

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉ LUIS DOS SANTOS

USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NA IDENTIFICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
ÓTIMAS DE REGULAÇÃO FLORESTAL CONSIDERANDO MIX DE CONSUMO

CURITIBA

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉ LUIS DOS SANTOS

USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NA IDENTIFICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
ÓTIMAS DE REGULAÇÃO FLORESTAL CONSIDERANDO MIX DE CONSUMO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce.
Co-orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

CURITIBA

2012

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Santos, André Luis dos

Uso da programação linear na identificação de estratégias ótimas de regulação florestal considerando mix de consumo / André Luis dos Santos. – 2012

88 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Coorientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 09/04/2012.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Manejo florestal – Processo decisório. 2. Manejo florestal – Programação linear. 3. Processo decisório por critério múltiplo. 4. Teses. I. Arce, Julio Eduardo. II. Figueiredo Filho, Afonso. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.92

CDU – 634.0.61

A Deus e à minha família,
Dedico

BIOGRAFIA

André Luis dos Santos, filho de Luiz Alberto dos Santos e Maria Cristina Cravalheiro dos Santos, nasceu em Guarapuava, Paraná, Brasil, no dia 27 de Maio de 1979. Iniciou seus estudos de graduação na Universidade Estadual do Centro-oeste em Irati-PR. Em 2003 graduou-se como Engenheiro Florestal. Em 2004 atuou como consultor florestal na Manasa Madeireira Nacional S/A trabalhando com manejo integrado de pragas florestais. No mesmo ano atuou como engenheiro florestal na empresa Compensados Fauna Brazil LTDA. Em 2005 ingressou na empresa Melhoramentos Florestal S/A onde iniciou como responsável pela Supervisão Florestal de atividades de inventário florestal, silvicultura, colheita e cartografia. Entre 2008 e 2010 realizou o Curso de Pós-graduação pela Universidade Federal de Viçosa onde recebeu o título de Especialista em Tecnologia de Celulose e Papel na área de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta de suporte ao manejo florestal. Em 2010, ingressou no Programa de Pós-graduação *stricto sensu* pela Universidade Federal do Paraná para desenvolver sua dissertação de mestrado na área de concentração Manejo Florestal. No mesmo ano foi promovido a Coordenador de Desenvolvimento Florestal responsável por todas as atividades florestais da empresa. Em 2011, após a Melhoramentos Florestal S/A obter a Certificação FSC – (Forest Stewardship Council), desligou-se da empresa e criou a **DendroTech Consultoria, Engenharia e Projetos Florestais**, empresa com a qual vem prestando serviços de excelência na área florestal.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Julio Eduardo Arce por ter aceitado me orientar neste trabalho e pelo apoio incondicional em todos os momentos e circunstâncias.

Ao Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho pelas valiosíssimas orientações recebidas ao longo de toda minha vida profissional.

À empresa Melhoramentos Florestal S/A, em nome de Fernando Cassimiro da Silva e Sérgio Sesiki por terem colaborado com as minhas idas e vindas durante o cumprimento dos créditos.

RESUMO

No presente trabalho é demonstrado o uso da programação linear como ferramenta de auxílio na tomada de decisões relacionadas ao planejamento estratégico de abastecimento industrial, levando em consideração um complexo mix de consumo de espécies florestais, sustentabilidade da produção de madeira, atendimento aos padrões de certificação FSC (*Forest Stewardship Council*) e regulação florestal ao longo de um horizonte de planejamento de 20 anos. O trabalho foi desenvolvido nas áreas florestais da empresa Melhoramentos Florestal S/A. Usando dados de inventário florestal, foi realizada a classificação de sítios florestais e foram ajustados modelos de crescimento e produção para as principais espécies manejadas, simulando-se diversos cenários com o objetivo de maximizar a produção de madeira respeitando restrições de atendimento da demanda de madeira, mix de consumo de espécies florestais, limitações operacionais de plantio, percentual mínimo de madeira certificada, limites de transferência entre unidades florestais e regulação florestal ao longo do horizonte de planejamento. Os cenários foram simulados no Software de Planejamento Florestal Estratégico Otimizado OpTimber-LP. Os resultados mostram que a programação linear tem, na sua aplicação, um grande potencial na resolução de problemas complexos que envolvem um grande número de variáveis auxiliando na tomada de decisões que buscam resultados otimizados ao longo do tempo. O Software OpTimber-LP demonstra uma interface amigável, de simples assimilação e treinamento, bem como facilidade na exportação dos resultados para planilhas eletrônicas.

Palavras-chave: Planejamento florestal. Programação linear. Mix de consumo.

Processo decisório.

ABSTRACT

The present study demonstrated the use of linear programming as a tool to aid in decision making related to strategic planning of industrial supply taking into account a complex mix of consumption of forest species, sustainability of wood production, meeting the standards of FSC (Forest Stewardship Council) and forest regulation over a planning horizon of 20 years. The study was conducted in the forest areas of the Melhoramentos Florestal S/A. Through the forest inventory data, we performed a classification of forest sites, adjusted for growth and yield models for key managed species and simulate different scenarios in order to maximize timber production on restrictions of timber demand, consumption mix of forest species, operational limitation of planting, minimum percentage of certified wood, transfer limits between forest units and forest regulation over the planning horizon. The scenarios were simulated in the Software of Forest Strategic Optimized Planning OpTimber-LP. The results showed that linear programming has, in its application, a great potential in solving complex problems involving a large number of variables helping very significant decision-making that seek optimal results over time. Software OpTimber-LP showed a very user friendly interface, simple handling, and easy export of results to spreadsheets.

Key-words: Forest planning. Linear programming. Mix of consumption. Decision-making process.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Localização das unidades Caieiras e Santa Marina nos municípios de Caieiras e Bragança Paulista respectivamente.	23
FIGURA 2 – Localização da unidade Levantina no município de Camanducaia.	24
FIGURA 3 – Classes de clima úmido das três unidades florestais.	25
FIGURA 4 – Classes de clima seco das três unidades florestais.	25
FIGURA 5 – Distribuição das unidades florestais por tipo de solo.	26
FIGURA 6 – Localização da unidade Caieiras na região metropolitana de São Paulo.	27
FIGURA 7 – Composição das espécies florestais da unidade Caieiras.	28
FIGURA 8 – Distribuição da área plantada por ano na unidade Caieiras.	29
FIGURA 9 - Localização da unidade Santa Marina na região bragantina.	30
FIGURA 10 – Composição das espécies florestais da unidade Santa Marina.	30
FIGURA 11 – Distribuição da área plantada por ano na unidade Bragança Paulista.	31
FIGURA 12 - Localização da unidade Levantina em Camanducaia, MG.	32
FIGURA 13 – Composição das espécies florestais da unidade Levantina.	32
FIGURA 14 – Distribuição da área plantada por ano na unidade Levantina.	33
FIGURA 15 – Variações no mix de consumo no modelo de planejamento.	41
FIGURA 16 – Cadastro Florestal em Sistema de Informação Geográfica.	42
FIGURA 17 – Entrada de dados OpTimber-LP.	43
FIGURA 18 – Saída dos resultados na forma tabular e gráfica.	44
FIGURA 19 – Saída dos resultados na forma tabular da agenda de operações por regime de manejo.	45
FIGURA 20 – Classificação de sítios florestais para <i>Pinus</i> spp.	49
FIGURA 21 – Classificação de sítios florestais para <i>Eucalyptus</i> spp.	50
FIGURA 22 – Ajuste de modelo de Von Bertalanffy para <i>Pinus</i> spp.	51
FIGURA 23 – Ajuste de modelo de Chapman Richards para <i>Pinus</i> spp.	51
FIGURA 24 – Ajuste de modelo de Weibull para <i>Pinus</i> spp.	51
FIGURA 25 – Ajuste de modelo de Gompertz para <i>Pinus</i> spp.	51
FIGURA 26 – Ajuste de modelo de Korf para <i>Pinus</i> spp.	51
FIGURA 27 – Ajuste de modelo de Logística para <i>Pinus</i> spp.	51
FIGURA 28 – Ajuste de modelo de Von Bertalanffy para <i>Eucalyptus</i> spp.	53
FIGURA 29 – Ajuste de modelo de Chapman Richards para <i>Eucalyptus</i> spp.	53
FIGURA 30 – Ajuste de modelo de Weibull para <i>Eucalyptus</i> spp.	53

FIGURA 31 – Ajuste de modelo de Gompertz para <i>Eucalyptus</i> spp.	53
FIGURA 32 – Ajuste de modelo de Korf para <i>Eucalyptus</i> spp.	53
FIGURA 33 – Ajuste de modelo de Logística para <i>Eucalyptus</i> spp.....	53
FIGURA 34 – Sustentabilidade da oferta de madeira no cenário 2.....	55
FIGURA 35 – Oferta de madeira por espécie no cenário 2.....	56
FIGURA 36 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 2	56
FIGURA 37 – Regulação do manejo florestal no cenário 2.....	57
FIGURA 38 – Oferta de madeira no cenário 1	57
FIGURA 39 – Oferta de madeira no cenário 3	57
FIGURA 40 – Oferta de madeira por espécie no cenário 1	58
FIGURA 41 – Oferta de madeira por espécie no cenário 3.....	58
FIGURA 42 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 1	58
FIGURA 43 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 3	59
FIGURA 44 – Regulação do manejo florestal no cenário 1	59
FIGURA 45 – Regulação do manejo florestal no cenário 3.....	59
FIGURA 46 – Oferta de madeira no cenário 4	60
FIGURA 47 – Oferta de madeira no cenário 5	60
FIGURA 48 – Oferta de madeira no cenário 6	61
FIGURA 49 – Oferta de madeira no cenário 7	61
FIGURA 50 – Oferta de madeira por espécie no cenário 4.....	62
FIGURA 51 – Oferta de madeira por espécie no cenário 5.....	62
FIGURA 52 – Oferta de madeira por espécie no cenário 6.....	62
FIGURA 53 – Oferta de madeira por espécie no cenário 7.....	63
FIGURA 54 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 4	63
FIGURA 55 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 5	64
FIGURA 56 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 6	64
FIGURA 57 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 7	64
FIGURA 58 – Regulação do manejo florestal no cenário 4.....	65
FIGURA 59 – Regulação do manejo florestal no cenário 5.....	65
FIGURA 60 – Regulação do manejo florestal no cenário 6.....	65
FIGURA 61 – Regulação do manejo florestal no cenário 7.....	66
FIGURA 62 – Oferta de madeira no cenário 10	67
FIGURA 63 – Oferta de madeira por espécie no cenário 10.....	68
FIGURA 64 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 10	68

FIGURA 65 – Regulação do manejo florestal no cenário 10.....	69
FIGURA 66 – Oferta de madeira no cenário 8	69
FIGURA 67 – Oferta de madeira no cenário 9	70
FIGURA 68 – Oferta de madeira por espécie no cenário 8.....	70
FIGURA 69 – Oferta de madeira por espécie no cenário 9.....	71
FIGURA 70 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 8	71
FIGURA 71 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 9	71
FIGURA 72 – Regulação do manejo florestal no cenário 8.....	72
FIGURA 73 – Regulação do manejo florestal no cenário 9.....	72
FIGURA 74 – Principais etapas do processo de produção da pasta TGW.	88
FIGURA 75 – Desfibrador	89
FIGURA 76 – Rebolo de pedra	89
FIGURA 77 – Layout desfibrador	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO GERAL DO USO DA TERRA DAS UNIDADES FLORESTAIS.....	34
TABELA 2 - MODELOS DE CRESCIMENTO AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME POR HECTARE PARA <i>Pinus spp.</i> e <i>Eucalyptus spp.</i>	38
TABELA 3 - DESTINAÇÃO GERAL DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA CLASSE DE DIÂMETRO.	38
TABELA 4 – MIX DE CONSUMO CONSIDERADOS AO LONGO DO HORIZONTE DE PLANEJAMENTO.	40
TABELA 6 – DETALHAMENTOS DOS CENÁRIOS E MIX DE CONSUMO.	48
TABELA 7 – RESUMO DOS AJUSTES DOS MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO TESTADOS PARA <i>Pinus spp.</i>	52
TABELA 8 – RESUMO DOS AJUSTES DOS MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO TESTADOS PARA <i>Eucalyptus spp.</i>	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVO.....	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Sustentabilidade	16
3.2 Manejo Florestal	17
3.3 Regulação Florestal.....	18
3.4 A história da pesquisa operacional.....	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Caracterizações gerais das unidades de gestão	23
4.1.1 Unidade Florestal Caieiras	27
4.1.2 Unidade Florestal Santa Marina	29
4.1.3 Unidade Florestal Levantina	31
4.1.4 Resumo geral das unidades florestais.....	33
4.2 Metodologia	34
4.2.1 Etapa 1 – Classificação de sítios florestais.....	35
4.2.2 Etapa 2 – Crescimento e Produção Florestal	37
4.2.3 Etapa 3 – Especificações da madeira.....	38
4.2.4 Etapa 4 – Mix de consumo fabril	39
4.2.5 Etapa 5 – Parametrização do Software	41
5 RESULTADOS	49
5.1 Classificação de sítios florestais.....	49
5.2 Crescimento e Produção	51
5.3 Geração de Cenários – Função Objetivo, Restrições e Solução.....	54
5.3.1 Cenários 1, 2 e 3 – Demanda industrial de 120 a 125 mil m ³ /ano abastecido pela unidade Levantina.....	55
5.3.2 Cenários 4, 5, 6 e 7 – Demanda de 180 a 192 mil m ³ /ano abastecida pelas três unidades.....	60
5.3.3 Cenários 8, 9 e 10 – Demanda de 180 mil m ³ /ano abastecida apenas pela unidade Levantina ou Levantina associada com Santa Marina	66
6 CONCLUSÃO.....	73

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
8 ANEXO	85
8.1 Histórico Cia Melhoramentos de São Paulo	85
8.2 Processo Industrial	86

1 INTRODUÇÃO

A madeira está presente no cotidiano do ser humano desde seu surgimento há milhões de anos. Apesar das tecnologias modernas, ainda não existe um recurso natural tão versátil que substitua a madeira. Por esse motivo o homem aprendeu a utilizar essas tecnologias para produzi-la em quantidade e qualidade suficiente para atender às suas necessidades.

A sustentabilidade do atendimento das demandas ao longo do tempo depende, fundamentalmente, do prévio conhecimento, com certo nível de detalhe, dos produtos florestais que compõem essa demanda e do planejamento estratégico da produção florestal.

Muitas vezes, o planejamento no setor florestal, torna-se complicado pelas características a ele inerentes, como investimentos em longo prazo, altos custos de implantação dos projetos, riscos associados aos projetos, tamanho dos projetos, várias alternativas de uso da madeira, presença de externalidades positivas e negativas ou ainda, áreas adquiridas onde já existem povoamentos implantados (NASCIMENTO, 2000).

Os fatores edafo-climáticos somados aos inúmeros regimes de manejo possíveis tornam ainda mais complexas as atividades de planejamento florestal.

Para auxiliar na resolução de problemas complexos, com grande número de variáveis, o homem lançou mão da matemática aliada à tecnologia computacional no desenvolvimento da programação linear.

O debate da busca da qualidade e produtividade como estratégia de aumento de competitividade é um ponto central para a gestão. O mundo globalizado está sofrendo uma mutação no sentido de expandir a consciência dos clientes. As mudanças são tão substanciais que algumas empresas questionam até mesmo a natureza de seus problemas. O comportamento humano, as pressões sociais e ambientais, a ingerência do estado etc. acabaram tornando o ambiente organizacional ainda mais complexo. É fundamental para quem pretende investir em um ferramental mais sofisticado para o apoio à tomada de decisão ser capaz de

responder bem às seguintes perguntas: Como podemos estar certos que de fato estaremos tratando “*o problema principal*” quando usarmos os modelos quantitativos para solucionar nossos casos? Não seriam os modelos quantitativos muito “*simplificados*” e “*afastados*” da complexa e incerta realidade organizacional? Responder a essas perguntas e perceber que *na prática a teoria é diferente*, especialmente no caso de *modelos incompletos* ou *mal formulados*, é indispensável para desenvolver a visão estratégica do papel dos modelos quantitativos dentro do processo de suporte da tomada de decisão. (GOLDBARG E LUNA, 2000)

Um dos importantes desafios das empresas florestais é, depois de conhecer detalhadamente seu patrimônio florestal, ter a capacidade de formular modelos que representem de forma fidedigna a presente realidade e, a partir dela, simular diversos cenários, otimistas e pessimistas, fundamentado nas tendências de mercado. Depois disso, pode-se então formular estratégias adequadas e tomar decisões atuais que preparam a organização para o futuro. Essa visão antecipada das oportunidades ou dos problemas separa as empresas bem administradas das mal administradas.

Através da programação linear é possível formular modelos que auxiliam a tomada de decisão que envolve um grande número de variáveis de forma a otimizar os resultados.

O aumento do consumo de produtos de madeira reforça a necessidade da produção de florestas de rápido crescimento para atender essa demanda. No entanto, devido ao avanço tecnológico nos processos industriais, é cada vez mais difícil prever quais os produtos de madeira que serão mais bem remunerados, e isso afeta de forma dramática as decisões sobre que tipo de floresta produzir e quais os regimes de manejo aplicar. Dentro desse contexto, a atividade de planejamento florestal, após cuidadosa análise das tendências de mercado, tem o desafio de implantar a floresta possibilitando possíveis correções de rumo dentro do horizonte de planejamento. Assim é possível implantar uma floresta voltada para o atendimento das demandas atuais, mas com a possibilidade de atender outros mercados no futuro através da alteração do tipo de manejo aplicado no momento dos primeiros desbastes.

Com o desenvolvimento de software de otimização específico, as empresas florestais têm, cada vez mais, lançado mão dessa tecnologia para maximização da produção e o aproveitamento da madeira, regulação florestal e na minimização dos custos de produção, transformação e transporte florestal.

2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é demonstrar a utilidade do emprego da programação linear para maximizar a produção de madeira e regular uma floresta desbalanceada ao longo do tempo, controlando as complexas restrições de atendimento da demanda de madeira, mix de consumo, limitação operacional de plantio, percentual mínimo de madeira certificada e limites de transferência entre unidades florestais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sustentabilidade

O termo Sustentável, segundo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, “é um adjetivo que se pode sustentar, capaz de se manter mais ou menos constante, ou estável, por longo período”.

Speidel (1972, citado por SCHNEIDER, 2002) afirma que o termo sustentabilidade foi documentado pela primeira vez, provavelmente, por Hans Carl Von Carlowitz, em 1713, na Alemanha, divulgado no seu livro “Silviculture Oeconomica”, afirmando que: a floresta deve oferecer produtos madeireiros e não-

madeireiros às gerações atuais e às futuras em igual quantidade e qualidade às, hoje, disponíveis.

A concepção de manejo florestal sustentado não pode prescindir de um estudo sistemático dos diversos fatores que afetam o crescimento das árvores em um povoamento florestal. Diversos fatores influenciam o crescimento, dentre eles a capacidade genética das espécies florestais interagindo com os fatores ambientais clima, temperatura, precipitação, ventos, insolação, umidade do solo, microorganismos, propriedades físicas e químicas do solo, topografia e competição entre indivíduos. (HOSOKAWA, 1998, p. 109)

3.2 Manejo Florestal

Existem diversos conceitos de manejo florestal e estes variam de acordo com a visão dos autores, conforme a seguir:

Manejo florestal é a arte e a ciência de tomar decisões no que diz respeito à organização, uso e conservação de florestas. Essas decisões podem ser de longo prazo até as atividades do dia-a-dia. Ele pode ser realizado em sistemas florestais muito complexos até aqueles muito simples. A área geográfica de interesse pode ser um país inteiro, uma região, ou um único talhão florestal (BUONGIORNO *et al.*, 1987).

Manejo florestal é o conjunto de artes e técnicas que permitem a organização da produção florestal com a base do rendimento contínuo (SCHNEIDER, 2002).

Manejo Florestal trata de levantamentos periódicos do estado atual dos povoamentos, do planejamento de médio e longo prazo, da revisão periódica da produção da propriedade florestal (MANTEL, 1959, citado por SCHNEIDER, 2002).

Manejo Florestal trata da organização ótima de uma propriedade florestal, através de planejamento e controles dos efeitos, a serem feitos periodicamente, com a intenção da preservação ou aumento duradouro da produção florestal (RICHTER, 1963, citado por SCHNEIDER, 2002).

De maneira geral, o termo manejo florestal tem sido aplicado em dois aspectos, no sentido restrito como tratamentos aplicados a um povoamento florestal e no sentido mais amplo que traduz toda a administração e gerenciamento aplicado a uma empresa florestal (SCHNEIDER, 2002).

3.3 Regulação Florestal

Entende-se que uma floresta regulada é aquela que tem condição de oferecer produtos em quantidade e qualidade suficiente para o atendimento das demandas. Dentro desse contexto a regulação florestal torna-se o tema de maior importância no manejo florestal.

