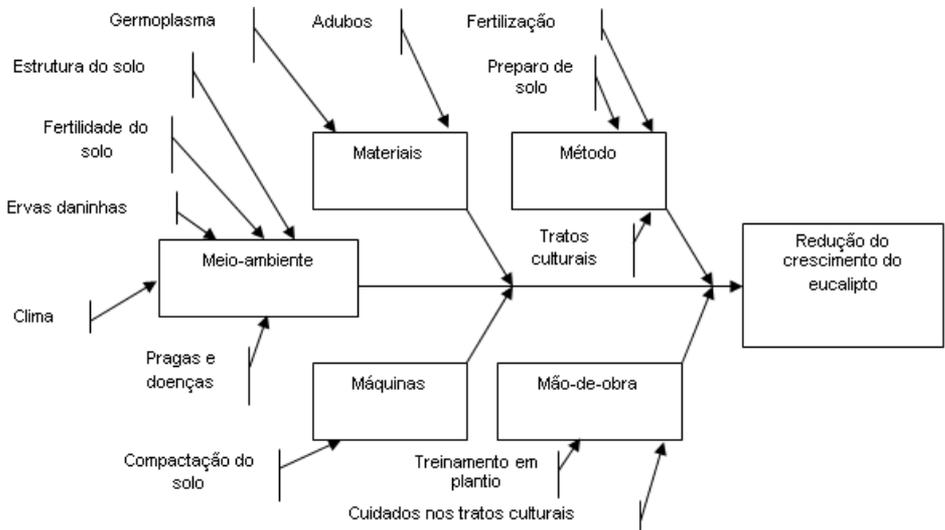


Figura 56 – Diagrama de Causa e Efeito

As principais ervas daninhas ocorrentes na região (variáveis das causas) são:

- folhas largas resistentes ao herbicida: cansação, mamona, guanxuma;
- folhas estreitas (gramíneas) susceptíveis ao herbicida: colonião, braquiária, quicuío, capim-pernambuco.

Soluções para o problema: a solução para a ocorrência de ervas daninhas que apresentam competição com o *Eucalyptus* é efetuar capina química, ou convencional (mecânica e/ou manual), dependendo do tipo de erva ocorrente, do porte destas em relação ao *Eucalyptus* e do porte deste último. Quando as plantas de *Eucalyptus* têm até 1,5 metros de altura, não deve ser realizada a capina química para evitar danos ao próprio *Eucalyptus* pelo herbicida. Quando a ocorrência maior é de folhas largas, representando mais de 65% do total da cobertura de plantas daninhas, a capina deve ser convencional, pois o herbicida utilizado para gramíneas tem pouco efeito sobre as

folhas largas e o herbicida próprio para folhas largas, além de ser prejudicial ao *Eucalyptus*, é muito caro.

- **1ª Etapa – Planejamento**

Nesta etapa devemos definir o objetivo do monitoramento, qual seja: evitar que as ervas daninhas entrem em competição com o *Eucalyptus*. Isso significa que a simples presença de ervas daninhas não quer dizer que estejam em competição com a cultura. Então, a questão é determinar quando é que as ervas entram em competição, ou apresentam risco de que isso aconteça em um determinado período de tempo, quando deverá ser desencadeado novo levantamento, ou a própria capina como medida de controle. Na Tabela 70 e na Tabela 71 são apresentados os critérios de decisão, para eucaliptais com até 5 m de altura, elaborados com o conhecimento empírico da equipe de supervisores florestais. Os códigos das ações na Tabela 70 e Tabela 71 são os seguintes:

- M 60 -Monitorar após 60 dias;
- M 50 - Monitorar após 50 dias;
- M 40 - Monitorar após 40 dias;
- M 30 - Monitorar após 30 dias;
- C 15 Executar capina após 15 dias;
- C 7 -Executar capina após 1 semana;
- C - Capinar imediatamente;
- CP - Capina parcial (local infestado).

Tabela 70- Soluções apontadas para folhas largas:

% DA ALTURA DAS ERVAS EM RELAÇÃO AO EUCALIPTO	% DE COBERTURA DA SUPERFÍCIE DO SOLO COM ERVAS DANINHAS						
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
10%	M 60	M 60	M 60	M 50	M 40	M 30	M 20
20%	M 60	M 60	M 50	M 40	M 30	M 20	c 15
30%	M 60	M 50	M 40	M 30	M 20	c 15	c 7
40%	M 50	M 40	M 30	M 20	C 15	C 7	C
50%	M 40	M 30	M 20	C 15	C 7	C	c
60%	M 20	M 20	C 15	C 7	c	c	C
70%	CP	CP	C 7	c	c	C	c

Tabela 71 - Soluções apontadas para gramíneas:

% Da altura das ervas em relação ao <i>Eucalyptus</i>	% de cobertura da superfície do solo com ervas daninhas						
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
5%	M 60	M 60	M 50	M 40	M 30	M 20	C 15
10%	M 60	M 50	M 40	M 30	M 20	C 15	C 7
15%	M 50	M 40	M 30	M 20	C 15	C 7	C
20%	M 40	M 30	M 20	C 15	C 7	C	C
25%	M 30	M 30	C 15	C 7	C	C	C
30%	M 30	M 20	C 7	C	C	C	C
35%	M 20	M 20	C	C 7	c	c	C
40%	M 20	M 20	C	c	c	C	c
50%	M 20	CP	C	C	C 7	C	c
60%	CP	CP	C	C	c	c	C
70%	CP	CP	C	c	c	C	c

Se a decisão a partir das tabelas anteriores for pela capina, o tipo de capina será decidido através do fluxograma da Figura 57.

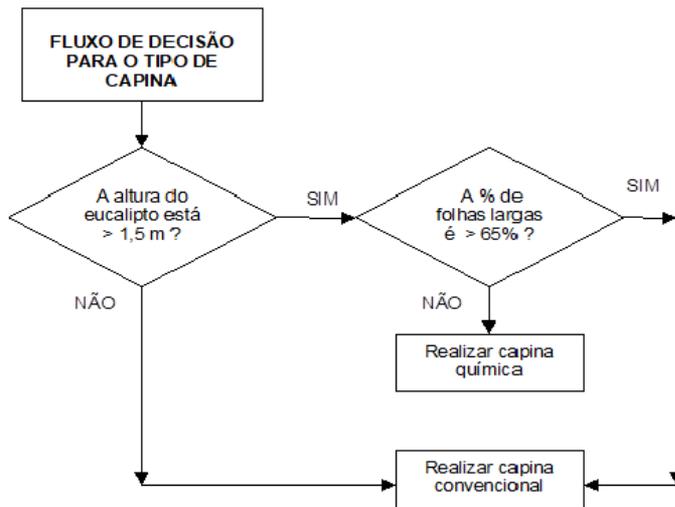


Figura 57 – Fluxograma de decisão quanto ao tipo de capina.

A capina química deve ser realizada com herbicida próprio para gramíneas, que pode ser aplicado com o uso do equipamento mais eficaz para a situação, ou o que estiver disponível. A capina convencional poderá ser realizada com a execução de capina mecânica entre as linhas de plantio complementada por capina manual na linha.

A tabela de levantamento deverá conter os dados de localização da área, data, espécies de ervas ocorrentes e sua frequência proporcional, tamanho do *Eucalyptus* e tamanho proporcional das espécies ocorrentes, como na tabela 3.3 adiante.

A dose de herbicida deverá ser determinada pelo técnico, em função do estágio vital das ervas daninhas de maior frequência na área infestada. Esta decisão não foi automatizada devido à sua complexidade.

Neste ponto concluímos a etapa de planejamento e podemos passar à seguinte.

- **2ª Etapa - Execução**

Nesta etapa, teríamos que realizar uma série de levantamentos, decidirmos sobre as ações necessárias conforme o planejado e executarmos as ações. Então passaríamos para a etapa seguinte.

- **3ª Etapa - Avaliação**

Após o efeito poder ser notado, em relação às capinas executadas, é necessário verificar o resultado das mesmas. Há duas possibilidades: a capina surtiu o efeito desejado, ou não (o efeito desejado, neste caso, é a eliminação da competição das ervas daninhas com o *Eucalyptus*). Caso o efeito não tenha sido o desejado, deve-se verificar o porquê, ou causas da ineficácia das ações, ou capinas.

- **4ª Etapa - Correções**

Em se descobrindo as causas para a ineficácia das ações executadas, que foram determinadas em função do levantamento e da metodologia de decisão definidos no planejamento, é preciso determinar as ações corretivas necessárias e iniciar novo planejamento, reiniciando o ciclo.

Nota: Em qualquer situação, esta metodologia deverá ser ajustada, pois foi concebida com valores baseados no conhecimento empírico de uma equipe de técnicos e engenheiros florestais, mas o modelo não foi ajustado com testes de campo.