Segundo Leuschner (1990) a regulação florestal é considerada desejável para que se tenha madeira de forma sustentável em rotações pré-determinadas. Os profissionais florestais têm desenvolvido muitas técnicas para organizar a colheita de modo a conseguir a regulação florestal a partir de uma floresta desregulada e manter a regulação após obtê-la.

A atividade de planejamento florestal, principalmente a de nível estratégico, envolve longo prazo principalmente por dois motivos: o primeiro está em função do tempo necessário para a maturação da floresta que deverá garantir o abastecimento industrial da madeira; o segundo está em função de questões econômicas e de mercado que provocam significativas alterações nas estratégias adotadas nas empresas florestais. Isto significa que o planejamento florestal precisa ser constantemente atualizado na medida em que as estratégias são alteradas. Portanto, tentar manter uma floresta regulada nas empresas é muito mais um objetivo estratégico de sustentabilidade do que uma realidade da base florestal, que por sua vez está em constante mudança.

Arce (1997) afirma que várias dificuldades tornam as decisões do planejamento florestal particularmente complexas, destacando-se dentre elas: 1) o longo prazo que caracteriza o planejamento do processo produtivo florestal introduz

um grau significativo de incerteza sobre as futuras condições econômicas e biológicas; e 2) a existência de um número essencialmente ilimitado de regimes de manejo possíveis.

Portanto, um dos grandes desafios dos empreendedores florestais está, sem dúvida, em prever essas alterações e procurar produzir florestas que atendam às futuras demandas, minimizando assim, os impactos no fluxo de oferta dos sortimentos de toras oferecidos pela floresta, que deverá estar baseado em um plano de manejo florestal moderno que permita pequenas correções de rumo através dos regimes de manejo aplicados.

De maneira geral, a regulação florestal é realizada através das seguintes formas de controle:

Controle por Área – é um método indireto de controle que determina a quantidade de produtos florestais a ser colhida, anualmente ou periodicamente, com base na área de floresta estocada.

Controle por Volume – é um método direto de controlar e determinar a quantidade de madeira a ser colhida, anualmente ou periodicamente, através de cálculos baseados no estoque e no volume em crescimento, desconsiderando a área.

Schneider (2002) cita que os métodos de regulação florestal podem ser divididos em Métodos Dedutivos e Métodos Indutivos. A principal diferença entre eles é que os métodos dedutivos permitem a determinação direta da taxa de corte, enquanto que os métodos indutivos determinam apenas os parâmetros que são utilizados na determinação da taxa de corte dos métodos dedutivos.

Todos os métodos existentes foram e são muito úteis para a regulação florestal, principalmente quando não se têm ferramentas computacionais disponíveis que permitam incluir mais variáveis no modelo de regulação florestal.

No entanto, o avanço da tecnologia computacional aliada à matemática, possibilitou a inclusão de muitas variáveis na resolução de problemas florestais que anteriormente não podiam ser resolvidos em função dos inúmeros cálculos e iterações necessárias para se chegar a uma solução satisfatória. Foi neste contexto que a Pesquisa Operacional, que teve seu início na 2ª Guerra Mundial, começou a ser utilizada também na área florestal.

3.4 A história da pesquisa operacional

A Pesquisa Operacional surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, a partir da necessidade de lidar com problemas de natureza logística, tática e de estratégia militar de grandes dimensões e complexidade. Para apoiar os comandos operacionais na resolução desses problemas, foram então criados grupos multidisciplinares de matemáticos, físicos, engenheiros e cientistas sociais. Esses cientistas não fizeram mais do que aplicar o método científico, que tão bem conheciam, aos problemas que lhes foram sendo colocados. Desenvolveram, então, a ideia de criar modelos matemáticos, apoiados em dados e fatos, que lhes permitissem perceber os problemas em estudo e simular e avaliar o resultado hipotético de estratégias ou decisões alternativas (SOBRAPO, 2011).

O sucesso e credibilidade ganhos durante a guerra foram tão grandes que, terminado o conflito, esses grupos de cientistas e a sua nova metodologia de abordagem dos problemas se transferiram para as empresas que, com o "boom" econômico que se seguiu, se viram também confrontadas com problemas de decisão de grande complexidade. Em alguns países, em que prevaleceu a preocupação com os fundamentos teóricos, a Pesquisa Operacional se desenvolveu sob o nome de Ciência da Gestão ou Ciência da Decisão e em outros, em que predominou a ênfase nas aplicações, com o nome de Engenharia Industrial ou Engenharia de Produção (SOBRAPO, 2011).

No ano de 1949, o matemático George Dantzig, desenvolveu o algoritmo simplex, que resolve modelos de Programação Linear de forma muito eficiente encontrando a solução ótima em problemas com inúmeras soluções factíveis (ARCE, 2007).

Na área florestal, essa ferramenta vem sendo utilizada para resolver problemas de gestão desde a década de 60. Foram, entretanto, os trabalhos de Navon (1971), trabalhando para o Serviço Florestal americano, e Ware e Clutter (1971), na Universidade da Geórgia em colaboração com a indústria de celulose do sul dos EUA, que marcaram o início do uso extensivo da programação linear no planejamento florestal (RODRIGUEZ, 2006).

Segundo Silva *et al.* (2003), entre as diversas ferramentas matemáticas atualmente aplicadas com o objetivo de otimizar o planejamento da produção florestal, as técnicas de Programação Linear (PL) constituem, sem dúvida, o instrumental analítico mais utilizado.

Andrade Jr. (1983) utilizou a programação linear para auxílio na tomada de decisão em um problema de planejamento de investimentos em atividades agrícolas e florestais, em curto, médio e longo prazo, de uma empresa que se dedica ao cultivo de 180.000 hectares de eucalipto para produção de carvão vegetal com fins energéticos em Santa Bárbara – Minas Gerais.

Barreiros *et al.* (2000) utilizaram a programação linear como ferramenta para seleção de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* para polpação kraft-AQ. A estratégia obtida maximizou o resultado econômico, selecionando árvores matrizes e obedecendo todas as limitações de produtividade, tecnológicas e organizacionais impostas pela empresa interessada, bem como atendeu à produção de polpa não-branqueada dentro do período de planejamento considerado.

São muitas as possibilidades de utilização das técnicas de Programação Linear, aplicadas em diversos setores de desenvolvimento. No setor florestal, especificamente, são várias as referências bibliográficas que apontam a sua aplicação. Exemplos desses enfoques encontram-se em Novaes (1978), Hillier e Lieberman (1988), Seixas e Widmer (1993) e Krajcic *et al.* (1997) que destacam a minimização de custos com transporte de madeira, equipamentos ou pessoal na procura de caminhos ótimos, visando a diminuição do tamanho da frota e/ou do número de viagens.

Nos trabalhos desenvolvidos por Chauduri e Sen (1987) e Gerasimov *et al.* (1996) foi estudada a minimização dos custos de colheita de madeira quanto aos sistemas de retirada da madeira de dentro da floresta.

Em Dias *et al.* (1984), Rodriguez (1986), Rodriguez (1987), Martini (1988), Carnieri (1989), Rodriguez e Moreira (1989), Taube-Netto (1989), Caixeta Filho (1993), Gong (1994), Palander (1995), Torell e Drumond (1997) e Diaz-Balteiro e Romero (1999) destacam-se os estudos de planejamento e gerenciamento otimizados como a elaboração de cronogramas de operações silviculturais, reformas de talhões e outras.

Hernandez Diaz (1985), McKenney (1999), Hof e Joyce (1992), Hoganson e McDill (1993), Yang (1996), Paivinen *et al.* (1996), Borges *et al.* (1997), Batabyal (1998) e Strange *et al.* (1999), citaram estudos de manejo de florestas naturais e implantadas.

Mallawaarachchi *et al.* (1996), Naesset (1997) e Palander (1997) atuaram nos estudos de otimização de Sistema de Informação Geográfica (SIG) aplicados em manejo de recursos naturais.

McKillop (1996), Naesset (1997) e Sarkar (1998) abordaram estudos de otimização do desenvolvimento sustentável em recursos florestais. Evans (1996) e Mourelatos (1998) destacam os estudos de otimização de fontes de energia renovável. Pickens *et al.* (1997), Aruofor (1997), Rowse (1998) e Laroze (1999) atuaram nos estudos de otimização de preços de produtos florestais levando em conta as operações comerciais, estoques mínimos, suprimentos e outras;

Hengsdijk *et al.* (1995), Kruseman e Bade (1998) e Zander e Kächele (1999) estudaram a otimização do uso sustentável da terra;

Hitrec *et al.* (1990), Maness e Adams (1991), Usenius e Nepveu (1996), Harding e Steele (1997) e Kapp *et al.* (1999) estudaram a otimização do uso de toras e resíduos em serrarias;

Andersson (1999) estudou a otimização no melhoramento genético. Menz e Grist (1995), Menz *et al.* (1995) e Zadnik *et al.* (1997) estudaram a otimização de sistemas agroflorestais. (BARREIROS *et al.* 2000).

Klann *et al.* (2010) estudou a otimização de resultado de uma empresa de transporte rodoviário de cargas, que apresentava capacidade de carga ociosa e teve o potencial de aumentar o seu volume transportado em aproximadamente 17%.

Arce (2000) trabalhou com um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte.

De acordo com Fatureto e Santos (1999a; 1999b) e Silva (2001), citados por Silva *et al.* (2003), e apesar da inegável importância das técnicas de PL para solução de problemas de planejamento florestal, deve-se reconhecer que esta metodologia apresenta algumas deficiências, tais como as pressuposições de que o

relacionamento entre as variáveis consideradas é linear, as restrições devem ser estritamente respeitadas e as escolhas são feitas a partir de um único critério e um único objetivo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterizações gerais das unidades de gestão

Este trabalho foi realizado nas três unidades florestais da empresa Melhoramentos Florestal S/A localizadas nos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Nas FIGURAS 1 e 2 pode ser visualizada a localização das unidades florestais nos estados de São Paulo e Minas Gerais.

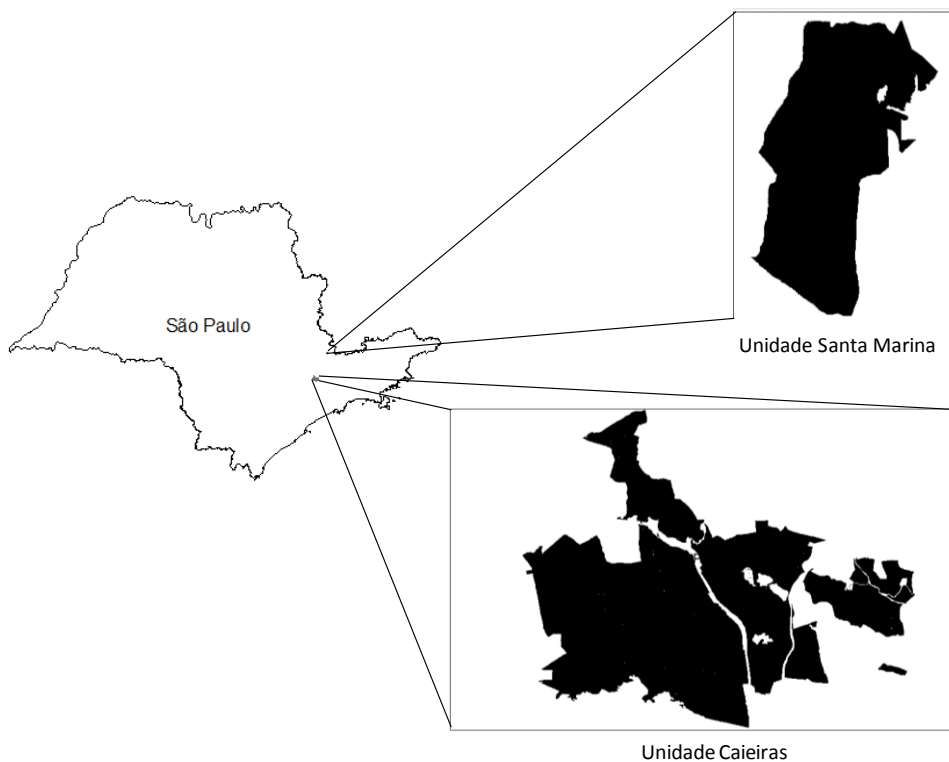


FIGURA 1 – Localização das unidades Caieiras e Santa Marina nos municípios de Caieiras e Bragança Paulista respectivamente.

FONTE: SANTOS (2010)

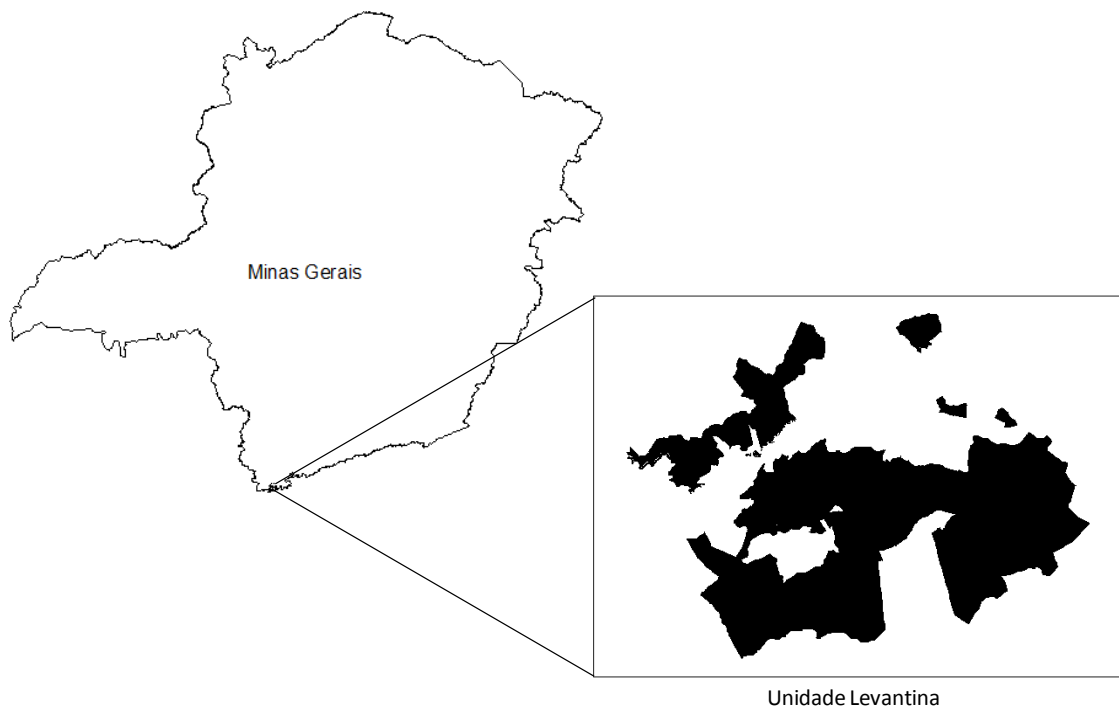


FIGURA 2 – Localização da unidade Levantina no município de Camanduacaia.
FONTE: SANTOS (2010)

A zona climática onde se encontram as unidades florestais é a denominada Tropical Brasil Central. As unidades Caieiras e Levantina possuem um clima super-úmido sem secas com uma temperatura mesotérmica branda média entre 10°C e 15°C enquanto a unidade Santa Marina está em um clima úmido sob uma faixa de transição entre os climas mesotérmico brando e sub-quente com média entre 10°C e 18 °C com possibilidade de seca entre um e três meses conforme as FIGURAS 3 e 4.

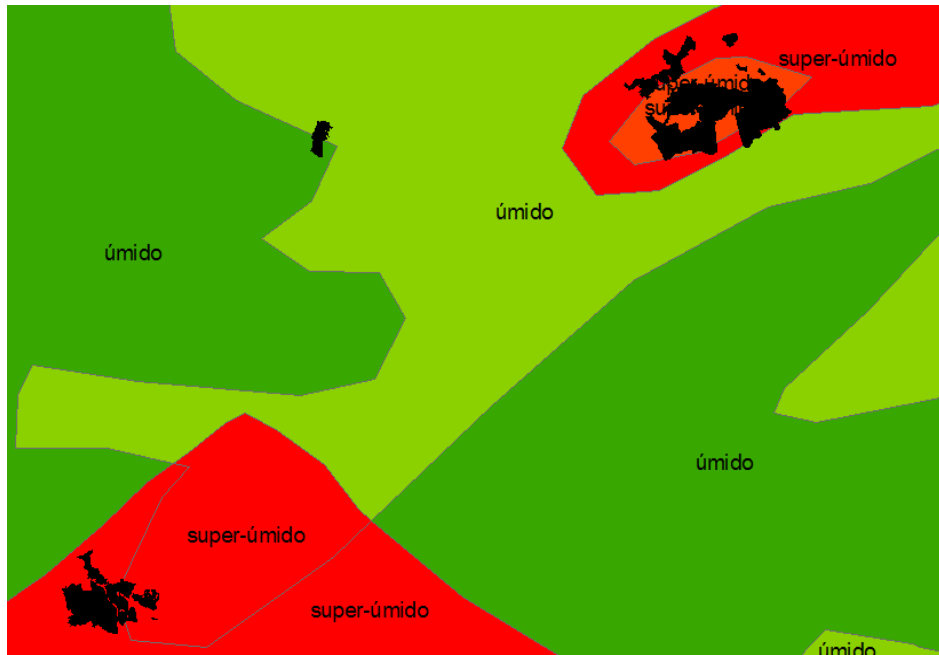


FIGURA 3 – Classes de clima úmido das três unidades florestais.
 FONTE: SANTOS (2010)

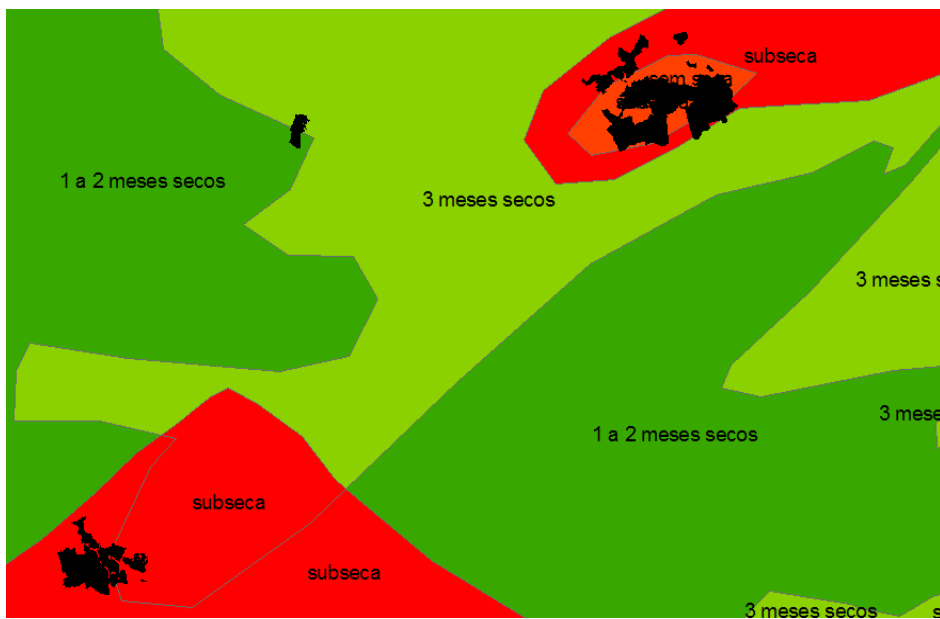


FIGURA 4 – Classes de clima seco das três unidades florestais.
 FONTE: SANTOS (2010)

Os solos predominantes nas unidades florestais são Latossolo Vermelho-Amarelo que compreendem toda unidade Levantina e parte da unidade Caieiras e Argilossolo Vermelho-Amarelo que se apresenta na unidade Santa Marina e também na unidade Caieiras.

Na FIGURA 5 pode ser observada a distribuição das unidades florestais por tipo de solo.



FIGURA 5 – Distribuição das unidades florestais por tipo de solo.
FONTE: SANTOS (2010)

O relevo das unidades florestais é predominantemente ondulado, característica esta que vem de encontro à vocação adequada dos solos em um país onde predomina a agricultura extensiva. A unidade Santa Marina é a única que possui a maior parte das áreas com um relevo levemente ondulado.

4.1.1 Unidade Florestal Caieiras

A unidade Caieiras está localizada em quatro municípios da região metropolitana de São Paulo: Caieiras, Cajamar, Franco da Rocha e São Paulo. A área produtiva dessa unidade é de 3.073 ha.

Na FIGURA 6 pode ser observada a localização da unidade Caieiras em seus respectivos municípios.