A ficha de levantamento para monitoramento de matocompetição é apresentada na Figura 58.

Local:			Altura do Eucalipto:		Última capina:		Data:																
			m.		_/_/_		_/_/_																
Projeto:		Talhão:	Obs:																				
Ervas ocorrentes		Frequência proporcional de ervas								Altura relativa ao eucalipto													
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	>90 %		
Folhas Largas		Cansação																					
		Mamona																					
		Guanxuma																					
Subtotal F. Largas												Cobertura de F. Lar. (%) :											
Gramas Pequenas		Braquiária																					
		Quicuío																					
		Pernambuco																					
Subtotal G. Pequenas												Cobertura de G. Peq.(%) :											
Gramas Grandes		Colonião																					
Subtotal G. Grandes												Cobertura de G. Grn.(%) :											
Totais												% de cobertura com ervas:											

Notas: Frequência proporcional de ervas é a percentagem com que uma erva ocorre em relação às outras, considerando-se a infestação total como 100%. Percentagem de cobertura com ervas é a percentagem da superfície total do solo da área avaliada que está infestada com ervas daninhas (deve ser igual à soma da cobertura de folhas largas, gramas pequenas e gramas grandes).

Figura 58 – Planilha para monitoramento de matocompetição.

14.6 4. Monitoramento de transporte de madeira

O exemplo que vamos passar a apresentar foi desenvolvido para uma empresa de transportes, no estado do Espírito Santo, em 1994. A empresa realiza transporte de carga seca e de madeira. Contava, à época, com 45 cavalos mecânicos na atividade de transporte de madeira, trabalhando 24 horas por dia e apresentava uma média de dois acidentes mensais. Partindo do pressuposto que a principal causa dos acidentes eram devidas a fatores humanos, além de providências em outras áreas, em nossos primeiros contatos, a empresa solicitou um curso de direção defensiva. A nosso ver, o curso, por si só teria grande efeito, mas representava uma só alternativa de solução para o problema, sendo proposto algo mais completo. Iniciou-se pela formação de monitores de transporte, para os quais conseguiu-se vaga no curso de Formação de Monitores de Transporte da Mercedes, de formação de instrutores no SENAC e ministraram-se cursos de direção defensiva, condução econômica de veículos de transporte de madeira e de monitoramento de transporte na própria Empresa, de forma a prepará-los para treinar os motoristas e realizar o monitoramento. A ficha de levantamentos desenvolvida é apresentada na tabela 4.4. Antes do sistema ser implantado, como já foi dito, havia uma frequência de dois acidentes por mês, com todas as suas conseqüências: perda de faturamento, gastos com o conserto do veículo, despesas com quatro motoristas parados por veículo, etc.

A análise das causas e efeito é realizada conforme a Figura 59.

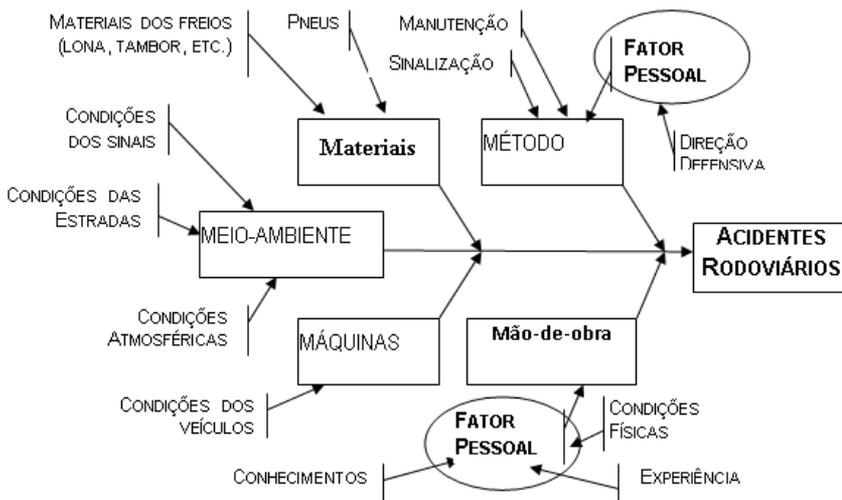


Figura 59 – Diagrama de causa e efeito para acidentes rodoviários.

Pode-se observar que o fator pessoal constitui causa em método (direção defensiva) e em mão-de-obra (conhecimentos, condicionamento físico e experiência).

A prioridade já foi estabelecida, a causa principal é o fator humano. Precisamos, agora, ver quais são suas variações, ou separar as partes. O que queremos dizer quando afirmamos que o fator humano é a principal causa dos acidentes? Queremos dizer que o ser humano erra muito ao dirigir. E o que mais? Bom, a resposta para esta pergunta é que erramos ao usar um veículo nas situações da Tabela 72.

Tabela 72 - Quando se comete erros e em que situações.

Situações em que se comete- erro	Cuidados que se deve ter
Ultrapassar;	Cuidar da carga (amarração);
Passar em cruzamentos;	Usar os equipamentos de proteção do veículo;
Passar em curvas, subir e descer ladeiras;	Acompanhar o abastecimento e manter a higiene do veículo.
Cruzar pontes e viadutos;	Inspecionar o veículo periodicamente;
Frear e acostar;	Verificar pneus de veículos de carga sempre que paramos;
Manter distância de outros veículos;	Verificar constantemente o funcionamento da parte elétrica quando trafegamos por estrada de piso irregular.
Usar os faróis e sinalizar com as luzes do veículo;	
Dirigir em velocidade adequada;	
Trafergar em zonas urbanas e industriais;	

Todas as variáveis acima citadas são causas de acidentes, ou agravantes de suas consequências. Mas, resta a última questão para separarmos todas as partes do problema: O que nos leva a dizer que estas são as variáveis das causas de acidentes quanto ao fator humano? Bom, neste caso a resposta é: principalmente os relatórios de acidentes e nossa experiência.

Concluimos a etapa de levantamento de informações, já conhecemos bem a situação e o problema e podemos passar à fase de decisão sobre o que fazer. Estaremos entrando, com isso, na etapa de planejamento.

1ª ETAPA – PLANEJAMENTO

O propósito da decisão deste caso é reduzir as perdas provocadas por acidentes rodoviários causadas pelo fator humano. Os critérios de decisão são apresentados na Tabela 73.

Tabela 73 – Critérios de Decisão

Critérios obrigatórios:	Critérios desejáveis:
Reduzir o número de acidentes; Aumentar a qualidade do serviço; Melhorar o condicionamento físico dos motoristas para o trabalho; Aumentar o conhecimento quanto às técnicas de direção defensiva.	Melhorar o ambiente de trabalho; Baixo custo de implantação; Aumentar o conhecimento quanto às técnicas de condução econômica; Reduzir despesas de manutenção com veículos.

Alternativas para solução:

- Implantar um sistema rigoroso de fiscalização;
- Criar normas para o serviço de transporte de madeira;
- Reunir o pessoal e obter mais comprometimento e responsabilidade ao conduzir veículos (compromisso);
- Treinar os motoristas quanto à direção defensiva;
- Implantar sistema de punição para motoristas faltosos;
- Implantar sistema de avaliação e prêmios por bom desempenho;
- Implantar sistema de monitoramento da qualidade do trabalho;
- Adotar o uso de bafômetro;
- O uso do tacógrafo não foi considerado porque era adotado de maneira definitiva.

A comparação das alternativas frente aos critérios de decisão é realizada como na Figura 60.

Critérios Obrigatórios	Fiscalização rigorosa		Normalização		Obter compromisso		Curso de Direção Defensiva		Prêmios		Monitoramento da qualidade		Bafômetro				
	Atende	Não	Atende	Não	Atende	Não	Atende	Não	Atende	Não	Atende	Não	Atende	Não			
< N° de Acidentes	♦		♦		♦		♦		♦		♦		♦				
> qualidade do serviço	♦		♦		♦		♦		♦		♦		♦				
> condições físicas	♦		♦		♦		♦		♦		♦		♦				
Uso da direção defensiva	♦		♦		♦		♦		♦		♦		♦				
Critérios Desejáveis	A	B ₁ A XB ₁	B ₂ A XB ₂	B ₃ A XB ₃	B ₄ A XB ₄	B ₅ A XB ₅	B ₆ A XB ₆	B ₇ A XB ₇	B ₈ A XB ₈								
(Descrição)	Peso	Nota	Pontos	Nota	Pontos	Nota	Pontos	Nota	Pontos	Nota	Pontos	Nota	Pontos	Nota	Pontos		
Melhorar ambiente	1	0		1	1	1	1	1	1	0		0		1	1	0	
Barato implantar	2	0	2	0		1	2	1	2	1	2	0		0		1	2
Condução econômica	2	0		1	2	1	2	1	2	0		1	2	1	2	0	
< manutenção	2	1		1	2	1	2	1	2	0		1	2	1	2	0	
Total	x	x	2	x	5	x	7	x	7	x	2	x	4	x	5	x	2

Figura 60- Comparação das alternativas frente aos critérios obrigatórios e desejáveis.

Como se pode ver, todas as alternativas propostas estão de acordo com os critérios obrigatórios e nenhuma foi eliminada até aí. Frente aos critérios desejáveis, quatro alternativas atingiram cinco pontos ou mais, tendo sido escolhidas para implantação, quais sejam: normalizar o serviço de transporte de madeira; reunir o pessoal do transporte de madeira e fazê-los participar do processo todo para comprometê-los; treinar os motoristas quanto à direção defensiva e condução econômica de veículos de transporte de carga; e, implantar um sistema de

monitoramento da qualidade do trabalho no serviço de transporte de madeira. Esta foi a proposta final apresentada para a Empresa, que foi aceita e implantada.

Os riscos das decisões foram avaliados conforme a Tabela 74.

Tabela 74 – Avaliação dos riscos das decisões

Riscos (Consequências Adversas)	Probabilidade			Gravidade		
	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
Alternativa: Normalização				Inspira Cuidados		
Fazer errado		m		a		
Levar muito tempo para fazer		m			m	
Não conseguir fazer			b	a		
Alternativa: Obter Compromisso				É Confortável		
Fazer errado			b	a		
Levar muito tempo para fazer			b		m	
Não conseguir fazer			b	a		
Alternativa: Curso de Direção Defensiva				Inspira Cuidados		
Fazer errado			b	a		
Levar muito tempo para fazer		m			m	
Não conseguir fazer			b	a		
Alternativa: Monitoramento da Qualidade				É Confortável		
Fazer errado			b	a		
Levar muito tempo para fazer		b			m	
Não conseguir fazer			b		m	

Onde a = alto; b = médio; b = baixo.

Em nenhum dos casos as alternativas selecionadas foram consideradas de difícil aplicação, mas em dois casos sua implantação inspirou cuidados especiais que foram levados em consideração.

Os levantamentos foram programados para serem realizados semanalmente através da Tabela 75, os monitores foram formados e as alternativas selecionadas foram iniciadas.

Tabela 75 - Monitoramento de tráfego

Data:	Corretos	Incorretos
Itens observados	Contagem Pontos	Contagem Pontos
Cinto de segurança		
Ultrapassagem		
Condução em Curvas/Aclives/Declives		
Condução em pontes/viadutos		
Manobras para Frear/Acostar		
Manutenção de distân. Do veíc. À frente		
Uso dos faróis e pisca-pisca		
Tráfego em área industrial		
Tráfego em área urbana		
Acompanhamento do Abastecimento		
Amarração da carga		
Inspeção do veículo		
Situação do sistema elétrico		
Situação dos pneus		
Higiene interna/externa do veículo		
TOTAL GERAL DE PONTOS	Corretos	Incorretos
	%	%

Observações:

2ª ETAPA - EXECUÇÃO

A princípio, foram obtidos índices medíocres de 65% de pontos corretos, mas com a identificação das causas do não atendimento aos quesitos da tabela de levantamento e adotadas as correções necessárias em reuniões de consenso com os próprios faltosos, em cerca de 4 meses melhorou acima de 90% e por várias semanas foram atingidos 100%, sendo que ocorreram períodos de mais de 60 dias sem acidentes.

3ª ETAPA - AVALIAÇÃO

No sistema previsto, toda ocorrência de erro observado nos levantamentos é motivo de análise em conjunto com a pessoa que o cometeu, assim como a ocorrência é levada para os treinamentos com os motoristas, sem identificação das pessoas. O objetivo nas reuniões é de encontrar solução para as causas dos erros, que muitas vezes são fúteis, ou de pura desatenção, mas com o envolvimento do infrator na tomada de decisão, o seu comprometimento é praticamente total.

4ª ETAPA - CORREÇÕES

As correções que foram necessárias, em sua grande maioria, diziam respeito ao comportamento e atenção dos motoristas, que, em alguns casos foram encaminhados para reciclagem no curso de direção defensiva. O sistema em si não sofreu modificações após sua implantação.

14.7 Monitoramento das florestas

As áreas florestais, sejam de produção, plantadas ou naturais, sejam de preservação ou conservação, devem ser constantemente monitoradas para avaliar seu estoque, crescimento, biodiversidade e evolução, para possibilitar a tomada de decisões e garantir que seus objetivos sejam alcançados.

14.7.1 Áreas de produção

As áreas de produção geralmente sofrem três tipos de inventários florestais:

- Inventário de plantio/implantação para avaliação de sobrevivência;

- Inventário contínuo (ou monitoramento propriamente dito) para classificação de sítios, acompanhamento do crescimento e evolução dos estoques, fornecendo dados para prognoses e planejamento;
- Inventário pré-corte para estimar os estoques e produção, fornecendo dados para o planejamento da colheita.

Os inventários florestais seguem as metodologias desenvolvidas para amostragem que não são objeto desta obra. Cada organização adota um tipo de inventário diferente, geralmente por unidade de manejo, classificando as áreas de produção por germoplasma, índice de sítio e idade, dentro de cada unidade administrativa.

No caso das florestas nativas manejadas, a legislação exige, além de um monitoramento fitossociológico, um inventário de 100% das árvores com diâmetro acima de 50 cm ou acima de outro valor de diâmetro em função das características das florestas a manejar, podendo haver legislação estadual específica, além da federal.

14.7.2 Áreas de conservação e preservação

As áreas de conservação e preservação, além do monitoramento fitossociológico, também necessitam de inventário periódico de fauna, onde são apenas identificadas as espécies de animais ocorrentes. Deve-se ter especial atenção quanto a ocorrência de espécies ameaçadas, ou em risco de extinção, tanto da flora quanto da fauna, para garantir que o manejo não influa negativamente sobre suas populações e identificar as áreas de sua maior ocorrência, ou corredores para as espécies nesta condição, que deverão ser preservados, podendo preferencialmente locar as áreas de reserva legal nestes espaços.

14.8 Monitoramento de solos

Os solos devem ter sua fertilidade e estrutura monitorados, preferencialmente mas não somente, antes do plantio ou após as colheitas, para identificar a compactação e necessidade de reposição de nutrientes e ações como sulcamento para a nova floresta, com o objetivo de manter sua capacidade produtiva. O monitoramento e manejo de solos é objeto de estudo de matéria específica, não sendo tratado no presente trabalho.

14.9 Monitoramento de estradas florestais

Uma estrada é composta pela pista, obras de arte e sinalização. A qualidade de cada um dos três componentes, gerando ações de conservação no tempo certo, é essencial para garantir segurança, conforto, menor desgaste de veículos e velocidade apropriada com menor tempo de viagem, menor custo de manutenção das estradas e do transporte de cargas e pessoas com segurança e conforto.

Após sua construção, a velocidade de deterioração das estradas irá depender principalmente do volume de tráfego e do tempo. O volume de tráfego afeta principalmente a pista de rolamento e as obras de arte, enquanto que as condições climáticas afetam todos os componentes das estradas, da pista, aos sistemas de drenagem, obras de arte e sinalização.

Um planejamento e construção de estradas com excelência reduz mas não evita a sua deterioração. Um bom sistema de monitoramento é que garantirá o menor custo de manutenção da estrada e de transporte com a garantia de segurança necessária.

O monitoramento de estradas envolve, além da pista, as obras-de-arte, sistemas de drenagem, sinalização horizontal e vertical, contenções e taludes, faixas

de domínio, edificações operacionais entre outros. Atualmente são usados equipamentos de alta tecnologia para o monitoramento de estradas, facilitando as inspeções e reduzindo o tempo para sua realização. A inspeção de galerias e bueiros pode ser auxiliada por vídeo, faixas de domínio podem ter sua inspeção auxiliada por drones e a sinalização pode ter inspeção auxiliada por equipamentos de retrorefletância.

O gatilho para manutenção das estradas depende principalmente do custo da própria manutenção, do aumento do custo de transporte devido à deterioração da estrada e do aumento do risco de acidentes. Os custos de transporte são influenciados pelas condições das estradas no que se refere ao aumento do custo do desgaste e de manutenção de veículos e equipamentos e do aumento do tempo de viagem. Todos os fatores devem ser monitorados para que se realize as manutenções antes que os custos aumentem mais do que o custo da manutenção a realizar na estrada, ou que aconteçam acidentes por conta da falta de manutenção da estrada com todos os seus componentes. Os principais defeitos da pista de rolamento estão relacionados na Tabela 76.