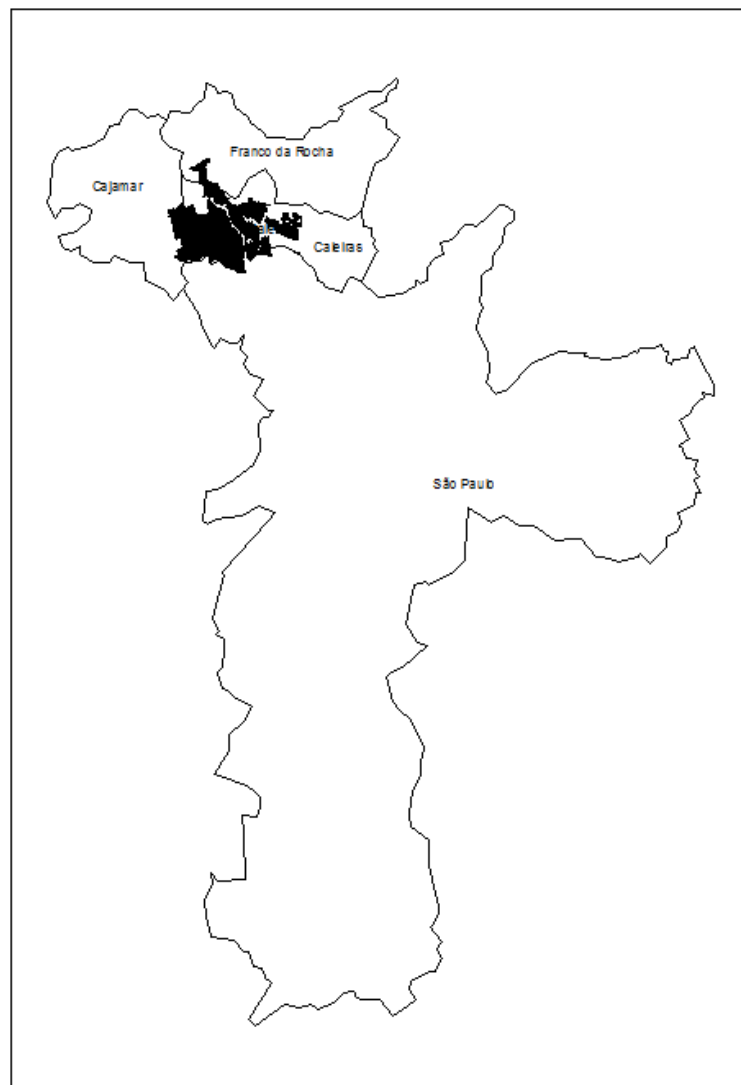


FIGURA 6 – Localização da unidade Caieiras na região metropolitana de São Paulo.
FONTE: SANTOS (2010)

O fato de esta unidade estar situada na região metropolitana de São Paulo e ser cortada pelas Rodovias dos Bandeirantes e Anhanguera faz com que suas terras

tenham uma supervalorização imobiliária em função da sua localização estratégica para instalação de grandes empreendimentos de ordem industrial, imobiliária e até mesmo governamental, o que tem tornado o negócio florestal pouco competitivo frente às alternativas citadas. Vale ressaltar que esta unidade é cortada pela Rodovia dos Bandeirantes, Rodovia Anhanguera e fica a 12 km da via marginal do Rio Tietê.

Em suas áreas de produção predominam plantios florestais do gênero *Eucalyptus* conforme a FIGURA 7.

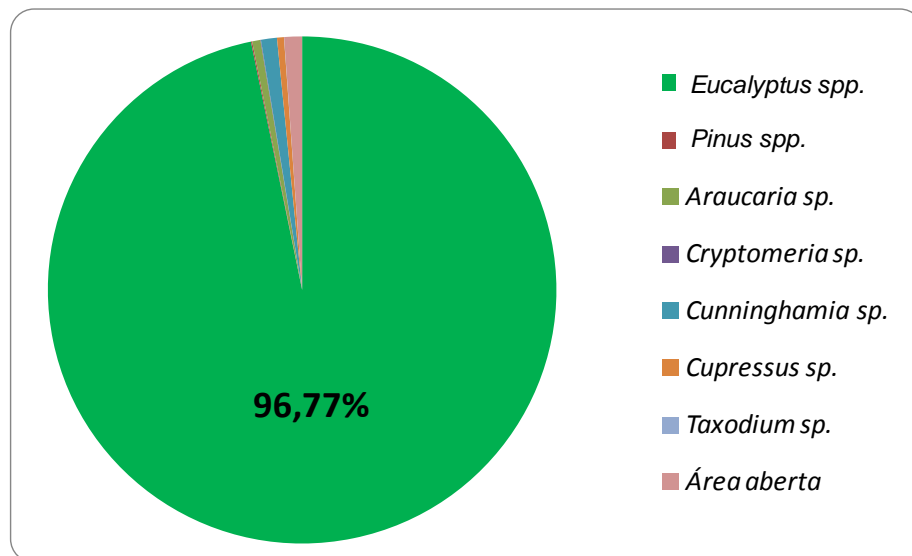


FIGURA 7 – Composição das espécies florestais da unidade Caieiras.
FONTE: SANTOS (2012)

Na FIGURA 8 pode ser observada a área plantada por ano na unidade Caieiras.

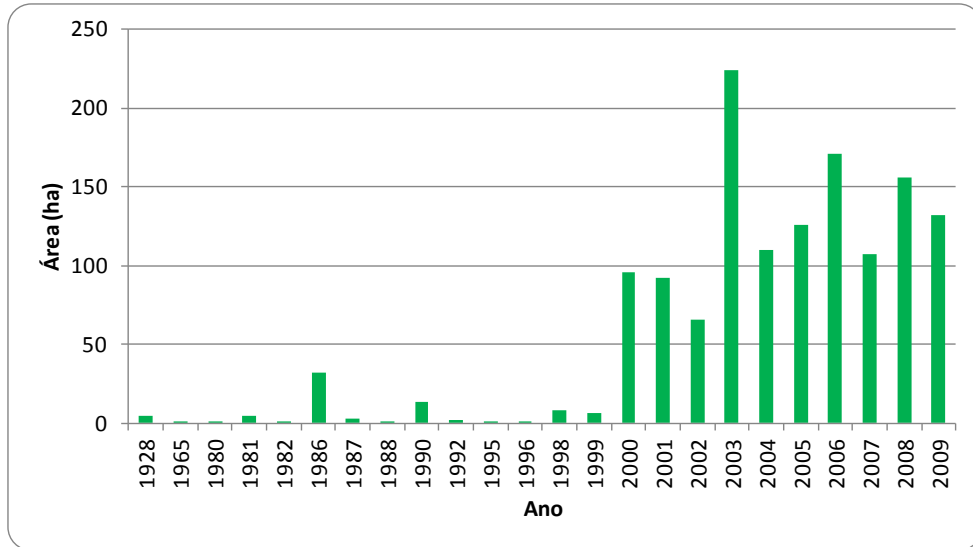


FIGURA 8 – Distribuição da área plantada por ano na unidade Caieiras.
 FONTE: SANTOS (2012)

4.1.2 Unidade Florestal Santa Marina

A unidade Santa Marina fica localizada no município de Bragança Paulista, e desde a sua aquisição, em 1964, suas terras têm valorizado significativamente em função da expansão da zona urbana do município e pela proximidade da Rodovia Fernão Dias BR-381. A área produtiva dessa unidade é de 473 ha.

Na FIGURA 9 pode ser observada a localização da unidade Santa Marina.

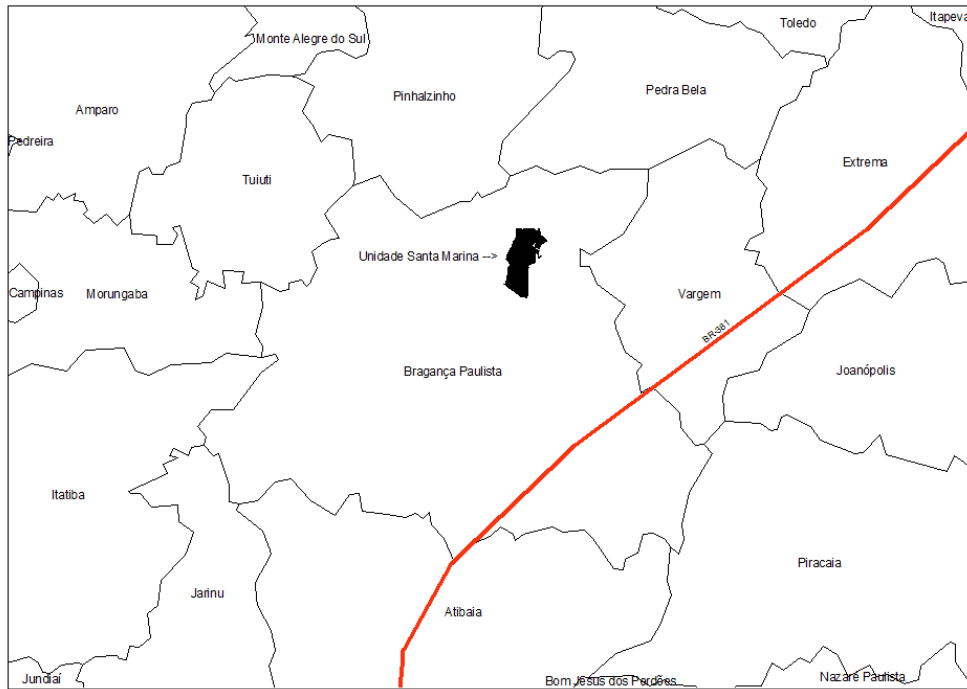


FIGURA 9 - Localização da unidade Santa Marina na região bragantina.
 FONTE: SANTOS (2010)

Em suas áreas de produção predominam os plantios florestais do gênero *Eucalyptus* conforme ilustra a FIGURA 10.

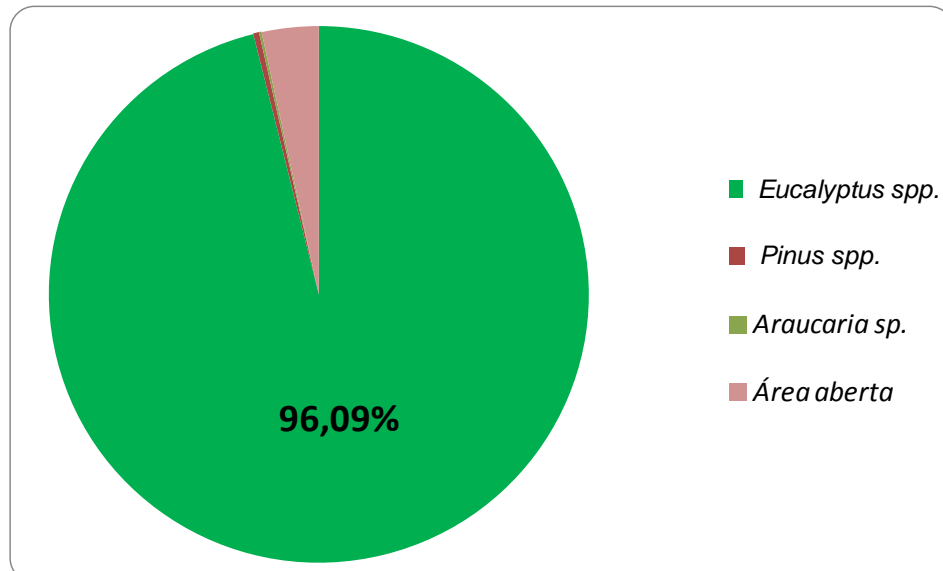


FIGURA 10 – Composição das espécies florestais da unidade Santa Marina.
 FONTE: SANTOS (2012)

Na FIGURA 11, pode ser observada a área plantada por ano na unidade Bragança Paulista.

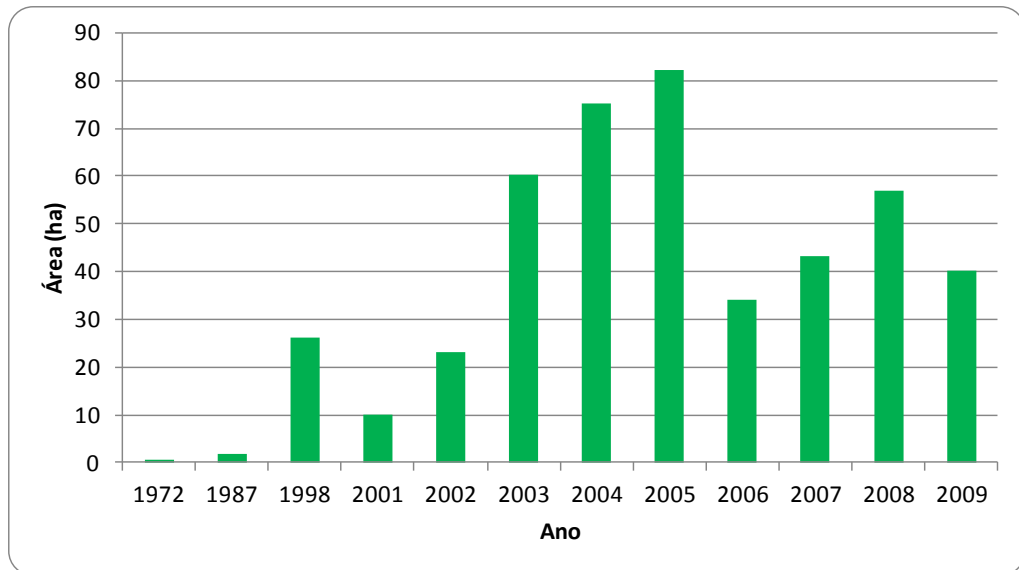


FIGURA 11 – Distribuição da área plantada por ano na unidade Bragança Paulista.
 FONTE: SANTOS (2012)

4.1.3 Unidade Florestal Levantina

A unidade Levantina é a maior área da empresa com 11.057,09 ha e fica localizada no município de Camanducaia no extremo sul do estado de Minas Gerais na Serra da Mantiqueira conforme pode ser observado na FIGURA 12. Está situada em uma região turística junto ao distrito de Monte Verde a uma altitude média de 1.400 metros ao nível do mar.



FIGURA 12 - Localização da unidade Levantina em Camanducaia, MG.
 FONTE: SANTOS (2010)

Esta unidade é composta de 71% com os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, porém, ainda há plantios de espécies dos gêneros *Cupressus*, *Cunninghamia*, *Araucaria*, *Taxodium*, *Cryptomeria* os quais estão sendo paulatinamente substituídos por *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. conforme ilustra a FIGURA 13:

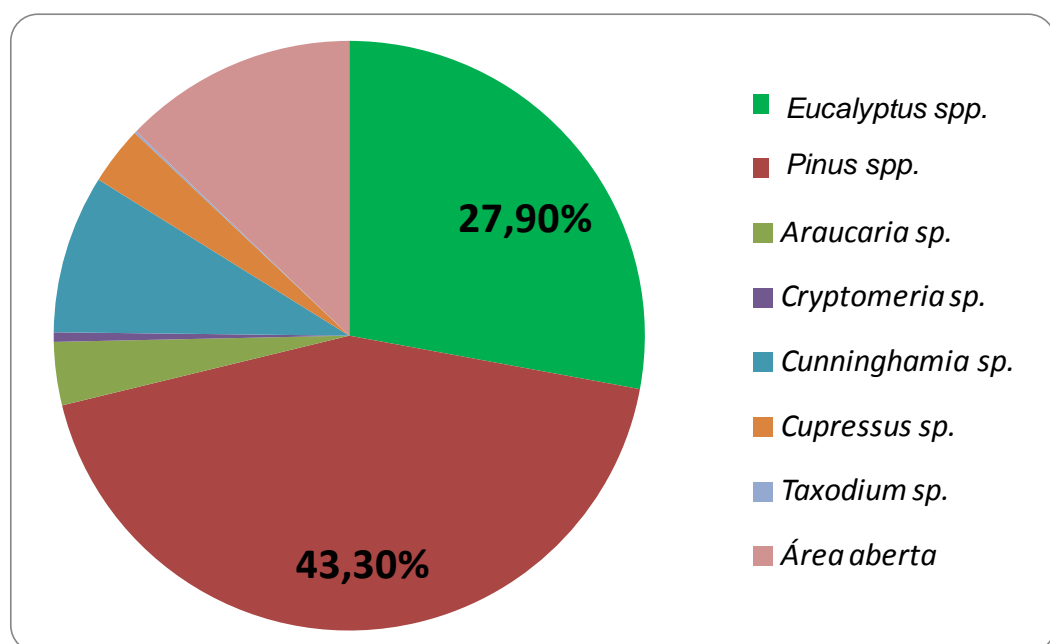


FIGURA 13 – Composição das espécies florestais da unidade Levantina.
 FONTE: SANTOS (2012)

Na FIGURA 14, pode ser observada a área plantada por ano na unidade Camanducaia.

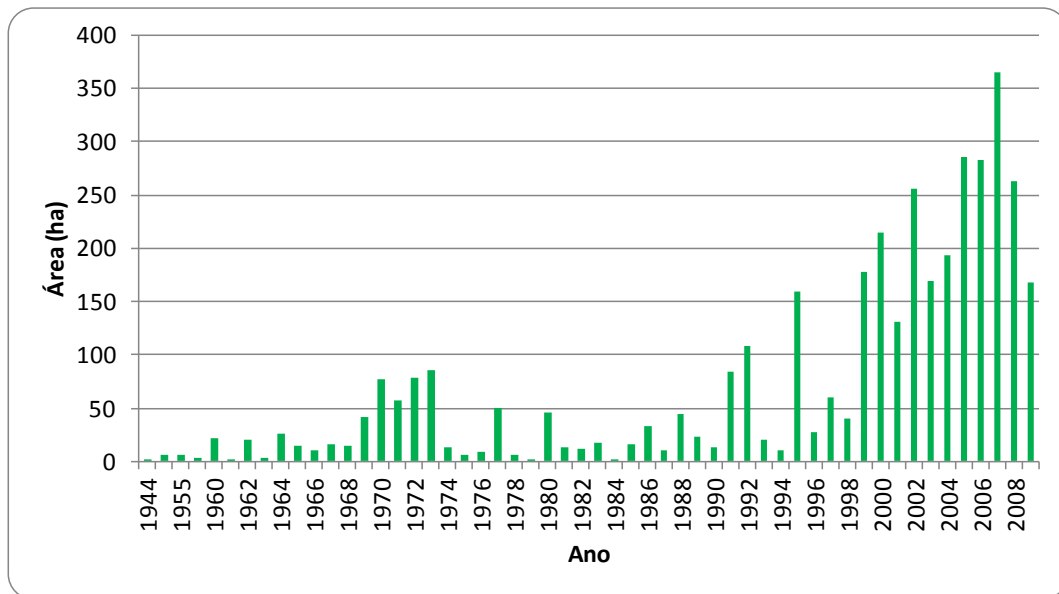


FIGURA 14 – Distribuição da área plantada por ano na unidade Levantina.
 FONTE: SANTOS (2012)

4.1.4 Resumo geral das unidades florestais

As áreas das três unidades somam aproximadamente 17 mil hectares compostos de 47% de áreas de produção florestal para produção de pasta de alto rendimento, 49% de áreas de preservação florestal na qual se incluem: Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal e Florestas Nativas, 3% de estradas e aceiros e 1% de outros usos.

Na TABELA 1 pode ser visualizada a distribuição geral do uso da terra das unidades florestais da empresa Melhoramentos Florestal S/A.

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO GERAL DO USO DA TERRA DAS UNIDADES FLORESTAIS.

Unidade	Áreas de Produção	Floresta Nativa	Estradas	Edificações	APP	Outros	Total
Caieiras	3.073,04	777,30	155,84	22,40	736,97	99,24	4.864,79
Bragança Paulista	473,16	63,31	23,57	1,86	106,33	8,05	676,28
Camanducaia	4.389,39	4.026,89	316,89	37,40	2.652,10	47,33	11.470,00
Total	7.935,58	4.867,50	496,30	61,66	3.495,40	154,62	17.011,06
Distrib. %	46,6%	28,6%	2,9%	0,4%	20,5%	0,9%	100%

FONTE: SANTOS (2012)

A área total de floresta plantada é composta de 90% dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, correspondendo a 26% e 64%, respectivamente. Os 10% restantes estão distribuídos entre os gêneros *Araucaria*, *Cupressus*, *Cunninghamia*, *Cryptomeria* e *Taxodium*.

Em função das influências das características anatômicas da madeira nas propriedades tecnológicas das fibras que compõem a pasta mecânica de alto rendimento, o objetivo, ao longo do horizonte de planejamento, é de se trabalhar apenas com os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Nesta conversão de varias espécies para apenas duas ao longo do tempo, sem afetar a sustentabilidade industrial e florestal, reside a principal complexidade deste trabalho.

4.2 Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho foi dividida em seis etapas:

Etapa 1 – Classificação de sítios florestais

Etapa 2 – Crescimento e Produção Florestal

Etapa 3 – Especificações da madeira

Etapa 4 – Mix de consumo fabril

Etapa 5 – Parametrização do Software

Etapa 6 – Geração Cenários – Função Objetivo e Restrições

4.2.1 Etapa 1 – Classificação de sítios florestais

As áreas florestais na unidade Levantina são marcadas por uma variação significativa de altitude e topografia. Há uma diferença de altitude de 950 metros entre a área mais baixa e a mais alta na unidade. Isso implica em diferenças marcantes de temperatura, umidade e até mesmo na quantidade de chuvas. A variação nos solos também é significativa ao longo desse gradiente de altitude.

A topografia das áreas da empresa é significativamente ondulada, o que implica no sombreamento precoce nas faces sul de exposição do terreno. O pouco conhecimento acerca da influencia dessa variável dificulta a distribuição geográfica da classificação dos sítios.

Segundo Scolforo (1998) sítio pode ser definido, para fins de manejo, como o conjunto de fatores ecológicos que influem no desenvolvimento do povoamento florestal em um determinado local.

Ainda segundo o mesmo autor, a determinação da qualidade do local é uma prática comum no manejo florestal para classificar os povoamentos equiâneos segundo sua capacidade produtiva.

Para definir a produtividade dos locais podem ser utilizados os métodos diretos (fornecem informações quantitativas) e os métodos indiretos (fornecem informações qualitativas). Dos métodos diretos aquele mais utilizado na classificação dos sítios nos plantios existentes no Brasil, é o que se baseia na altura, mais especificamente na altura das árvores dominantes do povoamento florestal, uma vez que a mesma não é influenciada pelos tratamentos silviculturais como o desbaste, a não ser em casos extremos (SCOLFORO, 1998).

Para a classificação de sítios florestais foram consideradas apenas as espécies do gênero Pinus e Eucalyptus. Esta decisão foi tomada por elas representarem 90% dos plantios florestais da empresa.

Para o presente trabalho foi utilizado o método direto de classificação de sítio, baseado nas alturas dominantes do povoamento florestal.

Através de dados de inventário florestal realizado nas três unidades florestais, foi possível a construção de curvas de sítio para classes de produtividade, a partir da idade e altura dominante dos povoamentos.

Foram obtidos pares de valores de idade e altura dominante de 343 parcelas para *Pinus* e 430 parcelas para *Eucalyptus*. Foram definidas duas classes de sítio para pinus e três classes de sítio para eucalipto. O critério para a obtenção das alturas dominantes foi o das cem árvores de maior DAP por hectare considerando proporcionalmente a área das parcelas.

Para a obtenção das curvas foi utilizado o método das proporções constantes, onde foi necessário estabelecer uma altura dominante na idade índice de 7 anos para o *Eucalyptus* e de 15 anos para o *Pinus*, sendo essa altura considerada 100% para estabelecer a curva guia e calcular as demais curvas proporcionalmente. Para dar origem à curva guia foi necessário estimar o valor de h_{dom} para todas as idades. Para efetuar as estimativas do h_{dom} em todas as idades foi utilizado o modelo de Schumacher juntamente com a regressão linear, ambos conduzidos no Excel.

$$\text{Modelo de Schumacher: } \ln_{h_{dom}} = b_0 + b_1 \frac{1}{I} \longrightarrow \text{(Equação da Curva Guia)}$$

Onde:

$\ln_{h_{dom}}$ = logaritmo neperiano da altura dominante

I = idade do povoamento (anos)

b_0 e b_1 = coeficientes da equação

A partir da curva guia e da distribuição gráfica da h_{dom} versus a idade foram arbitradas duas classes de sítio para *Pinus* e três classes de sítio para *Eucalyptus*.

4.2.2 Etapa 2 – Crescimento e Produção Florestal

Para se programar um trabalho confiável de planejamento florestal estratégico é fundamental que se conheça o comportamento do crescimento e produção dos povoamentos florestais envolvidos. Isso é viabilizado através de medições realizadas nos inventários florestais temporários ou contínuos, onde é possível conhecer a dinâmica de crescimento e de produção florestal de diversos sortimentos de toras, os quais definem o potencial de utilização da madeira.

Com os dados de inventário florestal em diversas ocasiões ou em povoamentos em várias idades, podem-se construir modelos matemáticos de crescimento e produção que auxiliam o processo de planejamento.

Neste trabalho foram testados seis modelos de crescimento e produção florestal para o gênero *Pinus* e para o gênero *Eucalyptus*. O resultado dos ajustes foi importante para a parametrização do simulador utilizado na geração dos cenários.

Para obter as informações sobre crescimento e produção foi utilizada a base de dados de inventário florestal composta de 343 parcelas para *Pinus* e 430 parcelas para *Eucalyptus*. Para as demais espécies, que não serão mais cultivadas, compostas basicamente de povoamentos adultos, sem manejo e com crescimento estagnado, foram utilizados os dados de estoque atual e uma curva de crescimento ajustada empiricamente uma vez que serão substituídas por espécies do gênero *Pinus* ou *Eucalyptus* dentro dos primeiros seis anos do horizonte de planejamento. Dessa forma o improvável incremento volumétrico nesse período foi desconsiderado.

As idades variaram de dois a nove anos para o *Eucalyptus* e de quatro a vinte anos para o *Pinus*.

Todos os modelos foram ajustados no Microsoft Excel por meio da ferramenta “*solver*”, onde os parâmetros estimados β_0 , β_1 e β_2 são ajustados de modo a minimizar a soma dos desvios quadráticos entre os valores estimados e os reais.

Na TABELA 2, podem ser observados os seis modelos de crescimento e produção ajustados para obtenção das estimativas de volume por hectare nas diversas idades.

TABELA 2 - MODELOS DE CRESCIMENTO AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME POR HECTARE PARA *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*

AUTOR	MODELOS	EQUAÇÃO
Von Bertalanffy	$y = \beta_0 (1 - \beta_1^{-\beta_2 x})^3$	(1)
Chapman-Richards	$y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 x})^{\beta_2}$	(2)
Weibull	$y = \beta_0 [1 - e^{(-\beta_1 x^{\beta_2})}]$	(3)
Gompertz	$y = \beta_0 [1 - e^{-(\beta_1 - \beta_2 x)}]$	(4)
Korf	$y = \beta_0 e^{-\beta_1 x^{-\beta_2}}$	(5)
Logística	$y = \frac{\beta_0}{[1 + \beta_1 e^{(-\beta_2 x)}]}$	(6)

Em que: y= volume m³/ha; x= idade (anos); β = parâmetros da equação.
 FONTE: SANTOS (2012)

4.2.3 Etapa 3 – Especificações da madeira

A madeira produzida na floresta possui dois destinos: processo TGW e venda. Na TABELA 3 estão apresentadas as classes de diâmetros, produtos e destinos da madeira.

TABELA 3 - DESTINAÇÃO GERAL DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA CLASSE DE DIÂMETRO.

Classe de diâmetro	Produto	Destino
< 8 cm	Lenha	venda externa
8 a 40 cm	Torete	processo TGW
> 40 cm	Tora	venda externa

FONTE: SANTOS (2012)

O comprimento padrão das toras com até 40 centímetros de diâmetro é de 2,4 metros, enquanto que os comprimentos das toras acima de 40 centímetros, como são destinadas à venda, podem variar de cliente para cliente.

4.2.4 Etapa 4 – Mix de consumo fabril

No mix de consumo fabril reside o cerne do problema de planejamento florestal e industrial deste trabalho. Para continuar atendendo às especificações de cada tipo de pasta celulósica produzida é necessário que haja um determinado mix de consumo de madeira de fibras curtas e madeira de fibras longas, pois cada mix de consumo associado ao tratamento mecânico dado às fibras permite alcançar determinadas especificações no produto final.

Os principais destinos das fibras TGW e BTGW são os fabricantes de papel cartão utilizados em embalagens e papeis absorventes. Muitas das embalagens produzidas com a fibra TGW são utilizadas para produtos alimentícios. O processo de transformação da madeira em fibra apresenta um rendimento de 97%, ou seja, perde-se apenas 3% da madeira utilizada. Por isso, as propriedades organolépticas da pasta são influenciadas pelo mix de espécies utilizadas em sua produção. Assim algumas espécies, para determinados produtos, têm sua participação limitada para que nunca interfiram no sabor ou odor do produto embalado.

O fato de a base florestal ainda possuir uma área importante constituída por espécies florestais utilizadas em menor proporção constitui-se em uma das principais restrições do modelo de programação linear empregado.

Em função do grande número de espécies existentes na unidade Levantina, a confecção do conjunto de diferentes mix agrupou espécies de acordo com a coloração da madeira conforme o detalhamento abaixo:

- Pinus – *Pinus patula*, *Pinus taeda*, *Pinus caribea*, *Pinus maximinoi*, *Pinus elliottii*;

- Eucalipto branco – *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus dunnii*;
- Eucalipto vermelho – *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus maidenni*, *Eucalyptus globulus*;
- Cupressus – *Cupressus lusitanica*, *Cryptomeria japonica*;
- Cunninghamia – *Cunninghamia lanceolata*.

Diversos mix de consumo foram considerados ao longo do horizonte de planejamento. À medida que a floresta da unidade Levantina, paulatinamente, vai reduzindo o percentual de coníferas em detrimento das folhosas, o mix de consumo vai sendo alterado de forma a atender à demanda industrial bem como às especificações do produto final.

Na TABELA 4 são apresentados os diversos mix de consumos considerados ao longo do horizonte de planejamento.

TABELA 4 – MIX DE CONSUMO CONSIDERADOS AO LONGO DO HORIZONTE DE PLANEJAMENTO.

Mix	Pinus	Pinus + Cupressus	E. branco	E. vermelho	E. branco + E. vermelho	Araucaria	Cunninghamia	Cupressus
1	>30%	0%	>20%	livre	livre	livre	livre	livre
2	>20%	0%	>60%	livre	livre	livre	livre	livre
3	>60%	0%	>12%	≤12%	0%	≤12%	≤12%	≤12%
4	>40%	0%	≤60%	livre	livre	livre	livre	livre
5	>35%	0%	≤65%	livre	livre	livre	livre	livre
6	>30%	0%	≤40%	livre	livre	livre	livre	livre
7	>25%	0%	≤75%	livre	livre	livre	livre	livre
8	>20%	0%	≤80%	livre	livre	livre	livre	livre
9	≤50%	0%	>40%	≤12%	0%	≤8,5%	≤12%	≤12%
10	≤50%	0%	>40%	≤15%	0%	≤10%	≤15%	≤15%
11	>20%	0%	≤80%	≤15%	0%	≤10%	≤15%	≤15%
12	0%	≥37%	0%	livre	≤80%	livre	livre	livre
13	0%	≥20%	0%	livre	≤80%	livre	livre	livre

FONTE: SANTOS (2012)

A palavra “livre” significa que, atendendo ao percentual, mínimo ou máximo, das restrições impostas para cada espécie, independente do percentual das demais espécies que complementarão o mix, não alterará as características do produto final.

Neste planejamento estratégico indústria/floresta foram testados 13 diferentes mix de consumo em um horizonte de planejamento de 20 anos. Existe uma variabilidade significativa entre eles, porém, todos os mix testados, *a priori*, atendem às especificações dos produtos finais.

Na FIGURA 15 pode ser observada a significativa variabilidade do conjunto de mix testados neste modelo de planejamento.

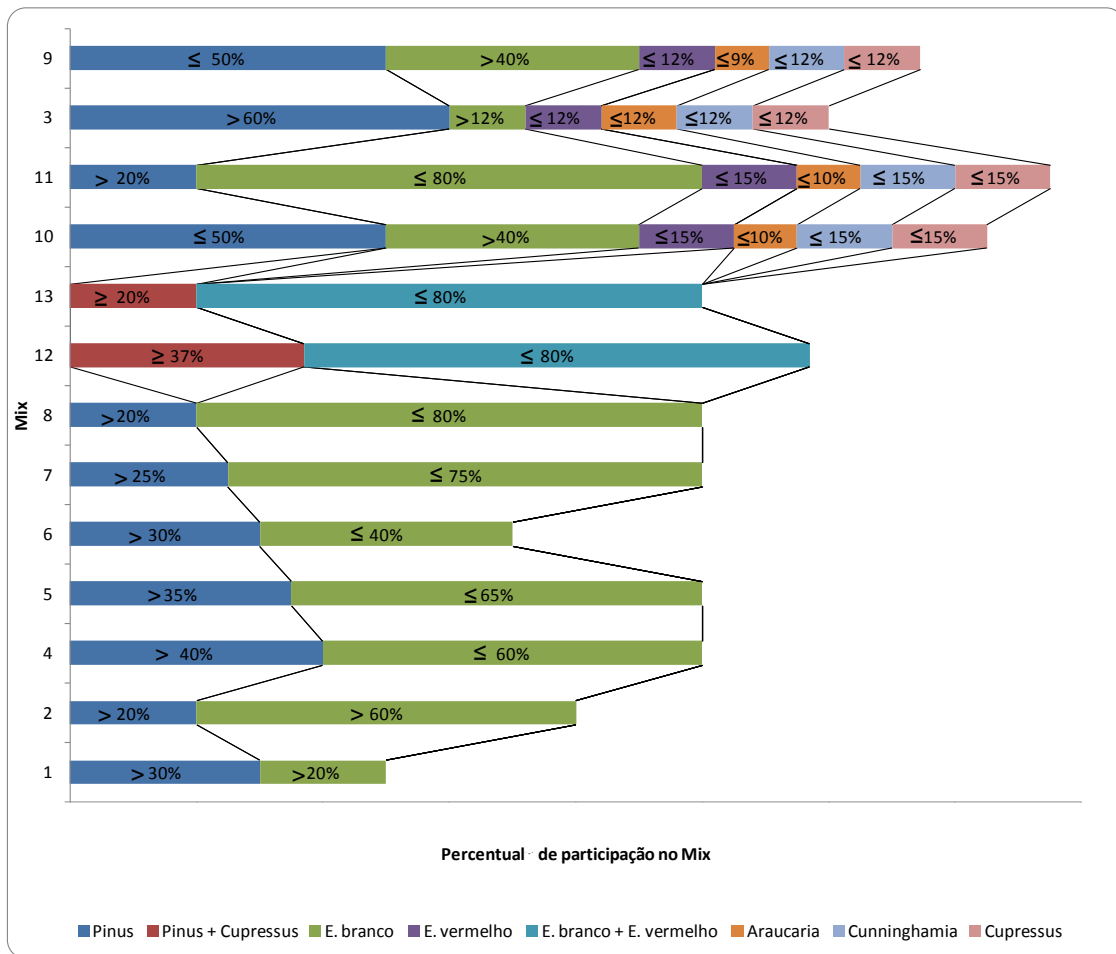


FIGURA 15 – Variações no mix de consumo no modelo de planejamento.
 FONTE: SANTOS (2012)

4.2.5 Etapa 5 – Parametrização do Software

O gerador de cenários otimizados foi o OpTimber-LP que é um *software* de planejamento florestal estratégico otimizado desenvolvido levando em consideração a vasta experiência dos responsáveis pelo planejamento de empresas florestais. Este software utiliza técnicas de programação linear para a otimização de resultados e pode ser direcionado para otimizar receitas, custos, volumes produzidos, VPL,

rotas, distância, tempo de transporte, custo de deslocamento e manutenção, entre outros.

O *software* Optimber-LP tem sido utilizado como ferramenta de auxílio à tomada de decisão e na resolução de problemas complexos de planejamento estratégico florestal onde diversos cenários são criados para serem analisados pelos tomadores de decisão.

A base de dados das três unidades foi obtida a partir do cadastro florestal que se encontra em um Sistema de Informação Geográfica (FIGURA16).

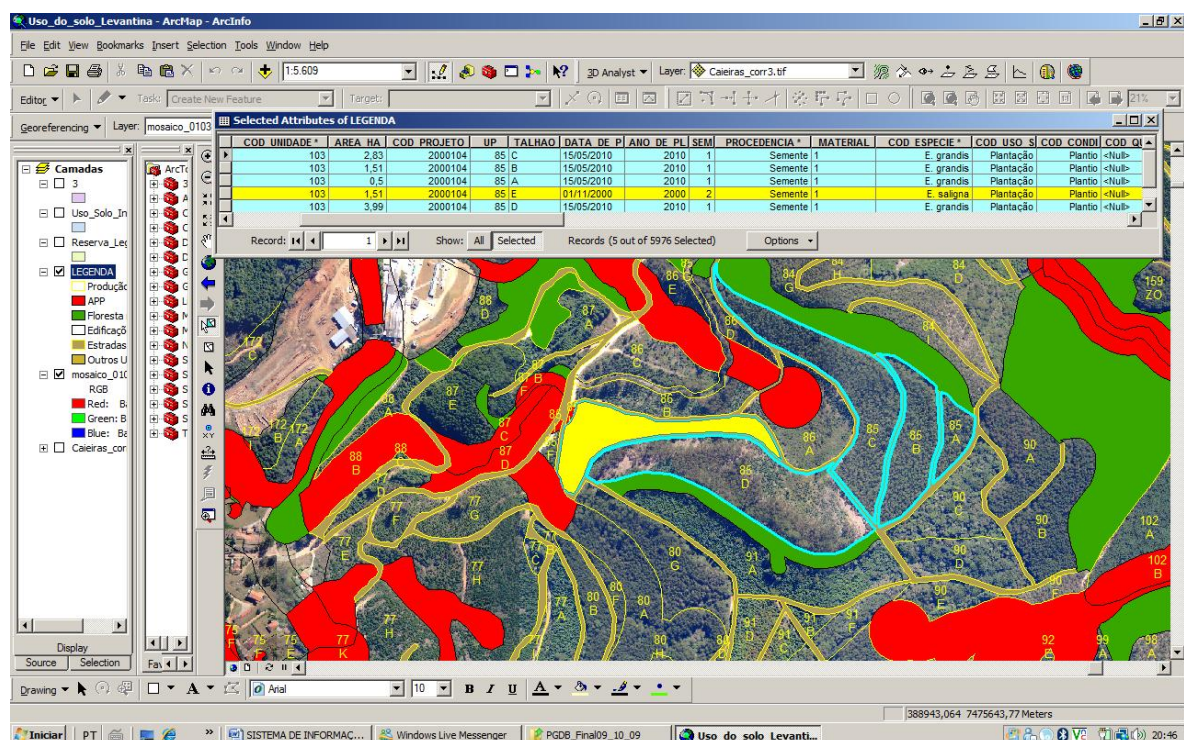


FIGURA 16 – Cadastro Florestal em Sistema de Informação Geográfica.
FONTE: SANTOS (2012)

O cadastro foi exportado do software de geoprocessamento para uma planilha eletrônica e foi organizado de forma tal que fosse capaz de ser importado pelo OpTimber-LP.