Tabela 76 - Defeitos da pista de rolamento de estradas de terra.

Defeito	Medida	Classe de severidade			
		0 = Muito baixa	1. Baixa: pouco prejudicial	2. Média: prejudicial	3. Alta: muito prejudicial
Seção transversal - W	Profundidade (cm)	< 5	5 - 10	> 10	-
Corrugações	Amplitude (cm)	< 2	2 - 5	> 5	-
Panelas aberta	Superfície (%)	< 5	5 - 20	20 - 50	> 50
Buracos	Profundidade	< 5	5 - 10	10 - 25	> 25
	Máxima (cm)				
Sulcos transversais	Profundidade (cm)	< 2	2 - 5	> 5	-
Sulcos longitudinais	Profundidade (cm)	< 5	5 - 10	10 - 25	> 25
Trilhas de rodas	Amplitude (cm)	-	5 - 10	10 - 25	> 25
Superfície poeirenta	Superfície (%)	< 1	2 - 5	5 - 20	> 20
Assent./deslizamento	Diferentes níveis (cm)	<5	5 - 10	10 - 25	> 25

Fonte: Horta (1991).

Eaton et al (1992) realizaram um estudo, concluindo sobre os defeitos das estradas como:

- Seção incorreta,
- Drenagem na estrada,
- Corrugações
- Poeira,
- Buracos
- Sulcos e
- Perda de agregação.

Os autores definiram cada um defeitos como a seguir.

14.9.1 Seção transversal imprópria

DESCRIÇÃO

A seção transversal incorreta é o resultado da superfície da estrada não ser adequadamente moldada ou mantida para transportar água para as valas. Esta condição é evidenciada por água encharcada na superfície da estrada, drenagem de água ou corrida ao longo da superfície da estrada, falta de uma coroa na estrada ou erosão da superfície da estrada causada pelo escoamento da água.

NÍVEIS DE SEVERIDADE

- L-Pequenas quantidades ou evidências de água potável na estrada superfície ou uma superfície de estrada completamente plana (sem cross_slope), ou ambos.
- M moderadas - Quantidades ou evidências de água no lago superfície da estrada ou uma superfície de estrada em forma de tigela, ou ambos.
- H-grandes quantidades ou evidências de água na estrada depressões superficiais ou severas nos caminhos das rodas na estrada superfície, ou ambos.

MEDIÇÃO

A seção transversal incorreta é medida em pés lineares por 100 pés de seção, desde a parte externa do ombro até a parte externa do ombro. Diferentes níveis de severidade podem existir dentro da unidade de amostra de 100 pés. Um máximo de 100 pés lineares pode ser medido.

14.9.2 Drenagem na estrada

DESCRIÇÃO

A drenagem deficiente faz com que a água entre nas sarjetas. Os problemas de drenagem ocorrem quando as valas e bueiros não estão em condições adequadas para direcionar adequadamente e transportar água de escoamento. Essa condição é evidenciada por valas cheias de detritos ou cheias de detritos, valas que não foram adequadamente moldadas ou mantidas, água correndo em toda a estrada ou por baixo, e áreas nas quais as valas começaram a corroer na estrada.

NÍVEIS DE SEVERIDADE

- L-pequenas quantidades de:
 - Umidade ou evidência de água em sarjeta, e
 - Supercrescimento ou detritos nas sarjetas.
- M-Quantidades moderadas de:
 - Poças de água ou evidências de água em sarjetas;
 - Crescimento excessivo e detritos nas sarjetas e
 - Evidência de erosão nas sarjetas, nos taludes ou na estrada.
- H-grandes quantidades de:
 - Poças de água ou evidência de água em sarjetas,
 - Água correndo em toda a estrada,
 - Crescimento excessivo e detritos em sarjetas e
 - Erosão de sarjeta, nos taludes, ou na estrada.

MEDIÇÃO

Os problemas de drenagem são medidos em pés lineares por seção de 60 cm paralela à linha central da estrada, a partir da quebra do talude externo perpendicular e afastado da estrada. É possível ter um máximo de 200 pés lineares de drenagem na estrada.

14.9.3 Corrugações

DESCRIÇÃO

A corrugação, também conhecida como washboarding, é uma série de sulcos e valas espaçadas em forma de costelas, que ocorrem em intervalos razoavelmente regulares. Os cumes são perpendiculares à direção do tráfego. Esse tipo de defeito geralmente é causado pela ação do tráfego e desagregação do material superficial da estrada. Essas cristas geralmente se formam em graus ou curvas, em áreas de aceleração ou desaceleração, ou em áreas nas quais a estrada é mole ou esburacada.

NÍVEIS DE SEVERIDADE

- L - Corrugações menos do que 1 polegada de profundidade, ou de baixa gravidade, ou ambos.
- M - Corrugações de 1 a 3 polegadas de profundidade, ou média severidade, ou ambos.
- H - Corrugações mais profundas do que 3 polegadas, de alta gravidade, ou ambos.

MEDIÇÃO

As corrugações são medida em pés quadrados de área de superfície por seção de 100 pés de comprimento. Não deve exceder a área total da seção de 10 pés de comprimento.

14.9.4 Poeira

DESCRIÇÃO

A ação abrasiva do tráfego em estradas não pavimentadas eventualmente solta as partículas agregadas maiores do aglutinante do solo. À medida que o tráfego

passa, as nuvens de poeira criam um perigo para a ultrapassagem ou passagem de veículos e causam problemas ambientais significativos.

NÍVEIS DE SEVERIDADE

O tráfego normal produz os seguintes níveis de gravidade:

- L - Poeira fina que não obstrui a visibilidade,
- M - Nuvem de poeira moderadamente espessa que obstrui parcialmente a visibilidade e faz com que o tráfego diminua, ou
- H - Uma nuvem muito espessa que se confunde obstrui a visibilidade e faz com que o tráfego diminua significativamente ou pare.

MEDIÇÃO

A poeira é medida dirigindo um veículo a cerca de 45 km/h e observando a nuvem de poeira; a poeira é estimada como fina, moderadamente grossa ou muito grossa. A poeira não é classificada por densidade. A gravidade do problema é determinada pelo tamanho da nuvem de poeira gerada pelo tráfego e pela redução na visibilidade causada pela poeira.

Os valores de dedução para os níveis de severidade são os seguintes: baixo - 2 pontos; médio - 5 pontos; alta - 15 pontos.

14.9.5 Buracos

DESCRIÇÃO

Os buracos são pequenas depressões em forma de tigela na superfície da estrada, que geralmente têm menos de 3 pés de diâmetro. Seu crescimento é acelerado pelo acúmulo de umidade livre dentro do buraco em dias chuvosos, ou mesmo em período seco por desagregação. Os buracos são produzidos quando o tráfego arranca pequenos pedaços da superfície da estrada. A estrada continua a

desintegrar-se devido ao afrouxamento do material da superfície ou a pontos fracos na base ou no subleito.

NÍVEIS DE SEVERIDADE

Os níveis de severidade para buracos abaixo de 3 pés de diâmetro são baseados tanto no diâmetro quanto na profundidade do buraco, de acordo com a Tabela 77.

Tabela 77 - Níveis de severidade para buracos nas estradas.

Profundidade máxima	Diâmetro médio			
	< 0,30m	0,31 a 0,60 m	0,61m a 0,91m	>0,91m
1 a 5 cm	Baixo	Baixo	Médio	Médio
5,1 a 10 cm	Baixo	Médio	Alto	Alto
> 10 cm	Médio	Alto	Alto	Alto

Eaton et al (1987).

Se o buraco tiver mais de 3 pés de diâmetro, a área deve ser determinada em pés quadrados e dividida por 5 pés quadrados para encontrar o número equivalente de buracos.

MEDIÇÃO

Os buracos são medidos pela contagem do número que é de baixa, média e alta gravidade em uma seção de 100 pés de comprimento e registrando-os separadamente por nível de severidade.

14.9.6 Sulcos

DESCRIÇÃO

Um sulco é uma depressão superficial no caminho dos pneus. O sulcos são causados por uma deformação permanente em qualquer uma das camadas da estrada ou subleito. Resulta de cargas de tráfego repetidas, especialmente quando a estrada é macia. Sulcos significativos podem levar a uma grande falha estrutural da estrada.

NÍVEIS DE SEVERIDADE

- L – Sulcos de menos que 1 polegada de profundidade, ou de baixa gravidade, ou ambos.
- M – Sulcos de 1 a 3 polegadas de profundidade, ou média-severidade, ou ambos.
- H - Sulcos mais profundos que 3 de profundidade, de alta severidade, ou ambos.