No OpTimber-LP as entradas de dados (FIGURA 17) são organizadas nas seguintes oito tabelas, as quais podem ser importadas de bancos de dados, planilhas eletrônicas ou até mesmo de arquivos texto:

- Fábrica
- Sítio, Espécie e Região
- Projeto e Fazenda

- Produtos Florestais/Industriais e sub-Produtos
- Regime de Manejo
- Restrição
- Tipo de Restrição
- Planejamento

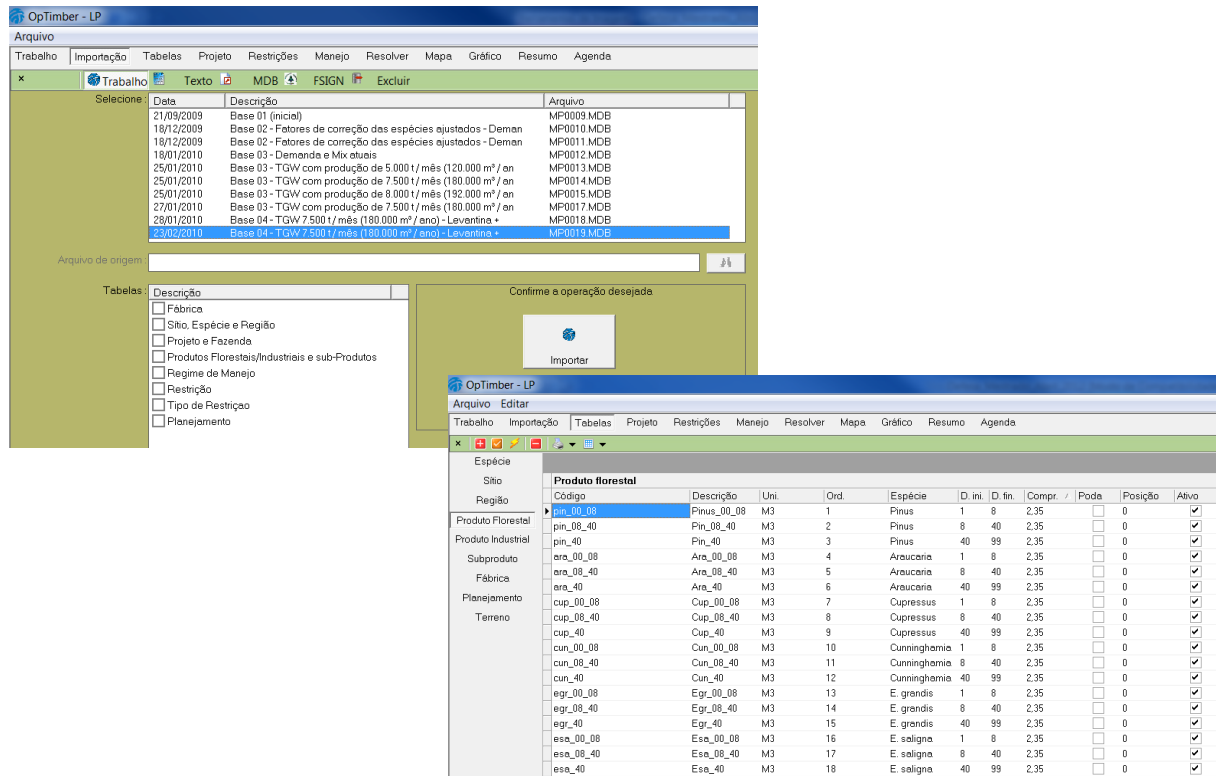


FIGURA 17 – Entrada de dados OpTimber-LP.
 FONTE: SANTOS (2012)

As saídas dos resultados são apresentadas na forma tabular e gráfica com as seguintes opções de filtros:

- Operação Florestal
 - Transferência
 - Compra
 - Venda
- Receita/Custo
 - Receita
 - Custo produção
 - Frete
 - Compra
 - Custo fixo
 - Margem
- Produção Total

- Manejo
- Tarefa
- Produto Florestal
- Produção
- Transporte
- % Demanda Certificada
- Idade
- IMA

Na FIGURA 18 é demonstrado um exemplo de saída dos resultados, na forma tabular e gráfica, para as operações florestais de transferência, compra e venda de madeira ao longo do horizonte de planejamento.

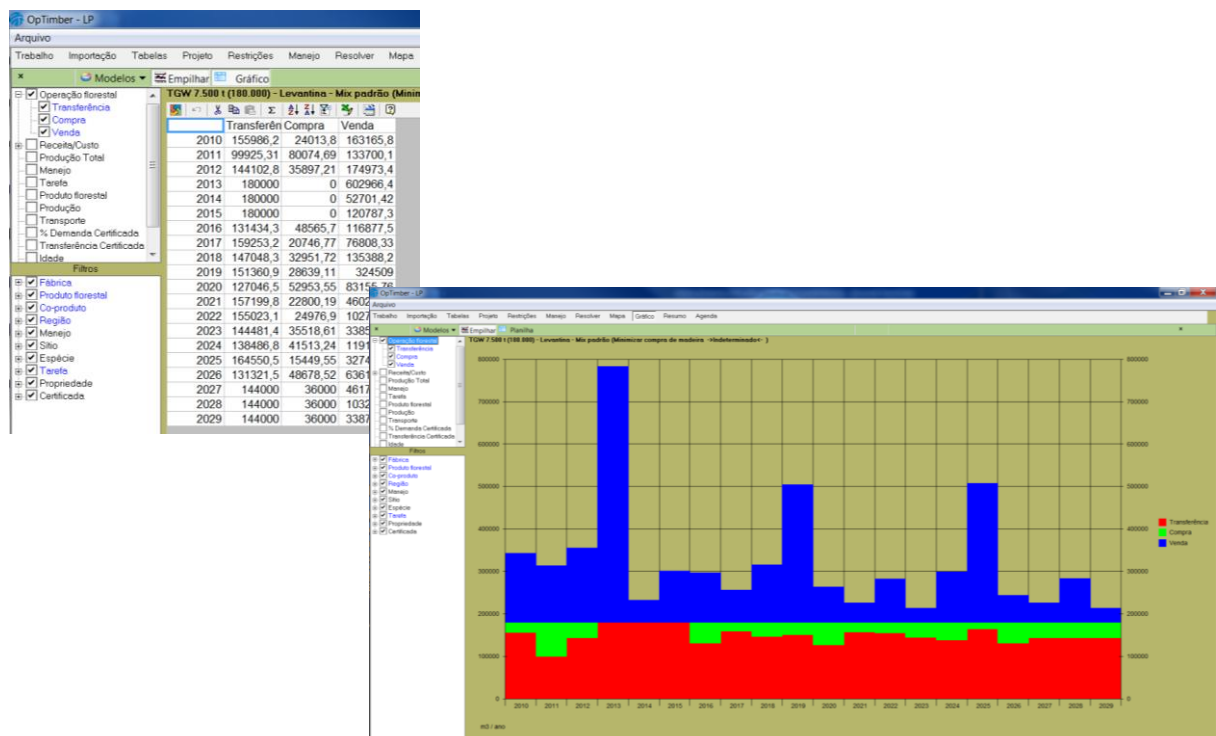


FIGURA 18 – Saída dos resultados na forma tabular e gráfica.
 FONTE: SANTOS (2012)

Na FIGURA 19 é apresentado um exemplo de saída dos resultados, na forma tabular, da agenda de operações florestais com os respectivos regimes de manejo adotados ao longo do horizonte de planejamento. Neste trabalho foram adotados os seguintes regimes de manejo:

- Corte Raso e venda da terra;
- Corte Raso e plantio de *Eucalyptus spp.*
- Corte Raso e plantio de *Pinus spp.*

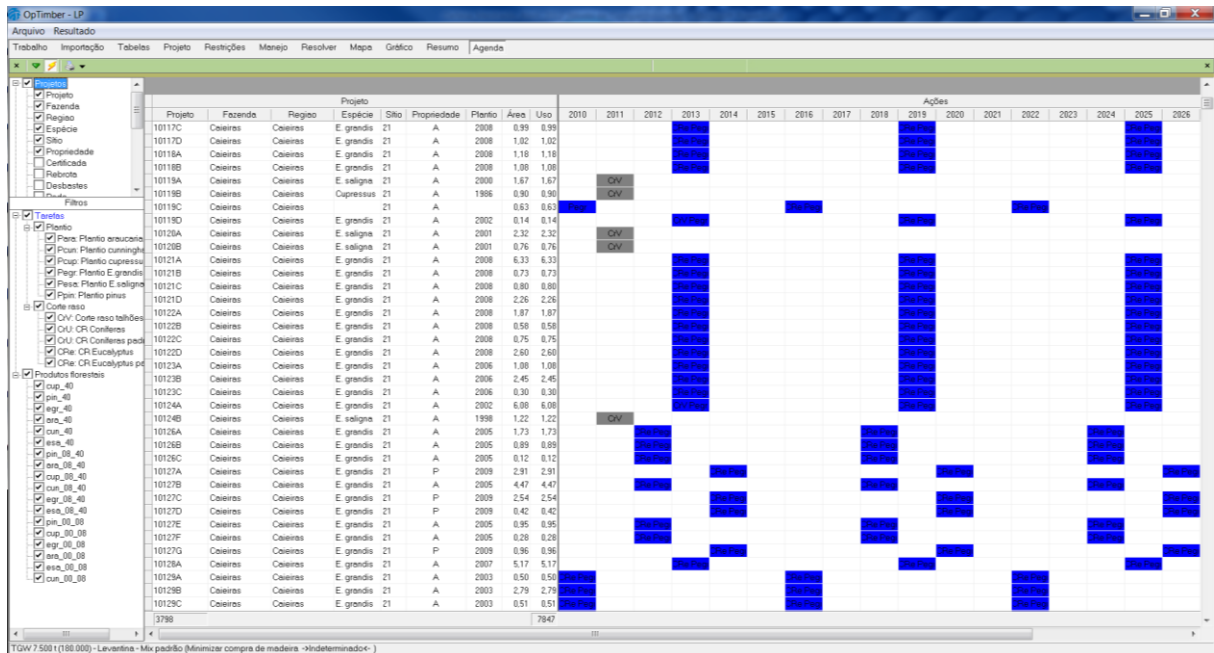


FIGURA 19 – Saída dos resultados na forma tabular da agenda de operações por regime de manejo.
 FONTE: SANTOS (2012)

As produções de madeira foram fundamentadas nos modelos de crescimento e produção previamente ajustados para *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. Para as demais espécies, como não foram ajustados modelos de crescimento, foram utilizadas informações de inventário florestal para aferir a produção total e a partir dela ajustar uma curva de produção empírica. Assim, as curvas de produção e as curvas de sítio do simulador foram ajustadas para representar o crescimento e a produção de madeira de todas as espécies ao longo do horizonte de planejamento de 20 anos.

Os sortimentos de toras parametrizados no simulador foram os mesmos das especificações e destinos da madeira.

4.2.6 Etapa 6 – Geração de Cenários – Função Objetivo e Restrições

A Função Objetivo (FO) utilizada para todos os cenários gerados foi a de maximizar a produção florestal, variando as restrições impostas, principalmente relacionadas à demanda de madeira, ao mix de consumo, madeira certificada e origem da madeira por unidade florestal.

O horizonte de planejamento considerado para este trabalho foi de 20 anos para os dez cenários avaliados.

Para todos os cenários foi proibida a compra de madeira no mercado, permitindo apenas a transferência do sortimento destinado ao processo TGW, ou seja, de 8 a 40 centímetros de diâmetro com 2,4 metros de comprimento.

Para o equilíbrio da produção e conseqüente regulação do manejo florestal, foi predeterminada uma variação na produção anual de 10% para mais ou para menos para cada unidade florestal. Para o equilíbrio da produção global das três unidades foi predeterminada uma variação entre -10% até +30% na produção anual.

Em relação à origem da madeira, dependendo do cenário, foi permitida a transferência de madeira das unidades Caieiras e Bragança Paulista apenas a partir dos anos 2014 e 2016 respectivamente.

Para o cenário 10, foram utilizadas algumas restrições adicionais, tais como: transferência mínima anual de 12.000 m³ da unidade de Bragança Paulista para o a fábrica TGW, transferência de madeira não certificada de Caieiras e Bragança Paulista limitada em 30% para atender à certificação FSC (*Forest Stewardship Council*) e limitação operacional de implantação florestal variando entre 500 e 550 hectares por ano na unidade Levantina.

Na TABELA 5 podem ser visualizados os principais cenários gerados com as restrições correspondentes:

TABELA 5 – PRINCIPAIS CENÁRIOS GERADOS COM SUAS RESPECTIVAS RESTRIÇÕES

VARIações E RESTRIçõES	CENÁRIOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V Prod. de TGW (t/ano)	60.000	60.000	60.000	90.000	90.000	96.000	96.000	90.000	90.000	90.000
A										
R Consumo Mad. (m³/ano)	120.000	120.000	120.000	180.000	180.000	192.000	192.000	180.000	180.000	180.000
I										
A MIX	1 e 2	3, 4, 5, 6, 7 e 8	8	3, 4, 5, 6, 7 e 8	8	9	8	10 e 11	8	12 e 13
Ç										
Õ Origem da Madeira*	1	1	1	1, 2 e 3	1, 2 e 3	1, 2 e 3	1, 2 e 3	1	1	1, 3
E										
S Função Objetivo	Máx. Prod.	Máx. Prod.	Máx. Prod.	Máx. Prod.	Máx. Prod.	Máx. Prod.	Máx. Prod.	Máx. Prod.	Máx. Prod.	Máx. Prod.
R										
Atender Demanda	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
E										
Mix Consumo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
S										
Limitação plantio										X
T										
Certificação FSC										X
R										
Limite mín. Transf.										X
I										
Regulação Florestal	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ç										
Õ										
E										
S										

*(1) Camanducaia, (2) Caieiras, (3) Santa Marina

FONTE: SANTOS (2012)

Na TABELA 6, podem ser observados mais detalhes sobre os cenários gerados e os mix de consumo correspondentes.

TABELA 6 – DETALHAMENTOS DOS CENÁRIOS E MIX DE CONSUMO.

CENÁRIO	MIX	ESPÉCIE	HORIZONTE DE PLANEJAMENTO																	Demanda Industrial (m³/ano)	Origem da madeira					
			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026			2027	2028	2029		
			PERCENTUAL DE CONSUMO DE MADEIRA DAS ESPÉCIES FLORESTAIS																							
1	1 e 2	Pinus	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	125.000	Levantina
		E. branco	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%		
		E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
		Araucaria	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
		Cunninghamia	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
		Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
		Pinus + Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
E. branco + E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
2	3, 4, 5, 6, 7 e 8	Pinus	60%	60%	60%	60%	60%	40%	35%	30%	25%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	120.000	Levantina	
		E. branco	12%	12%	12%	12%	12%	60%	65%	70%	75%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%			
		E. vermelho	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
		Araucaria	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
		Cunninghamia	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
		Cupressus	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
		Pinus + Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
E. branco + E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3	8	Pinus	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	120.000	Levantina	
		E. branco	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%			
		E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
		Araucaria	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
		Cunninghamia	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
		Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
		Pinus + Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
E. branco + E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
4	3, 4, 5, 6, 7 e 8	Pinus	60%	60%	60%	60%	60%	40%	35%	30%	25%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	180.000	Levantina+ Caieiras+ Bragança Paulista	
		E. branco	12%	12%	12%	12%	12%	60%	65%	70%	75%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%				
		E. vermelho	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
		Araucaria	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
		Cunninghamia	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
		Cupressus	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
		Pinus + Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
E. branco + E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
5	8	Pinus	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	180.000	Levantina+ Caieiras+ Bragança Paulista	
		E. branco	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%				
		E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
		Araucaria	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
		Cunninghamia	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
		Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
		Pinus + Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
E. branco + E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
6	9 e 8	Pinus	50%	50%	50%	50%	50%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	192.000	Levantina+ Caieiras+ Bragança Paulista	
		E. branco	40%	40%	40%	40%	40%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%					
		E. vermelho	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
		Araucaria	8,5%	8,5%	8,5%	8,5%	8,5%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
		Cunninghamia	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
		Cupressus	12%	12%	12%	12%	12%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
		Pinus + Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
E. branco + E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
7	8	Pinus	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	192.000	Levantina+ Caieiras+ Bragança Paulista	
		E. branco	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%					
		E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
		Araucaria	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
		Cunninghamia	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
		Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
		Pinus + Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
E. branco + E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
8	10 e 11	Pinus	50%	50%	50%	50%	50%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	180.000	Levantina		
		E. branco	40%	40%	40%	40%	40%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%						
		E. vermelho	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%						
		Araucaria	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%						
		Cunninghamia	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%						
		Cupressus	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%						
		Pinus + Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
E. branco + E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--								
9	8	Pinus	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	180.000	Levantina		
		E. branco	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%						
		E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
		Araucaria	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
		Cunninghamia	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
		Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
		Pinus + Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
E. branco + E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--								
10	12 e 13	Pinus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	180.000	Levantina + (min. 12.000 m³/ano) Bragança Paulista		
		E. branco	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
		E. vermelho	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
		Araucaria	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%						
		Cunninghamia	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%						
		Cupressus	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
		Pinus + Cupressus	37%	37%	37%	37%	37%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%						
E. branco + E. vermelho	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%								

FONTE: SANTOS (2012)

5 RESULTADOS

5.1 Classificação de sítios florestais

Na FIGURA 20 pode ser observado o resultado da classificação de sítios florestais para a espécie *Pinus* spp.

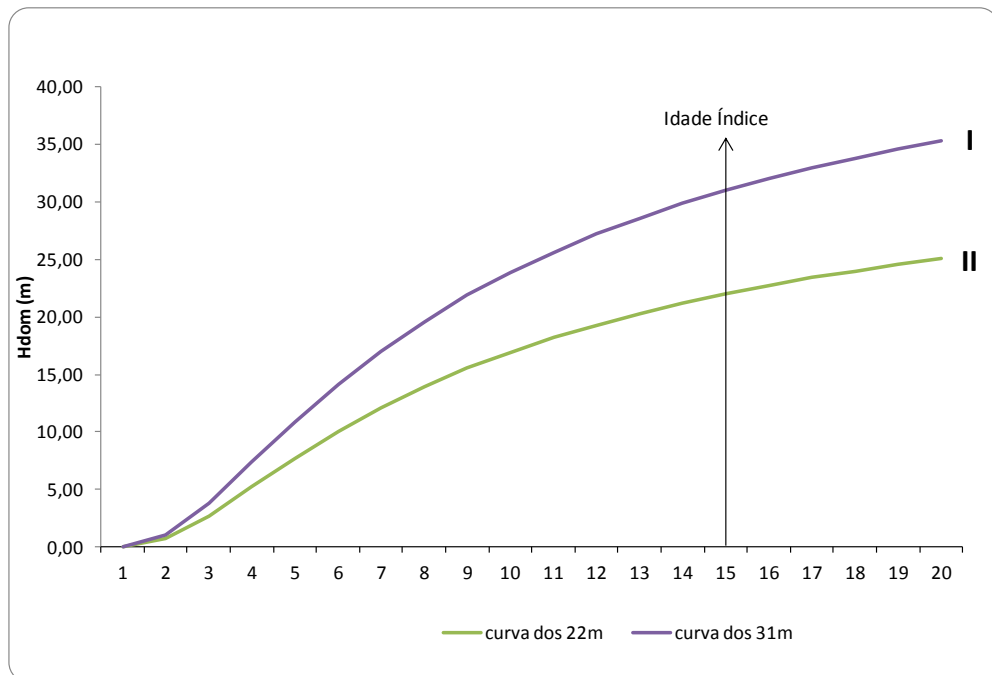


FIGURA 20 – Classificação de sítios florestais para *Pinus* spp.
 FONTE: SANTOS (2012)

Observa-se na FIGURA 20, a baixa frequência de pontos nas idades entre 10 e 13 anos, ocasionada pela pouca quantidade de área com plantios nessas idades.

O percentual da variância explicada para H_{dom} foi de 89,59% com um erro de 3,83 metros que representa percentualmente um erro médio de 17,84%.

Na FIGURA 21 pode ser observado o resultado da classificação de sítios florestais para a espécie *Eucalyptus* spp.

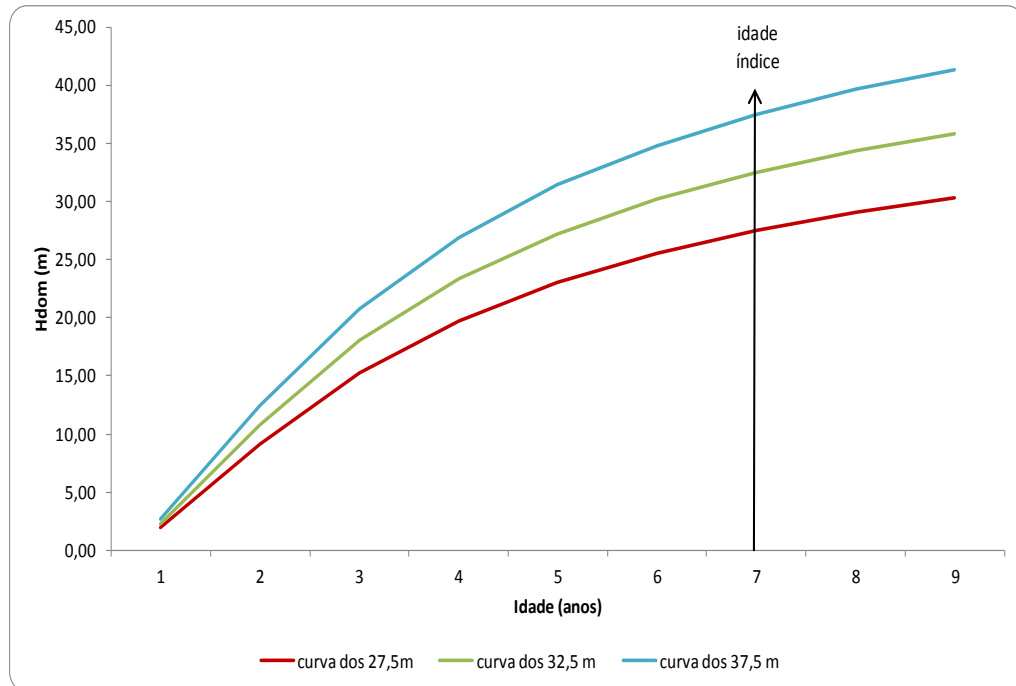


FIGURA 21 – Classificação de sítios florestais para *Eucalyptus* spp.
 FONTE: SANTOS (2012)

O percentual da variância explicada para H_{dom} foi de 87,80% com o erro padrão da estimativa de 2,90 metros que representa percentualmente um erro de 10,92%.

O resultado dos ajustes, tanto para o Pinus quanto para o Eucalyptus foi considerado bom e pode ser utilizado, no futuro, como norte na tentativa de efetuar o mapeamento geográfico dos sítios.

Nas condições atuais dos povoamentos, a variável sítio deve ser utilizada com cuidado uma vez que a floresta de coníferas está tendo sua participação reduzida em detrimento das folhosas. Portanto, não se sabe o comportamento que as florestas de Eucalyptus terão no mesmo espaço hoje ocupado por coníferas. Não há informações de crescimento e produção florestal, principalmente do gênero Eucalyptus em todas as idades e locais na unidade Levantina.

5.2 Crescimento e Produção

As curvas ajustadas segundo os modelos de crescimento e produção testados para *Pinus* spp. podem ser observadas nas FIGURAS 22, 23, 24, 25, 26 e 27.

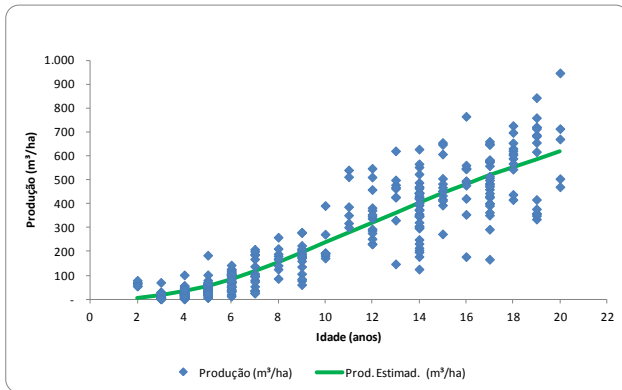


FIGURA 22 – Ajuste de modelo de Von Bertalanffy para *Pinus* spp
 FONTE: SANTOS (2012)

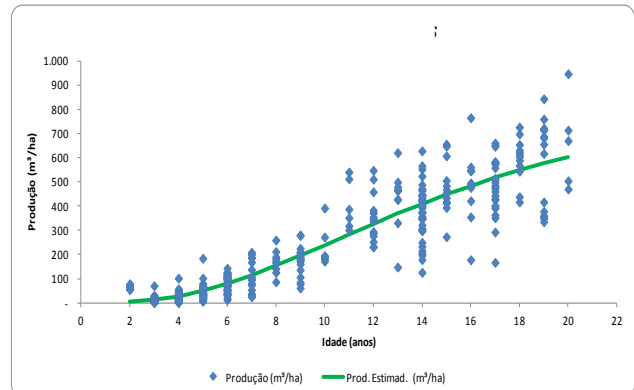


FIGURA 23 – Ajuste de modelo de Chapman Richards para *Pinus* spp
 FONTE: SANTOS (2012)

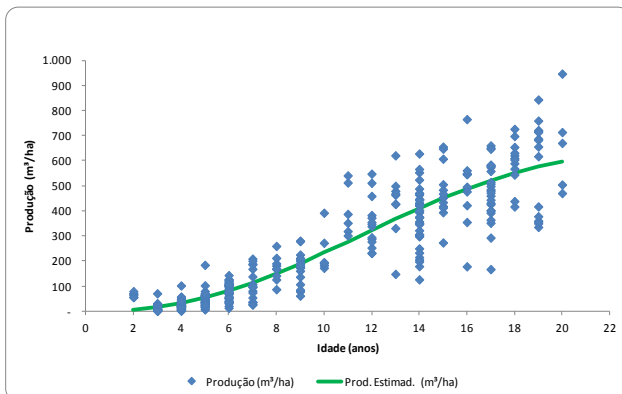


FIGURA 24 – Ajuste de modelo de Weibull para *Pinus* spp
 FONTE: SANTOS (2012)

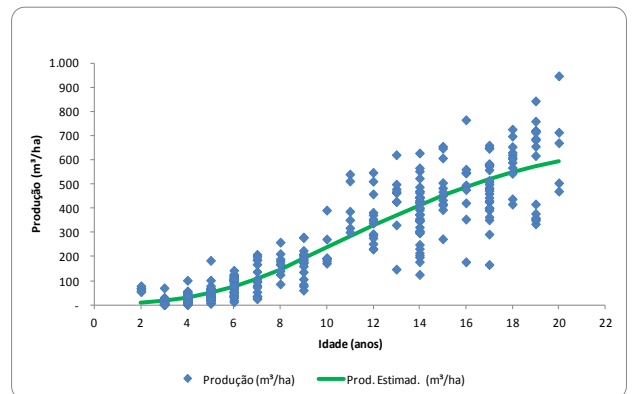


FIGURA 25 – Ajuste de modelo de Gompertz para *Pinus* spp
 FONTE: SANTOS (2012)

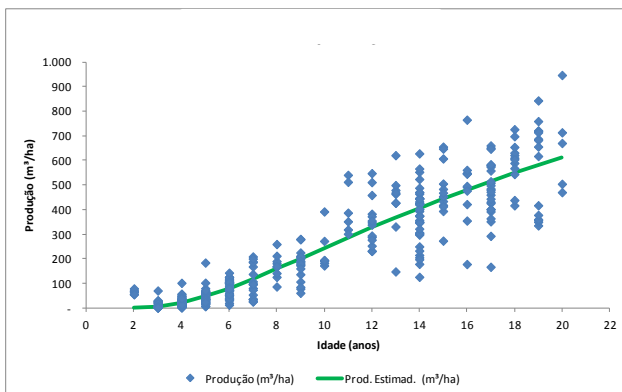


FIGURA 26 – Ajuste de modelo de Korf para *Pinus* spp
 FONTE: SANTOS (2012)

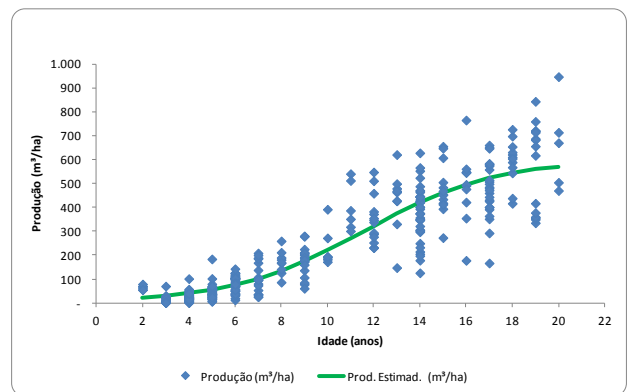


FIGURA 27 – Ajuste de modelo de Logística para *Pinus* spp
 FONTE: SANTOS (2012)

Na TABELA 7 pode ser observado o resumo dos ajustes dos modelos bem como os parâmetros estimados, percentual da variância explicada, erro padrão absoluto e erro médio percentual da estimativa.

TABELA 7 – RESUMO DOS AJUSTES DOS MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO TESTADOS PARA *Pinus* spp.

<i>Pinus</i> sp.							
Modelo	Fórmula	Parâmetros			% Var. Exp.	Syx (m ³)	Syx (%)
		β_0	β_1	β_2			
Chapman Richards	$bo*(1-\exp(-b1*I))^b2$	1028,1105	0,0775	2,1941	76,09%	55,81	13,18%
Von Bertalanffy	$bo*(1-\exp(-b1*I))^3$	841,1442	0,1127		76,28%	55,91	13,20%
Weibull	$bo*(1-EXP(-b1*I^b2))$	790,4244	0,0056	1,8530	76,13%	55,77	13,17%
Gompertz	$bo*EXP(-b1*EXP(-b2*I))$	804,4817	4,5320	0,1381	76,17%	55,71	13,16%
Korf	$bo*EXP(-b1*(I^b2))$	7582,8746	8,5546	0,4089	76,01%	55,90	13,20%
Logística	$bo/(1+b1*EXP(-b2*I))$	660,3560	26,3000	0,2730	76,11%	55,78	13,17%

FONTE: SANTOS (2012)

As curvas ajustadas conforme os modelos de crescimento e produção testados para *Eucalyptus* spp. podem ser observadas nas FIGURAS 28, 29, 30, 31, 32 e 33 relacionadas abaixo:

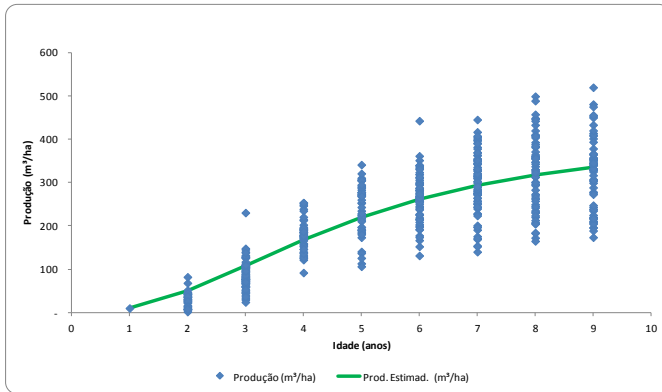


FIGURA 28 – Ajuste de modelo de Von Bertalanffy para *Eucalyptus* spp.
 FONTE: SANTOS (2012)

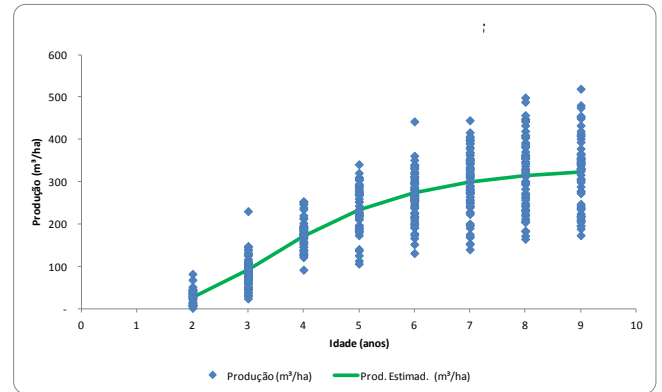


FIGURA 29 – Ajuste de modelo de Chapman Richards para *Eucalyptus* spp.
 FONTE: SANTOS (2012)

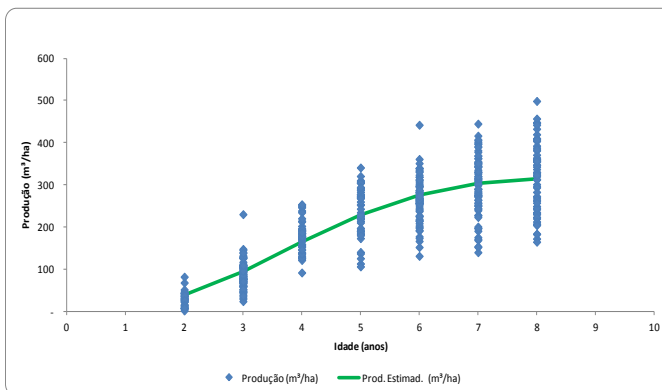


FIGURA 30 – Ajuste de modelo de Weibull para *Eucalyptus* spp.
 FONTE: SANTOS (2012)

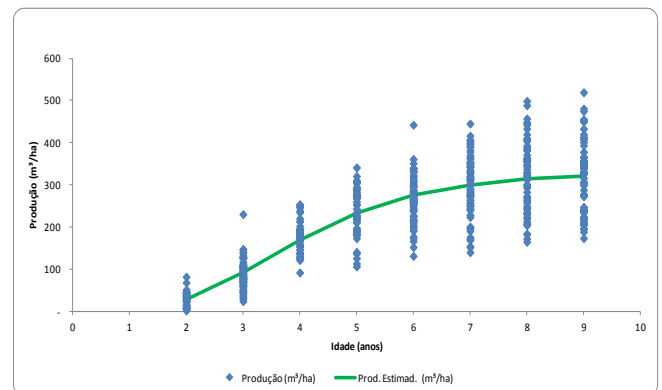


FIGURA 31 – Ajuste de modelo de Gompertz para *Eucalyptus* spp.
 FONTE: SANTOS (2012)

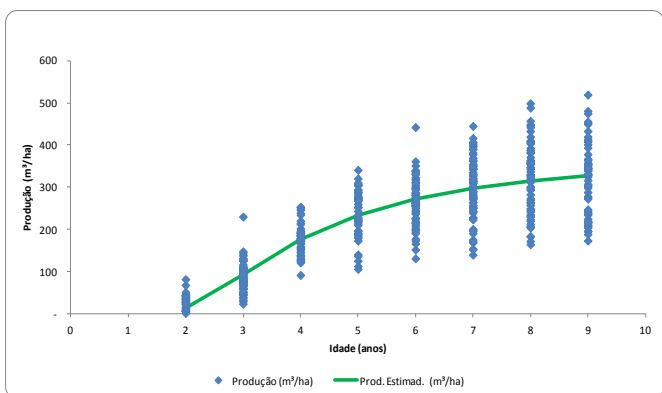


FIGURA 32 – Ajuste de modelo de Korf para *Eucalyptus* spp.
 FONTE: SANTOS (2012)

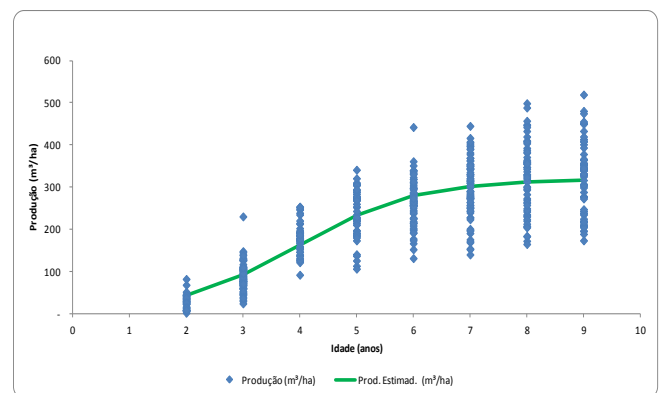


FIGURA 33 – Ajuste de modelo de Logística para *Eucalyptus* spp.
 FONTE: SANTOS (2012)

Na TABELA 8 pode ser observado o resumo dos ajustes dos modelos bem como os parâmetros estimados, percentual da variância explicada, erro padrão absoluto e erro médio percentual da estimativa.

TABELA 8 – RESUMO DOS AJUSTES DOS MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO TESTADOS PARA *Eucalyptus spp.*

<i>Eucalyptus sp.</i>							
Autor	Modelo	Parâmetros			% Var. Exp.	Syx (m ³)	Syx (%)
		β_0	β_1	β_2			
Von Bertalanffy	$bo*(1-\exp(-b1*I))^3$	377,6422	0,3603		74,73%	62,11	27,17%
Chapman Richards	$bo*(1-\exp(-b1*I))^b2$	331,7122	0,6105	7,3054	74,37%	60,86	26,62%
Weibull	$bo*(1-EXP(-b1*I^b2))$	319,5072	0,0222	2,3615	74,06%	61,14	26,74%
Gompertz	$bo*EXP(-b1*EXP(-b2*I))$	329,0815	9,0724	0,6545	74,35%	60,87	26,63%
Korf	$bo*EXP(-b1*(I^b2))$	375,6006	13,8022	2,0892	74,35%	60,92	26,65%
Logística	$bo/(1+b1*EXP(-b2*I))$	318,4645	44,0320	0,9598	73,94%	61,29	26,81%

FONTE: SANTOS (2012)

5.3 Geração de Cenários – Função Objetivo, Restrições e Solução

Os resultados dos cenários foram analisados conjuntamente considerando as similaridades de demanda industrial e origem da madeira conforme segue:

- Cenários 1, 2 e 3 – Demanda industrial de 120 a 125 mil m³/ano abastecida pela unidade Levantina;
- Cenários 4, 5, 6 e 7 – Demanda 180 a 192 mil m³/ano abastecida pelas três unidades;
- Cenários 8, 9 e 10 – Demanda 180 mil m³/ano abastecida apenas pela unidade Levantina ou Levantina associada com Santa Marina.

5.3.1 Cenários 1, 2 e 3 – Demanda industrial de 120 a 125 mil m³/ano abastecido pela unidade Levantina

Dentre os três primeiros cenários gerados, apenas o segundo (FIGURA 34) apresenta sustentabilidade da produção. A sustentabilidade do segundo cenário é decorrente do uso das demais espécies diferentes de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. em um percentual de 12% nos primeiros cinco anos do horizonte de planejamento (FIGURA 35);

A evolução das restrições e a dinâmica de alteração do manejo florestal ao longo do horizonte de planejamento podem ser observadas nas FIGURAS 36 e 37.

No primeiro e no terceiro cenário onde não há sustentabilidade na oferta (FIGURAS 38 e 39) há déficit de madeira de *Eucalyptus* branco a partir de 2016 e 2010 respectivamente (FIGURAS 40 e 41). A evolução das restrições para esses dois cenários é observada nas FIGURAS 42 e 43.

A regulação do manejo florestal dos cenários um e três pode ser observada nas FIGURAS 44 e 45.

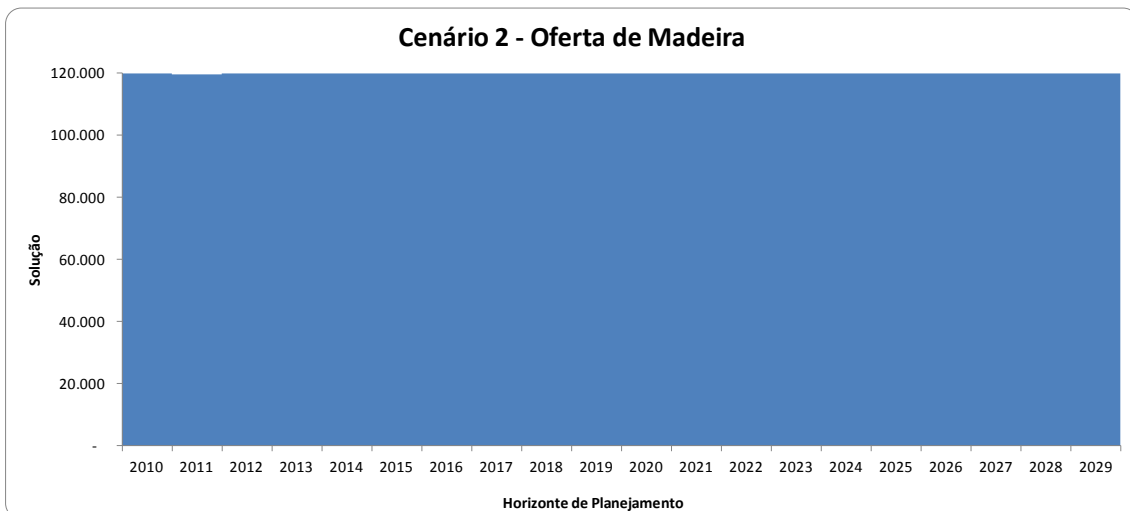


FIGURA 34 – Sustentabilidade da oferta de madeira no cenário 2
 FONTE: SANTOS (2012)

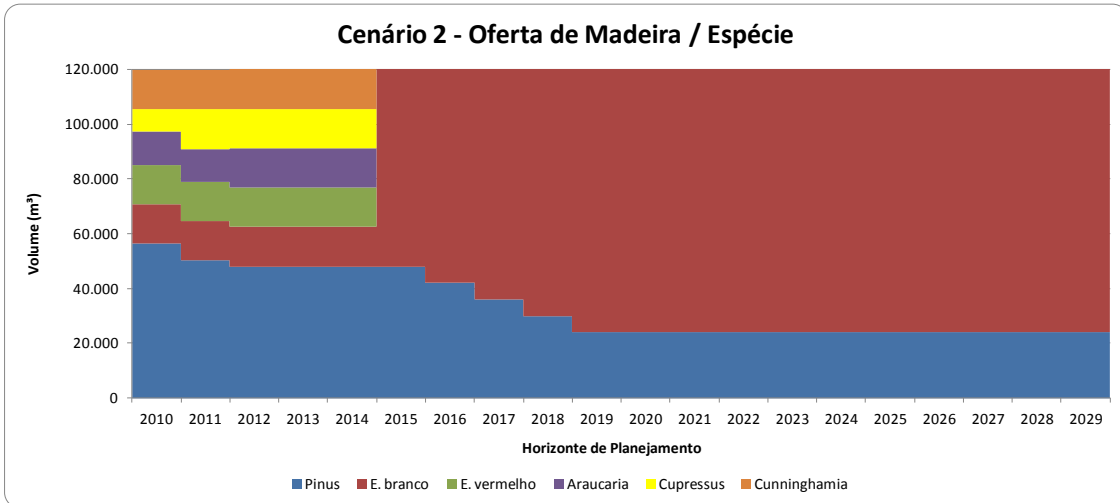


FIGURA 35 – Oferta de madeira por espécie no cenário 2
 FONTE: SANTOS (2012)

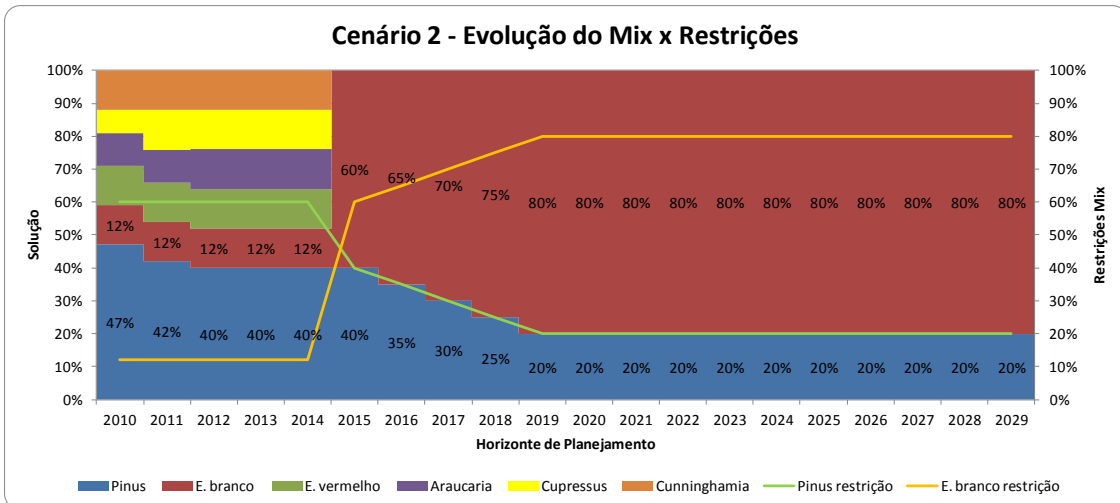


FIGURA 36 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 2
 FONTE: SANTOS (2012)

Observa-se na FIGURA 36 a evolução das restrições de mix impostas ao longo do horizonte de planejamento. As linhas no gráfico representam as restrições impostas para o *Pinus* e *Eucalyptus* branco. As espécies com menor participação no mix têm sua oferta finalizada no ano de 2014.