MEDIÇÃO

Os sulcos são medidos em pés quadrados de área de superfície em uma seção de 100 pés de comprimento. Os pés quadrados totais de sulcos não devem exceder a área total da seção de 100 pés de comprimento.

14.9.7 Perda de agregação

DESCRIÇÃO

A ação abrasiva do tráfego em estradas não pavimentadas eventualmente solta as partículas agregadas maiores do aglutinante do solo. Isto transporta as partículas

agregadas de base da superfície da estrada ou do acostamento. O tráfego move partículas desagregadas para longe do caminho normal dos pneus e forma cristas no centro ou ao longo do acostamento da pista ou área menos percorrida, paralelas ao eixo da estrada.

NÍVEIS DE SEVERIDADE

- L – Acostamento ou superfície da estrada desagregados, ou uma perda de agregação no acostamento ou superfície da estrada menos transitada de menos de 2 polegadas, ou ambos.
- M – Crista agregada moderada (2 a 4 polegadas) no acostamento ou área menos percorrida da estrada; excessivamente finas e geralmente encontradas na superfície da estrada.
- H - Larga crista agregada (maior que 4 polegadas) no acostamento ou área de estrada menos percorrida.

MEDIÇÃO

A desagregação é medida em pés lineares em uma seção de 60 m de comprimento paralela à linha central da estrada.

14.9.8 Inspeção e avaliação de estradas vicinais

Uma ficha de inspeção de estradas vicinais foi desenvolvida por Cruz (2005) (Figura 61) conforme descrito no trabalho de EATON et al (1987).

FICHA DE INSPEÇÃO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS								
1. Estrada		2. Trecho:			3. Data:			
4. Trechos Selecionados		5. Área do trecho:			6. Avaliador:			
7. Desenho				8. Tipos de defeitos 8.1. Seção Transversal Inadequada 8.2. Drenagem Lateral Inadequada 8.3. Corrugações / Ondulações 8.4. Poeira 8.5. Buracos 8.6. Trilhas de Rodas 8.7. Segregação de Agregados				
Quantidade e severidade dos defeitos								
Tipos		8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7
Quantidade e Severidade	B							
	M							
	A							
9. Cálculo do URCl								
Tipo de defeito	Densidade	Severidade	DV		10. Anotações			
Valor de dedução (TDV):		q =		URCl:	Classificação:			

Figura 61 - Ficha de inspeção de estradas vicinais. Fonte: Cruz (1987).

14.9.9 Monitoramento das obras de arte e sinalização

As obras de arte, principalmente pontes, valas de drenagem e bueiros das estradas, bem como a sinalização, necessitam de monitoramento periódico e permanente.

Pontes podem ter problemas na sua estrutura, erosão das alas e da borda de acesso da pista de rolamento, principalmente nas estradas de terra.

Bueiros são mais problemáticos do que pontes. Além da possibilidade de erosão nas bordas e alas, a perda de material acima do bueiro pode ser causa de rachaduras e deslocamento de manilhas, o que pode causar infiltração e erosão externa ao longo das manilhas. Soma-se a isso a possibilidade de obstrução do bueiro por assoreamento. É recomendável que acima do bueiro seja mantida uma camada de material com espessura superior a 1,5 vezes o diâmetro do bueiro. Locais de solo úmido ou muito argiloso na base do bueiro, podem facilitar a deformação da base e provocar o deslocamento de manilhas, permitindo infiltração que pode destruir o bueiro sem que seja percebido. Inspeções cuidadosas e regulares podem evidenciar a necessidade de reforma de bueiros antes que a estrada seja interrompida numa época de chuvas.

As valetas de drenagem podem ser assoreadas, acumular detritos que facilitam o crescimento de vegetação interrompendo o fluxo da água que irá para fora causando erosão nas laterais da vala. Também podem apresentar rachaduras que facilitem a infiltração de água. Quando construídas somente abrindo sulcos no solo, podem ser erodidas ao longo do tempo, necessitando de obras de contenção. As valetas de saída de bueiros muitas vezes são construídas de forma a reduzir a velocidade da água, mas na saída para o terreno, podem apresentar erosão que aos poucos solapa a calha de alvenaria, destruindo-a.

A sinalização se deteriora com o tempo e sofre depredação por transeuntes, devendo ser monitorada e substituída constantemente, para garantir segurança nas estradas.

14.10 Monitoramento de pragas e doenças

Pragas e doenças são cada vez mais difundidas no cultivo florestal. O seu monitoramento constante é uma necessidade sem questionamentos.

O monitoramento pode ser realizado a partir do terreno, à semelhança do monitoramento de formigas, ou a partir do ar e espaço.

Imagens de satélite facilitam observar manchas na vegetação, cujo espectro pode ser correlacionado com algum tipo de praga ou doença, entretanto, a resolução das imagens obtidas não é suficiente para realizar afirmações categóricas, por outro lado, é possível obter imagens de altíssima resolução com o uso de drones.

O uso de drones é cada vez maior no monitoramento das florestas cultivadas e de proteção. Drones podem ser utilizados para identificar o tipo de espécie que está acometendo a floresta de forma detalhada devido a alta resolução das imagens que se pode obter.

Há épocas de extremos climáticos que são mais problemáticos quanto a pragas e doenças, enquanto outras nem tanto. A frequência do monitoramento deve ser regulada para cada caso, à medida que se obtém mais dados e experiência.

14.11 Monitoramento de incêndios florestais

O monitoramento tradicional de incêndios é realizado por meio de torres de observação com câmeras que transmitem imagens em tempo real. No passado, quando não existiam câmeras digitais, isso era realizado por pessoas que

permaneciam no topo das torres durante as horas de maior perigo de início de incêndios (geralmente entre 9 horas da manhã e 18 horas da tarde).

São necessárias três torres estrategicamente colocadas em pontos altos do terreno para fazer o cruzamento dos ângulos e determinar as coordenadas de um foco de incêndio. A distância das torres deve ser calculada em função da altura das câmeras e de seu alcance de visão, dispondo-as de forma que qualquer ponto de toda a floresta seja visualizado por três torres ao mesmo tempo.

Os sistemas de controle de incêndio geralmente incluem bombeiros com todo o equipamento de combate necessário, incluindo veículos, máquinas e ferramentas, complementados por milícias treinadas no auxílio ao combate e suporte aos combatentes, incluindo ambulâncias, equipamentos e medicamentos de primeiros socorros a pessoas acometidas por queimaduras e acidentes no campo ao combater incêndios.

15 GESTÃO DOS ESPAÇOS FLORESTAIS

Cada vez mais as tecnologias de sistemas de informação geográfica são utilizadas na avaliação e monitoramento dos recursos florestais (PERSSON E JANZ, 2010) . O mapeamento, monitoramento e gestão de espaços florestais é realizado utilizando tecnologias associadas ao mapeamento terrestre e auxiliada por satélites e *drones*. A palavra inglesa *drone* significa zumbido.

O mapeamento terrestre ainda se mantém como o mais preciso, mas a tecnologia com veículos aéreos não tripulados (VANT) vem avançando pode-se prever que os levantamentos topográficos irão cair em desuso, assim como os teodolitos analógicos do passado. Um drone é uma aeronave não tripulada, formalmente conhecido como veículo aéreo não tripulado (VANT). Um drone é um robô voador, que pode ser controlado remotamente ou pode voar de forma autônoma por meio de planos de voos controlados por software em sistemas embarcados, trabalhando em conjunto com sensores a bordo e GPS.

As imagens de satélite apresentam resolução de até 0,5 metros por pixel e os drones podem fornecer imagens com resolução milimétrica. Os sensores de satélites são mais sofisticados permitindo avaliar uma infinidade de ocorrências tanto no solo quanto na vegetação.

As imagens de alta resolução dos drones permitem a execução de inventários florestais, identificação de áreas afetadas por doenças, pragas e catástrofes ambientais, manchas de solo com problemas diversos, erosões, acompanhamento e vistoria de operações florestais, identificação de problemas ambientais, identificação de áreas degradadas e acompanhamento de áreas de recuperação ambiental, entre outros.

15.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sistemas de Processamento de Imagem

Um Sistema de Informações Geográficas é um sistema assistido por computador para o armazenamento digital de mapas e com dados tabulares associados a recursos de mapeamento, que facilitam produzir mapas personalizados, realizar consultas especializadas ao banco de dados, analisar relacionamentos complexos, aplicar modelos e auxiliar na tomada de decisão. Os Sistemas de Informação Geográfica para manejo florestal podem ser classificados em duas categorias:

1. inventário de recursos e monitoramento;
2. análise, modelagem e previsão para tomada de decisões.

O desenvolvimento de um SIG para o manejo florestal deveria incorporar as atividade em dois estágios distintos de desenvolvimento (CRAIN e MACDONALD 1983).

A entrada de dados espaciais, edição e mapas simples caracterizam o estágio de inventário e monitoramento. Na fase de modelagem, as sobreposições, reclassificações e análises de adequação são parte do processo de tomada de decisão. Os limites entre essas categorias de atividades não são distintos. O monitoramento também inclui componentes analíticos para avaliar a mudança ou o resultado de intervenções específicas (McKENDRY et al, 1995).

As principais fontes de dados que alimentam um SIG na área florestal são:

- Mapas (digitalizados manualmente ou através de "scanners");
- Produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas, imagens de satélite, videografia);
- Inventários florestais;
- Cadastros florestais;

- Levantamento de solos;
- Custos, simulação e programação linear; e
- GPS (Global Positioning System).

Um sistema de processamento de imagem é projetado para o aprimoramento assistido por computador e para a interpretação de imagens de sensoriamento remoto. Com o advento dos sistemas de satélites com imagens de alta resolução orientados a recursos naturais, foram desenvolvidas técnicas de processamento de imagens para converter imagens em mapas classificados. Os procedimentos analíticos dos Sistemas de Processamento de Imagens apresentam consistência, precisão e velocidade, auxiliando significativamente no desenvolvimento de mapas temáticos como cobertura vegetal e solos.

Muitos pacotes de software oferecem ambos recursos: GIS e Processamento de Imagens, sendo tecnologias complementares e tratadas em conjunto, na atualidade, como partes de um só sistema.

As atividades de avaliação de recursos incluem: 1) inventariar os recursos florestais disponíveis para fins de colheita, combustível, alimentos, recreação ou conservação, juntamente com dados relacionados como topografia, solos, estradas e hidrologia, 2) monitorar mudanças que ocorrem nesses recursos ao longo do tempo e 3) avaliar a produtividade potencial da terra para os tipos de florestas, considerando certos fatores biofísicos e climáticos. É na avaliação de recursos florestais que outras tecnologias relacionadas a sistemas de SIG, sensoriamento remoto e posicionamento global fazem contribuições diretas e substanciais (McKENDRY et al, 1995).

McKendry et al (1995) relacionam como principais aplicações em conjunto das duas tecnologias, na área florestal, as seguintes:

- Avaliação de Recursos
 - Inventário
-

- Monitoramento
 - Desmatamento
 - Danos causados pela poluição e pragas
 - Avaliação de adequabilidade e produtividade
- Gestão de recursos
- Colheita de madeira
 - Suprimentos de madeira para combustível
 - Gerenciamento de incêndios
 - Gerenciamento de vários recursos

De acordo com McKendry et al (1995), o papel do SIG na silvicultura pode ser entendido como

1. As aplicações GIS podem se beneficiar fortemente das tecnologias de sensoriamento remoto e processamento de imagens. As florestas são conjuntos complexos de espécies que se prestam bem ao inventário de amplo nível por meio do sensoriamento remoto. No entanto, a necessidade de uma forte verdade sobre o solo continua a ser primordial e é provável que os sistemas de posicionamento por satélite (como o GPS) desempenhem um papel importante no aumento das atividades tradicionais de levantamento florestal.

2. As florestas são um recurso dinâmico, afetado por muitos processos ecológicos concorrentes e intervenções diretas de manejo. A modelagem de simulação tem sido aplicada na silvicultura em um grau que é substancialmente mais alto do que em muitas outras disciplinas. Simulação ou modelagem de processos é uma das áreas mais desafiadoras das aplicações GIS e é provável que esta atividade aumente à medida que a pesquisa e as ferramentas para suportar esse tipo de aplicação se tornem mais prevalentes.

3. É claro que, em todo o mundo, as florestas estão sujeitas a muitas demandas. Como resultado, muitos problemas de manejo florestal têm a natureza de procedimentos de planejamento multiobjetivo. Infelizmente, o GIS não está bem desenvolvido para o planejamento multi-objetivo. Ferramentas mais fortes são necessárias para a resolução analítica de adequações conflitantes e escolhas na alocação de recursos.

Em certo sentido, aplicações florestais incorporam o escopo completo da tecnologia GIS. Assim, seu estudo fornece uma excelente visão geral do estado da tecnologia e seu potencial como uma ferramenta de gerenciamento para preocupações com recursos naturais (McKENDRY et al, 1995).

15.2 Uso da tecnologia LiDAR na área florestal

O LiDAR (Light Detection and Ranging) é um escaner remoto a laser com fonte de energia própria, que emite feixes de laser na banda do infravermelho próximo associado à tecnologia de posicionamento global, sendo capaz de modelar superfícies de forma tridimensional e posicionamento preciso. O “Ranging” do LiDAR significa a distância de algo a ser localizado de algum ponto de operação, ou seja, LiDAR é a detecção de objetos por meio de um feixe de laser remoto, associado a sistemas de posicionamento global (GPS).

Algumas de suas primeiras aplicações foram no âmbito florestal. O feixe de laser pulsado pelo LiDAR penetra na floresta como a luz solar, alcançando diferentes níveis de penetração em cada pulso até chegar ao solo, criando imagens 3d da superfície e do que está acima dela. O LiDAR possibilita estimativas de variáveis dendrométricas e florestais, como: diâmetro, altura, dimensões das copas, volume, biomassa aérea e espessura da manta florestal.

A tecnologia possibilita criar modelos digitais do terreno sem cobertura e da cobertura como florestas, árvores. Também pode ser utilizado no nível do solo, para modelar objetos, como as próprias árvores. Tem sido usado para realizar levantamentos topográficos tridimensionais e para caracterizar a estrutura da vegetação de forma rápida e com alta precisão. Empresas de ponta no Brasil estão começando a utilizar o LiDAR para substituir muitas tarefas que eram realizadas diretamente no campo, como o mapeamento, acompanhamento da formação de novos plantios e reforma de povoamentos, detecção de doenças e pragas e, inclusive, em inventários florestais, monitorando a evolução das plantações.

16 REFERÊNCIAS

ABNT. Interpretação NBR ISO 14001 (1996). Rio de Janeiro: ABNT-Cb-38/Sc- 01/Grupo de Interpretação, Jul./2001.

ABNT. NBR 14789: Manejo Florestal – Princípios, critérios e indicadores para plantações florestais. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. NBR ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental - Especificação e Diretrizes para Uso:. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT. NBR ISO 14004: Sistemas de gestão ambiental – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio. Rio de Janeiro, 1996a.

ABNT. NBR ISO 14010: Diretrizes para auditoria ambiental – Princípios gerais. Rio de Janeiro, 1996b.

ABREU, J. C. et al. Estrutura e distribuição espacial de andirobeiras (*Carapa spp.*) em floresta de várzea do estuário amazônico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 1009-1019, dezembro/ 2014.

AMARAL, W. A. N. **Recursos Florestais em Propriedades Agrícolas: Seleção de Espécies/Procedências e Clones.** [Piracicaba]: ESALQ/USP, 2016.

ASSMANN, E. **The principle of forest yield study.** [Oxford]: Pergamon press, 1970. 506 p.

BAKER, F. S. **Principles of silviculture.** New York: McGraw Hill, 1950.

BARROS, R. S. M. **Medidas de diversidade biológica.** Juiz de Fora UFJF/PGECOL, 2007. 13 p.

BERTOLOTI, G.; SIMÕES, J. W.; NICOLIELO, N.; GARNICA, J. B. Efeitos de diferentes métodos e intensidades de Desbaste na produtividade de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. **IPEF**, n.24, p.47-54, ago-1983.

BHAMIDIPATI, N. L. **Rényi Entropy.** [s.l.]: MathWorld--A Wolfram Web Resource. Disponível em: <<http://mathworld.wolfram.com/RenyiEntropy.html>>. Acesso em 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

BRAUM-BLANQUET, J. **Fitosociologia**: bases para el estudio de las comunidades vegetales. Madrid: H. Blume, 1979. 820 p.

BURGER, H. A estrutura da copa de populações de coníferas equiâneas. Mitt, Suíça: **Anst. f. d. forstl.**versículo 21, p.5-58, 1939.

BUSSAB, W.O. Análise de variância e de regressão. São Paulo: Atual, 1986. 147 p.

CARVALHO, A.M. **Valorização da madeira do híbrido Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. Dissertação (Mestrado em Eng^a Florestal) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

CARVALHO, D.L.; LIMA, A.V. Metodologias para Avaliação de Impactos Ambientais de Aproveitamentos Hidrelétricos. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, Porto Alegre. 2010.

CARVALHO, H.M. de. **A Metodologia do Processo Decisório. Linhares**: Curso de pós-graduação em Administração Estratégica de Recursos Humanos, FACCL, 1997a.