Na FIGURA 37 pode ser observada a regulação do manejo florestal ao longo do horizonte de planejamento onde a floresta é convertida apenas em *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp.

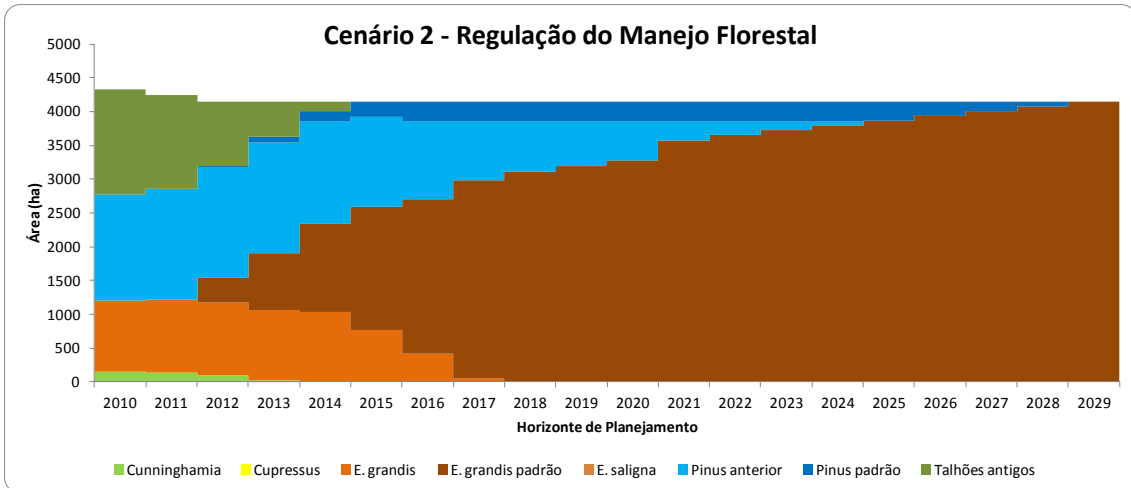


FIGURA 37 – Regulação do manejo florestal no cenário 2
 FONTE: SANTOS (2012)

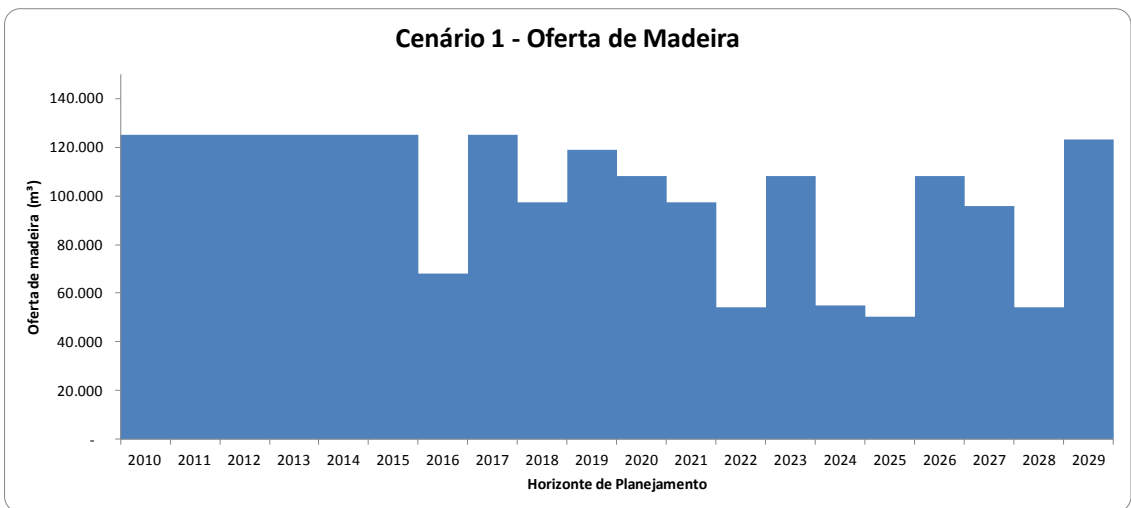


FIGURA 38 – Oferta de madeira no cenário 1
 FONTE: SANTOS (2012)

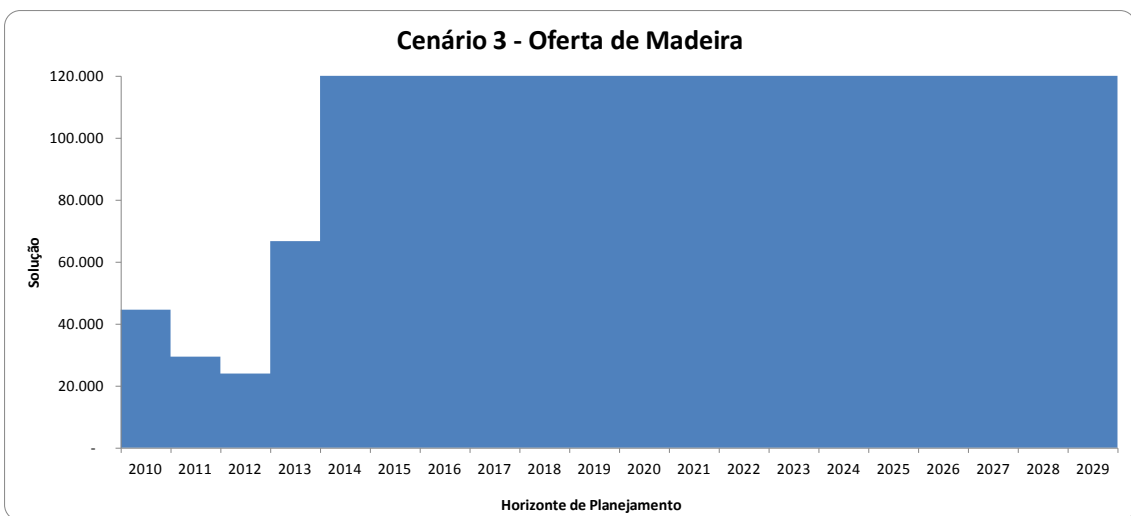


FIGURA 39 – Oferta de madeira no cenário 3
 FONTE: SANTOS (2012)

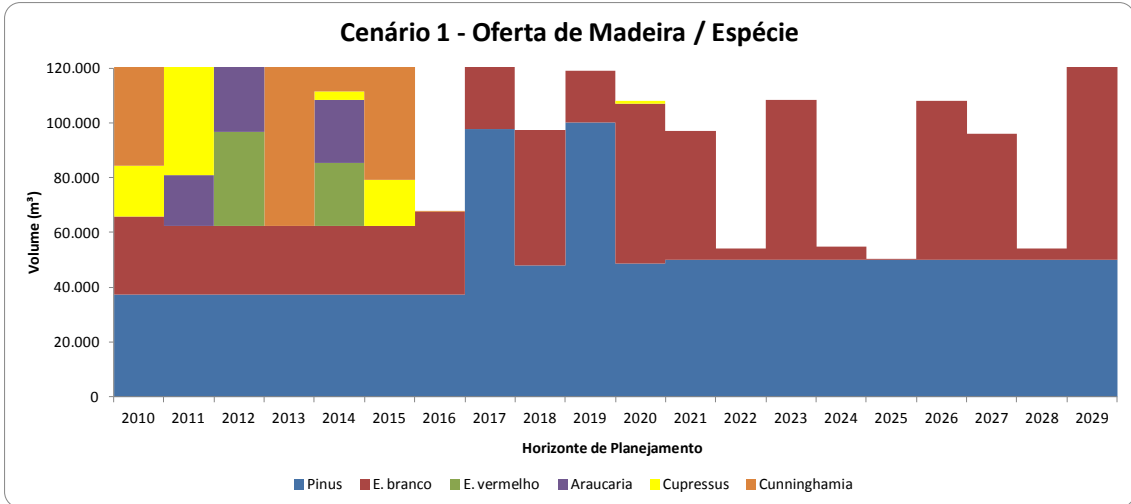


FIGURA 40 – Oferta de madeira por espécie no cenário 1
 FONTE: SANTOS (2012)

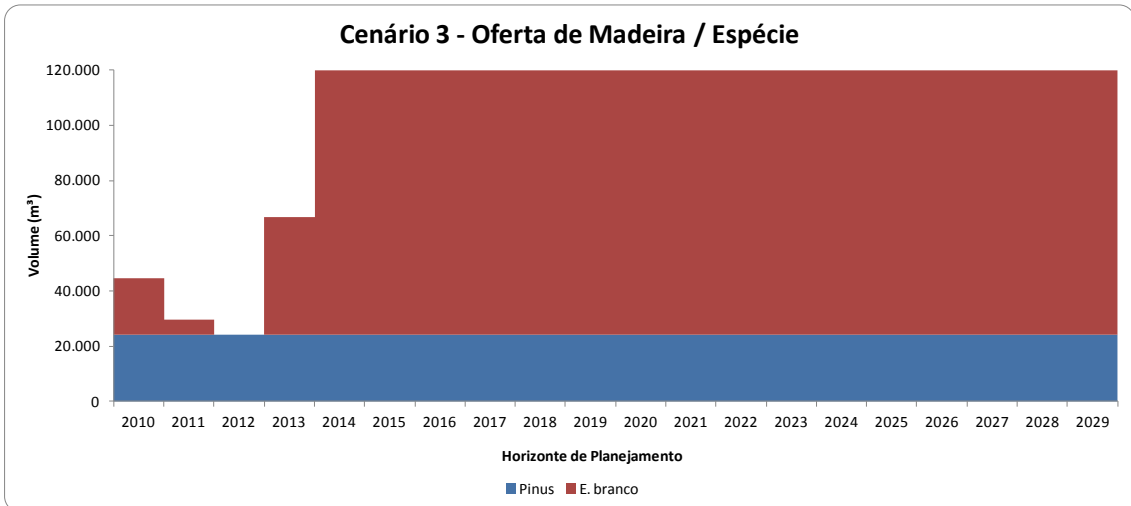


FIGURA 41 – Oferta de madeira por espécie no cenário 3
 FONTE: SANTOS (2012)

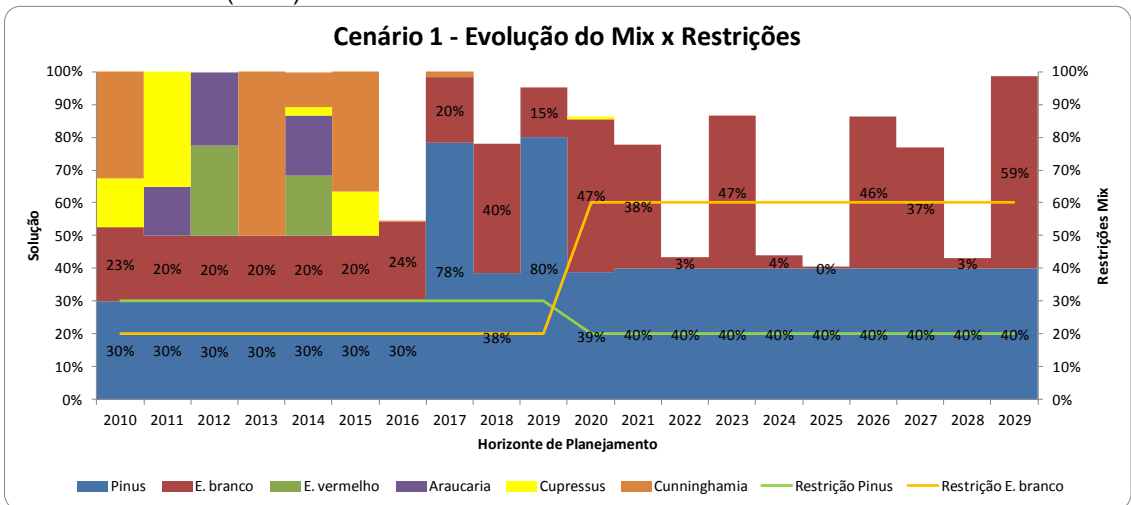


FIGURA 42 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 1
 FONTE: SANTOS (2012)

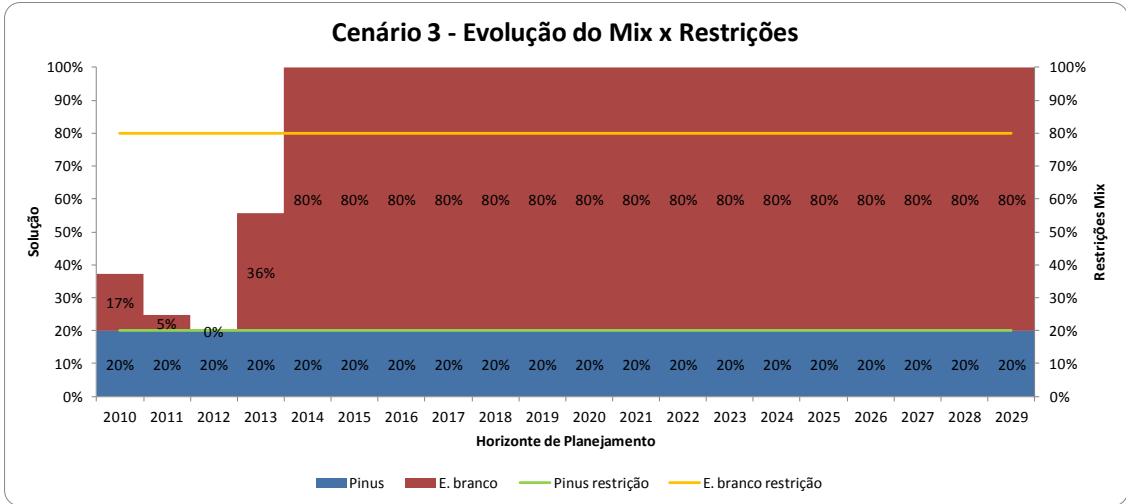


FIGURA 43 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 3
 FONTE: SANTOS (2012)

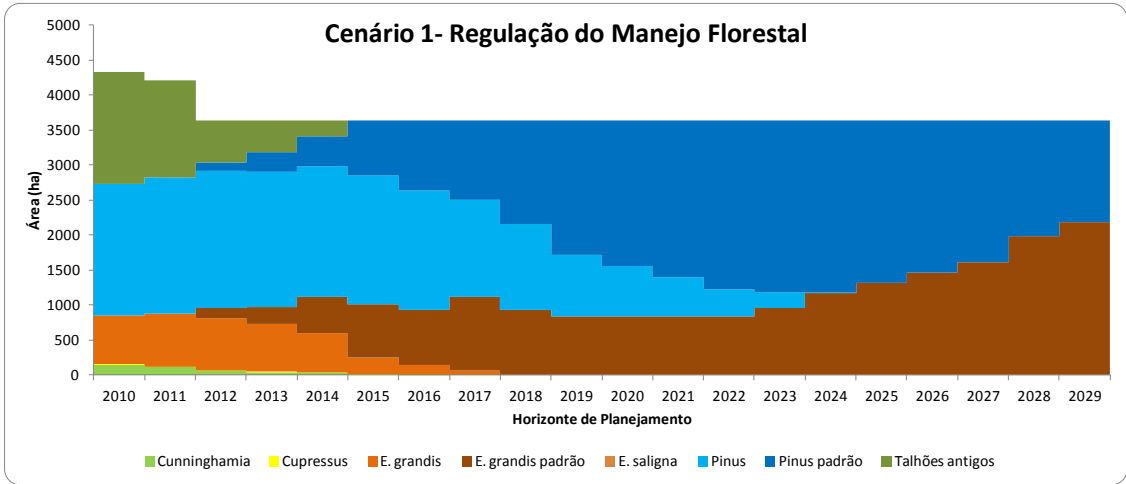


FIGURA 44 – Regulação do manejo florestal no cenário 1
 FONTE: SANTOS (2012)

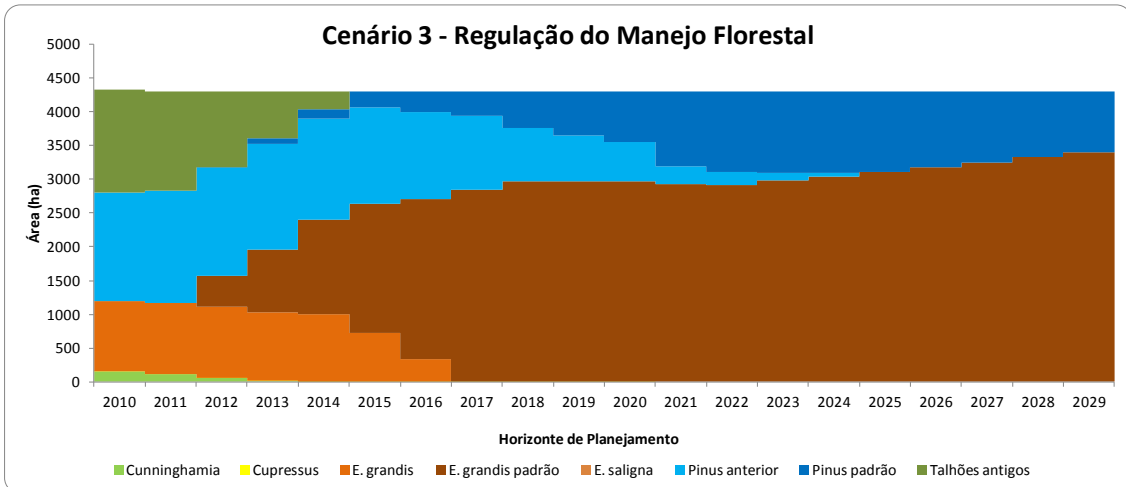


FIGURA 45 – Regulação do manejo florestal no cenário 3
 FONTE: SANTOS (2012)

5.3.2 Cenários 4, 5, 6 e 7 – Demanda de 180 a 192 mil m³/ano abastecida pelas três unidades

Não há sustentabilidade nesses quatro cenários nos primeiros três e quatro anos (FIGURAS 46, 47, 48 e 49). Isso ocorreu em virtude da demanda ter sido aumentada em 50% nos cenários 4 e 5, em 60% nos cenários 6 e 7 e também em função do mix de consumo que limita a participação das demais espécies em todos os quatro cenários. No entanto esses quatro cenários passam a ser sustentáveis a partir do quarto e quinto ano do horizonte de planejamento.