CARVALHO, L.A. O planejamento das estradas. **Revista Opiniões** - Divisão F, Ribeirão Preto, a.13, n.43, P.11-12, mar-mai/2016.

CARVALHO, P.H.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ / Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 640 p.

CHIARADIA, T. ISO 14001- Sistema de Gestão Ambiental. IN: SEMINÁRIO ALSTON, Itajubá, Alston Brasil, 2001.

COELHO, V.C.M.C.; HOSOKAWA, R.T. Avaliação da reação de crescimento aos desbastes em Pinus taeda L. **Agroambiente**, UFR, Boa Vista-RR, v.4, p.42-48, jan-jun/2010.

CONTRERAS, M.A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, v.262, n.11, p.1939-1949, 2011.

COPEL. Características importantes para uma boa integração das árvores com o meio ambiente urbano. Curitiba, 23/04/2009. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf>>

CRAIN, I.K.; MACDONALD, C.L.. From land inventory to land management: the evolution of an operational GIS. *IN: AUTOMATED CARTOGRAPHY: INTERNATIONAL PERSPECTIVES ON ACHIEVEMENTS AND CHALLENGES*, Vol. 1, B.S. Weller, ed. Ottawa: Steering Committee for the Sixth International Symposium on Automated Cartography, p.41-50, 1983.

CRUZ, A.V. **Estradas vicinais: abordagem pedológica, geotécnica, geométrica e de serventia de dois trechos rodoviários não pavimentados no campos da UFV-MG**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, 2005.

DANSEREAU, P. Os planos da biogeografia. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, IBGE, v.8, n.2, p.189-210, abr-jun/1946.

DOSSA, D. et al. **Aplicativo com análise de rentabilidade para sistemas de produção de florestas cultivadas e de grãos**. Colombo: Embrapa Florestas, Documentos 39, 2000.

EATON, R.A.; GERARD, S.; DATILO, R.S. A Method for Rating unsurfaced Roads. **Transportation Research Record**, n.1106, p.34-43, agosto-1987.

EXPRESSIVA. Site da revista. Disponível em: <<http://www.revistaexpressiva.com.br/>>. Acesso em: 31/07/2005.

FAO. **Global forest resources assessment 2010: terms and definitions**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations - Forestry Department, Forest Resources Assessment Programme, Working paper 144/E, 2010.

FARO, C. **Elementos de Engenharia Econômica**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1979. 328 p.

FERREIRA, J.P. **Análise da cadeia produtiva e estrutura de custos do setor brasileiro de produtos resinosos**. 2001. 92f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FERREIRA, M. **Escolha de espécies arbóreas para formação de maciços florestais**. Piracicaba: IPEF. Documentos Florestais. n.7, p1 –15, jan. 1990.

FERREIRA, M. Escolha de Espécies de Eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, v.47, p.1-30, 1979.

FLORIANO, E.P. **Inventário e prognose de produção florestal da empresa Todesflor em Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul**. Cachoeira do Sul: Ambiente Inteiro, 2006.

GARCÍA, O. **Notes on forest mensuration**. Prince George, BC, Canadá: UNBC/IFM, 2004.

GARCIA, P. O.; LOBO-FARIA, P. C. **Metodologias para Levantamentos da Biodiversidade Brasileira**. Juiz de Fora: UFJF/PEGCOL, [2007]. 22p.

GENNIA NEWS. Desenhos de árvores. Disponível em: <<http://genniartist.blogspot.com/2016/05/desenhos-de-arvores.html>>. Acesso em: 2018.

GIBSON, M. D.; CLASON, T. R.; HILL, G. L.; GROZDITS, G. A. Influence of thinning and pruning on southern pine veneer quality. In: ELEVENTH BIENNIAL SOUTHERN SILVICULTURAL RESEARCH CONFERENCE, Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, Athens-GA, nov. 14, 2001. p. 163-167.

GRIMALDI, R.; MANCUSO, J.H. **Qualidade Total**. Fascículo 6. São Paulo: SEBRAE-FOLHA, 17/04/1994.

GROBER, U. Von Kursachsen Nach Rio - Ein Lebensbild über den Erfinder der Nachhaltigkeit Hannß Carl Edler von Carlowitz und die Wegbeschreibung eines Konzeptes - aus der Silberstadt Freiberg. Disponível em: <http://www.forschungsheim.de/fachstelle/arb_carl.htm>. Acesso em: 05/11/2002.

HENRIQUES, R. P. B. et al. **Métodos de campo em ecologia: projetos de pesquisa produzidos no sétimo curso**. BRASÍLIA: UNB, 1996.

HORTA, J.C.O.S. Rehabilitation and Upgrading Design of Earth and Gravel Roads in Tropical Developing Countries. **Transportation Research Record**, Washington , n.1291, p.215-223, 1991.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3th ed. New York: John Wiley e Sons, 1982. 401 p.

IAMAZON. Floresta para Sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia. Disponível em: <<http://amazon.org.br/floresta-para-sempre-um-manual-para-a-producao-de-madeira-na-amazonia/>>. Acesso em: 05/10/2018.

IBÁ. Relatório 2017. Brasília: Indústria Brasileira de Árvores, 2017. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>.

IBA. Site institucional da Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: <<https://www.iba.org/>>. Acesso em: 2018.

IBGE. Projeto levantamento e classificação da cobertura e uso da terra: Estudo retrospectivo das características fitossociológicas e do potencial florestal do Estado do Pará. Rio de Janeiro, 2007. 117 p.

IB-USP. Sucessão ecológica. [São Paulo]: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.ib.usp.br/ecologia/sucessao_ecologica_print.htm>. Acesso em: 2009.

IDEIA. Curso de Avaliação de Impacto Ambiental – exame e avaliação de aspectos ambientais e seus impactos. Porto Alegre: IDEIA/CREA, 2002.

IMANÃ, J. E.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações técnicas florestais**, Brasília, UFB, Departamento de Engenharia Florestal, v.7, n.1, 2005. ISSN 1517-1922. 43p.

IMAÑA, J.E.; SILVA, G.F.; TICCHETTI, I. Variáveis dendrométricas. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, UNB-Faculdade de Tecnologia-DEF, v.4, n.1, outubro de 2002.

ISO. ISO 31.000 - Risk management: principles and guidelines. Gênova, 2009.

IU. Testing normality using SAS, STATA, and SPSS. Indiana: Indiana University – IU, UITS - Center for Statistical and Mathematical Computing. Disponível em: <<http://www.indiana.edu/~statmath>>. Acesso em: 15/maio/2004.

JOHNSTON, D. R.; GRAYSON, A. J.; BRADLEY, R. T. **Planeamento florestal**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1977.

KRAJICEK, J.E.; BRINKMAN, K.A.; GINGRICH, S.F. Crown competition factor, a measure of density. **Forest Science**, v.7, n.1, p.35-42, 1961.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.

LAAR, A.; AKÇA, A. **Forest Mensuration**. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2007.

LIMA, I. L. P.; SCARLOT. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável da Mangaba**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**, Vol. II. Reinbek: Forest Inventory Section, Federal Research Organization for Forestry and Forest Products, 1973. 469 p.

LOPES, F. S.; WIPIESKI, C. J. **Termelétricas: uma nova oportunidade de negócios na indústria madeireira**. Curitiba: STCP, inf. n.5, p.16-18, 2001.

MACHADO, S. A.; MELLO, J. M. de; BARROS D.A. de. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o pinheiro do Paraná, na região sul do Brasil. **Cerne**, v.6, n.2, . p. 055-066, 2004.

MALEKI, K.; KIVISTE, A.; KORJUS, H. Analysis of Individual Tree Competition Effect on Diameter Growth of Silver Birch in Estonia. **Forest Systems**, v.24, 2ed.; e023, 13p., agosto de 2015.

MATTEUCCI, S.D.; COLMA, A. **Metodologia para el estudio de la vegetacion**. Washington: O.E.A., 1982, 182 p.

McKENDRY J.E., EASTMAN J.R., ST. MARTIN K. AND FULK M.A. **Explorations in Geographical Information Systems Technology**, UNEP/UNITAR, Clark University, Worcester, 1995.

MIRSHAWKA, V. **A implantação da Qualidade e da produtividade pelo método do DR. Deming**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

MOHR, R. R. **Failure Modes and Effects Analysis**. 8ª ed. St. Louis (USA): Jacobs Sverdrup, fev. 2002.

MOORHEAD, D. J.; DANGERFIELD, C. W. **Intensive forest management 2**. Tifton: The University of Georgia, College of Agricultural and Environmental Sciences and Warnell School of Forest Resources, 1998.

MÜLLER, I. **Forma de tronco e sortimentos de madeira para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden., manejado em alto fuste, na Região Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, 2004.

NAJBERG, S.; PEREIRA, R. de O. **Empregos gerados por aumento de produção de R\$ 10 milhões**. Rio de Janeiro: Sinopse Econômica, n.133, BNDES, mar./2004. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/publicacoes/catalogo/sinopse.asp>>. Acesso em: 28/05/2005.

NEMEC, A. F. L. Analysis of repeated measures and time series: an introduction with forestry examples. **Biom. Inf. Handb.** 6. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work. Pap. 15/1996. 90 p.

NEVES, G. A.; MARTINS, C. A.; MIYASAVA, J.; MOURA, A. F. **Análise econômico-financeira da exploração de Pinus resinífero em pequenos módulos rurais**. Monografia de especialização em Agribusiness FEA/FIA/USP, Sorocaba, 2001.

NEWMAN, D.H. **The optimal forest rotation: a discussion and annotated bibliography**. Asheville, NC: U.S.D.A.-FS, Southeastern Forest Experiment Station, Gen. Tech. Rep. SE-48, 1988.

NEWTON, A. C. **Forest ecology and conservation: a handbook of techniques**. Oxford: Oxford University Press, 2007. 454 p.

OLIVEIRA, T. Risco e gestão florestal: uma oportunidade para eficiência. IN: V ENCONTRO NACIONAL, I CONGRESSO INTERNACIONAL DE RISCOS, Coimbra - 29/5/2009.

ORMOND, J. G. P. **Glossário de Termos Usados em Atividades Agropecuárias, Florestais e Ciências Ambientais**, 3 ed. Rio de Janeiro: BNDES, 2006.

PAMPLONA, E. de O.; MONTEVECHI, José A. B. **Engenharia econômica I**. Itajubá: UNIFEI/IEM, 1999.

PAYANDEH, B. Comparison of method for assessing spatial distribution of trees. **Forest Science**, v. 16, n. 3, p. 312-317, 1970.

PERSSON, R.; JANZ, K.. Assessment and monitoring of forest and tree resources. **Forest resources assessment**, [Roma], FAO, p. 16-29, 2000.

PIELOU, E.C. *Mathematical ecology*. New York: Wiley, 1977. 385 p. MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation Ecology**. New York: Wiley, 1975. 547p.

PRODAN, M. **Mensura forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997. 562 p.

REZENDE, J. L. P. **Curso de análise econômica de projetos florestais**. Santa Maria: PPGEF/UFSM, 2005.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: UVF, 2001.

RIBEIRO, A. et al. Estrutura da distribuição diamétrica em plantio experimental de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 1055-1065, dez./2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982014000401055&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 30/09/2018.

RODRIGUES, J. R. Roteiro para apresentação de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. In: Verdum Roberto & Medeiros, Rosa M. V. (Org.). RIMA, Relatório de Impacto Ambiental: Legislação, elaboração e resultados, 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

ROSA, S.L. **Passos metodológicos para o uso corrente de matriz de impactos na avaliação de projetos complexos**. São Paulo: Octa Consultoria e Planejamento, Série Fascículos OCTA, nº 13, 1993.

SALOMON, M. J.; EDIN, O. **Análises de projetos**, 3. ed. Rio de Janeiro, 1967. 324 p.

SAS. A simple regression model with correction of heterocedasticity. Cary: SAS Institute, 2004.

SAS. The SAS System for Window - release 8.02. Cary: SAS Institute, 2001.

SCHILLING, A. C. **Influência da desrama sobre a qualidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, UFSM, Santa Maria, 1996. 73 p.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998. 236 p.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 1993.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C.A. G.; HOPPE, J. M. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm., implantado em solo pobre, no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, 1999. p. 35-46.

SCHNEIDER, P.R. **Manejo Florestal**: planejamento da produção florestal. Santa Maria: UFSM, CCR, DCF, CEPEF, 2002.

SCHULTE, B. et al. **SouthPro - a computer program for managing uneven-aged loblolly pine stands**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-112, 1998. 47p.

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. **Cerne**, v.4, n.1, 1998. p. 100-122.

SFB. Produção Florestal. **Boletim SNIF**, Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, 2ed., v.2, 2016.

SILVEIRA, B.D.; FLORIANO, E.P.; NAKAJIMA, N.Y.; HOSOKAWA, R.T.; ROSSOT, N.C.; GRACIOLI, C.R. Relação da morfometria e competição com o crescimento de *Trichilia clausenii* em um fragmento de floresta semidecidual, RS. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p.373-382, abr./jun, 2015.

SILVESTRE, R.; BONAZZA, M.; STANG, M.; LIMA, G.C.P.; KOEPEL, D.A.; MARCO, F.T.; CIARNOSCHI, L.D.; SCARIOT, R.; MORÉS, D.F. Equações volumétricas em povoamentos de *Pinus taeda* L. no Município de Lages-SC. **Nativa**, Sinop, v. 02, n. 01, p. 01-05, jan./mar. 2014.

SIT, V. **Catalog of curves for curve fitting**. Victoria, Canada, B.C.: Ministry of Forests, Forest Science Research Branch, Biometrics information handbook series, ISSN 1183-9759-no.4, 1994. 110 p.

SNIF. **Recursos florestais**: as florestas plantadas. Serviço Nacional de Informações Florestais, 2018. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>. Acesso em: 2018.

SOARES, S.R. **EIA-RIMA/Licenciamento - Ciclo de vida / Ganhos ambientais / Avaliação de sistemas - Parte 10**. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de pós-graduação em engenharia ambiental, 2002-b. Disponível em: <http://www.ens.ufsc.br/~soares>. Acesso em: 23/nov/2002.

SOARES, S.R. **Exemplo de matriz para avaliação de significância de impactos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002-b. Disponível em: <http://www.ens.ufsc.br/~soares> . Acesso em: 23/jan/2003.

SOARES, S.R. **Indicadores Ambientais – Rotulagem Ambiental**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002. Disponível em: <http://www.ens.ufsc.br/~soares> . Acesso em: 23/jan/2003.

SOARES, S.R. **Sistema de gestão ambiental**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, ENS 5125 - Gestão e Planejamento Ambiental, Aulas 06, 07 e 08, 2002-a. Disponível em: <http://www.ens.ufsc.br/~soares>. Acesso em: 23/jan/ 2003.

SOARES, T. S. et al. Avaliação econômica de plantações de *Eucalyptus* submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, v.27, n.4, p.481-486, Viçosa, jul-ago/2003.

SOARES, Thelma S. **Otimização do uso da madeira em povoamentos de eucalipto**. Viçosa, 2002. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, UFV, Viçosa, 2002-c.

STORCK, L.; LOPES, S. J. **Experimentação II**. Santa Maria: UFSM, CCR/Dep. Fitotecnia, 1998. 205 p.

TARGET. **Manejo de florestas sustentáveis** - NBR 14789: Os princípios, critérios e indicadores para plantações florestais. São Paulo: Target Engenharia e Consultoria, 2012. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtosolucoes/solucoes/Solucoes.aspx?pp=27&c=2925>>. Acesso em: 29/09/2013.

TOMÉ, M. **Inventariação dos recursos florestais**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa / ISA / GIMREF, Textos pedagógicos, n. 1, 2002.

UBIALLI, J. A. **Comparação de métodos e processos de amostragem para estudos fitossociológicos e estimativas de estoque de uma floresta ecotonal na região norte matogrossense**. Tese (Doutorado) – UFPR/PPGEF, Curitiba, 2007. 241 f.

UFSM/SEMA-RS. Inventário florestal contínuo - RS. [Santa Maria]: UFSM, SEMA-RS, 2003. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/>>. Acesso em: 07/11/2003.

VANCLAY, J. Review of Competition Indices: What have we learned, where should we use them and what additional research is required? - IN:IUFRO CENTENNIAL MEETING, Eberswalde - Berlin, 31 August - 6 September 1992.

WARNER, A. Pruning. **Private Forests Tasmania**, [Hobart], Technical Information Sheet N° 20, March 1997.

WEST, P.W. **Tree and Forest Measurement**, 2 ed. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.

WILLIAMS, M. R. W. **Decision-making in forest management**, 2nd ed. Great Yarmouth: Research Studies Press/John Wiley & Sons, 1988.

WILSON, F.G. Numerical Expression of Stocking in Terms of Height. **Journal of Forestry**, Washington, v.44, n.10, p.758-761, October-1946.

WONNACOTT, T. H.; WONNACOTT, R. J. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980. 589 p.

WYCOFF, W. R. et al. **User's guide to the stand prognosis model**.. Ogden, UT: Intermountain Forest and Range Experiment Station, FS-USDA, GTR. INT-133, 1982. 112 p.

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-918170-4-7



9 788591 817047