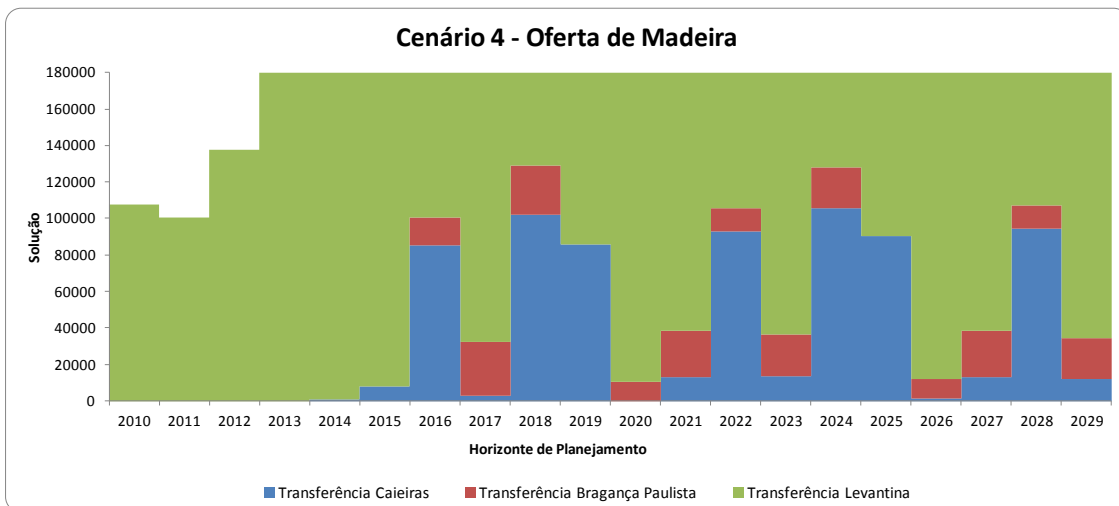


FIGURA 46 – Oferta de madeira no cenário 4
 FONTE: SANTOS (2012)

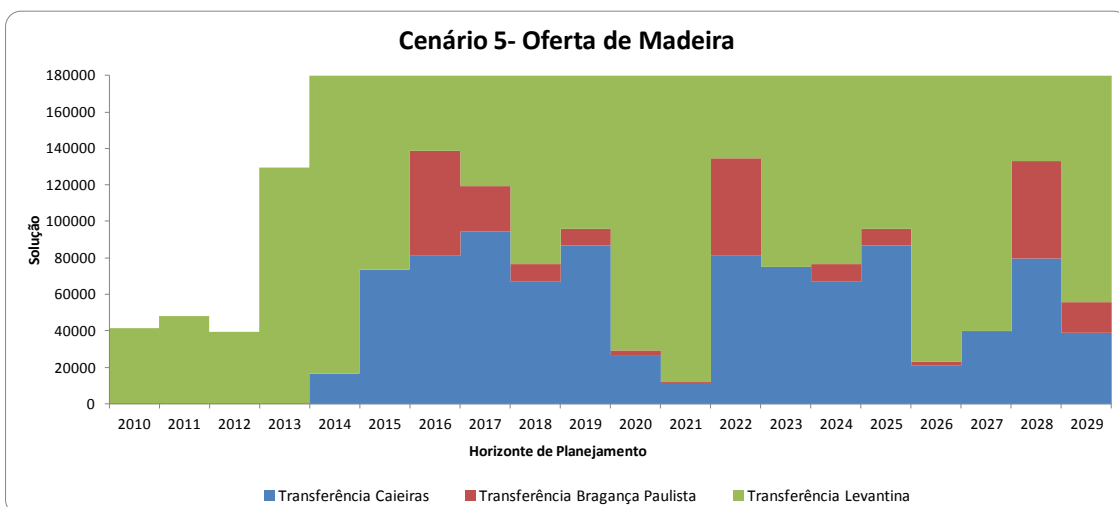


FIGURA 47 – Oferta de madeira no cenário 5
 FONTE: SANTOS (2012)

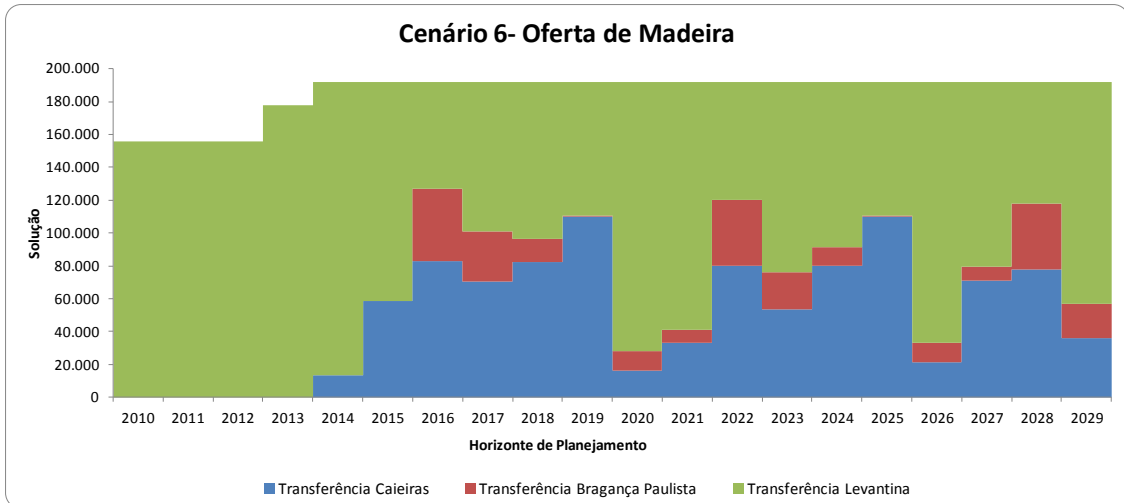


FIGURA 48 – Oferta de madeira no cenário 6
 FONTE: SANTOS (2012)

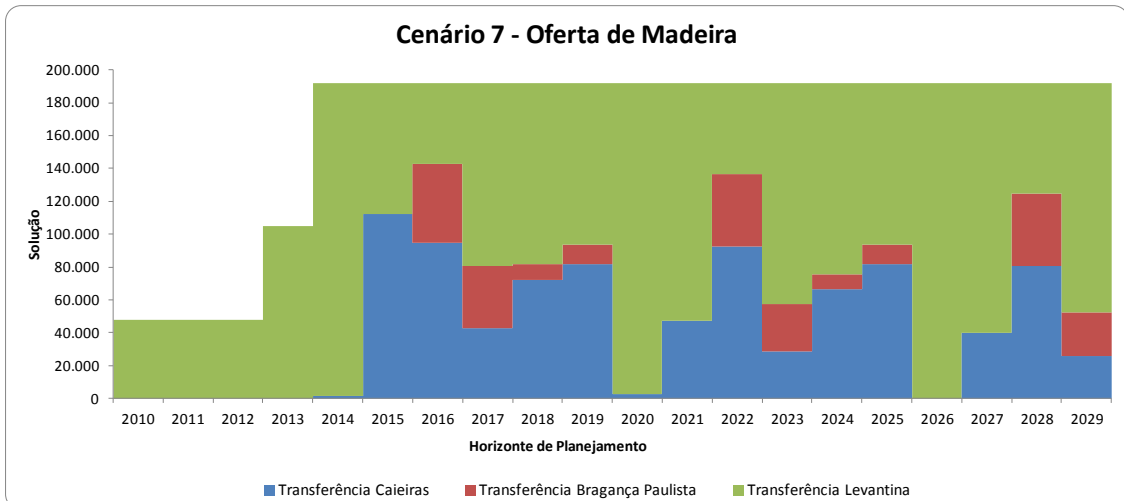


FIGURA 49 – Oferta de madeira no cenário 7
 FONTE: SANTOS (2012)

Nos cenários 4 e 6 as espécies com menor participação no mix têm sua oferta finalizada no ano de 2014. A partir de 2015 passa-se a utilizar apenas os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Nas FIGURAS 50, 51, 52 e 53 pode ser observada a oferta de madeira por espécie ao longo do horizonte de planejamento para os cenários analisados. No cenário 4 há déficit de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* branco. Nos cenários 5, 6 e 7 a espécie limitante é apenas o *Eucalyptus* branco.

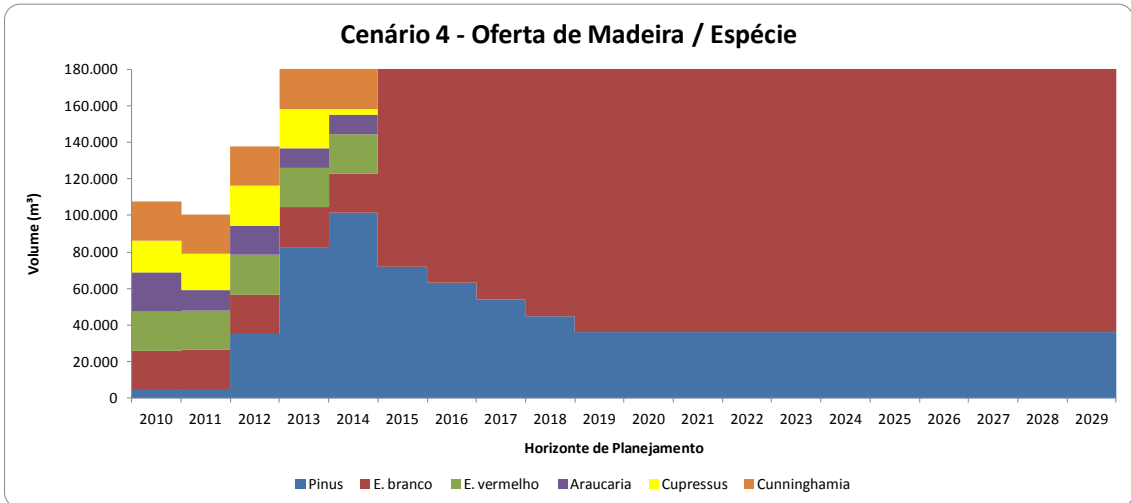


FIGURA 50 – Oferta de madeira por espécie no cenário 4
 FONTE: SANTOS (2012)

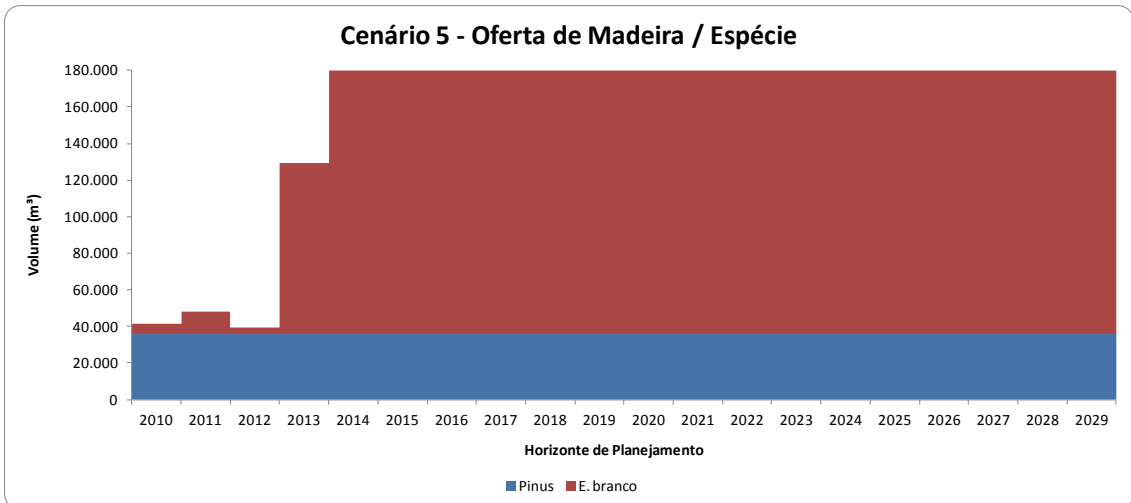


FIGURA 51 – Oferta de madeira por espécie no cenário 5
 FONTE: SANTOS (2012)

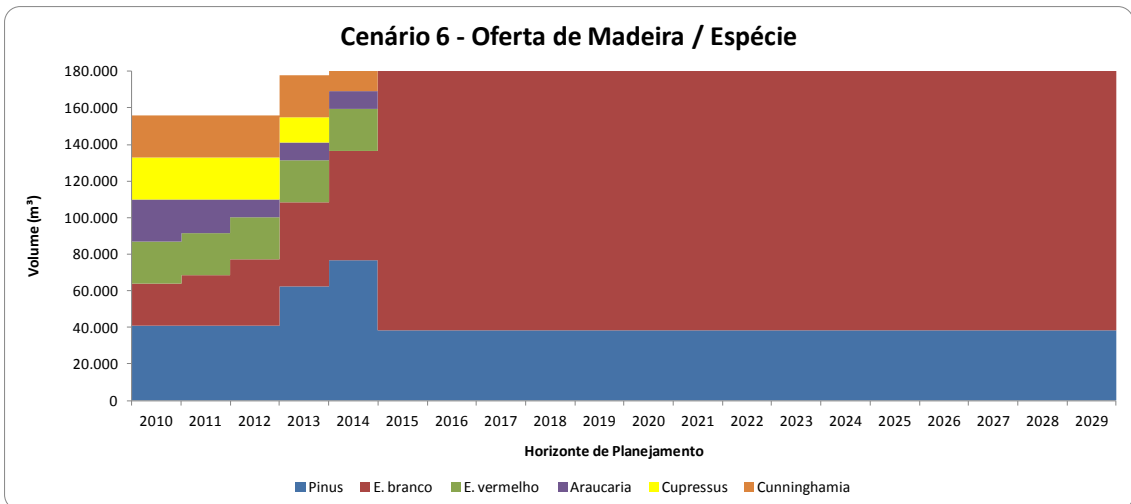


FIGURA 52 – Oferta de madeira por espécie no cenário 6
 FONTE: SANTOS (2012)

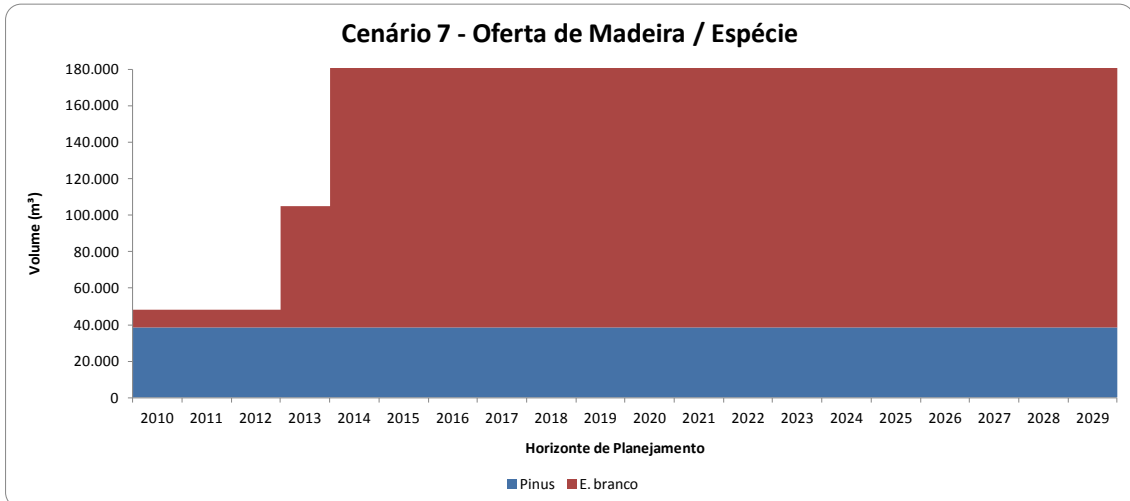


FIGURA 53 – Oferta de madeira por espécie no cenário 7
 FONTE: SANTOS (2012)

Nas FIGURAS 54, 55, 56 e 57 observa-se, nas linhas, a evolução das restrições impostas para o *Pinus* spp. e *Eucalyptus* branco ao longo do horizonte de planejamento para os cenários analisados.

A regulação do manejo florestal dos cenários analisados pode ser observada nas FIGURAS 58, 59, 60 e 61.

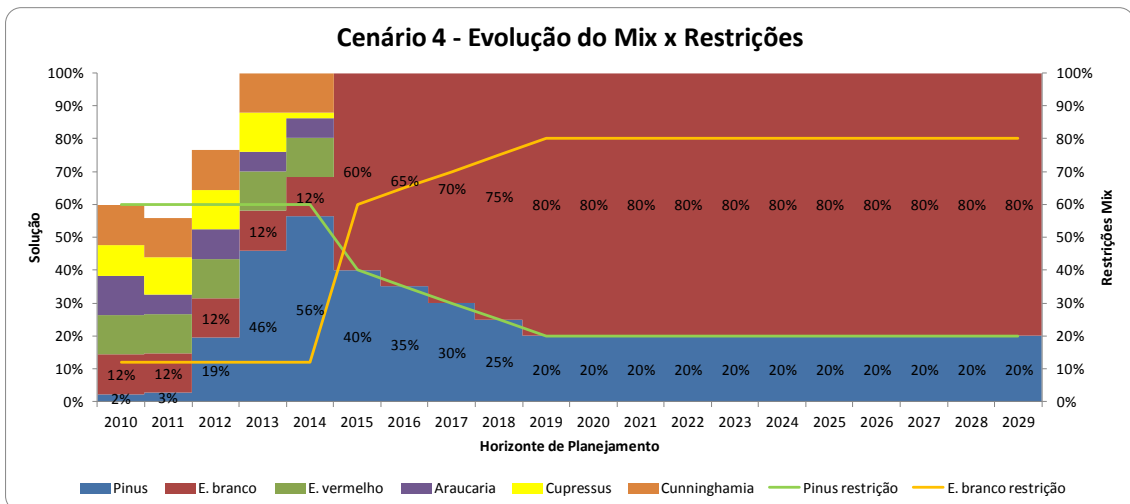


FIGURA 54 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 4
 FONTE: SANTOS (2012)

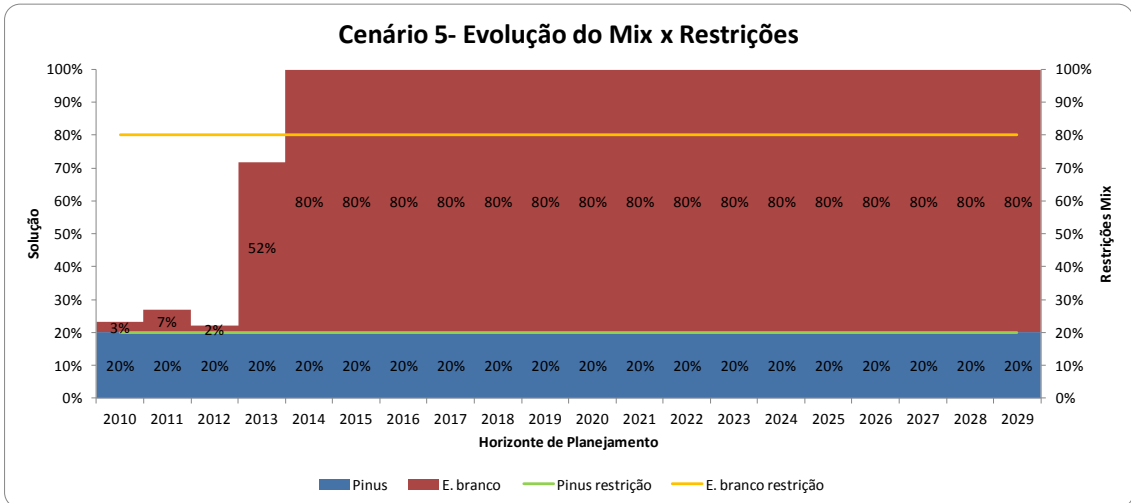


FIGURA 55 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 5
 FONTE: SANTOS (2012)

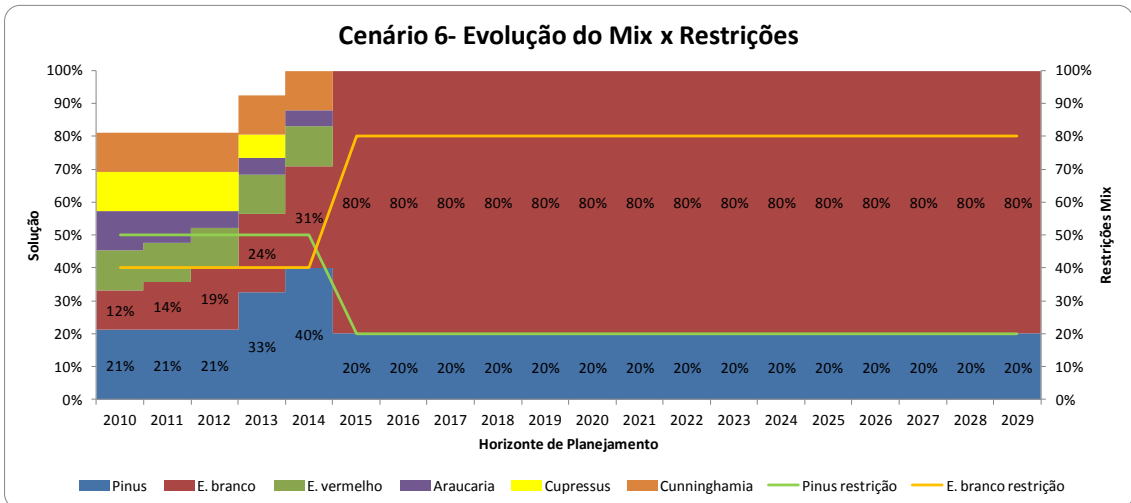


FIGURA 56 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 6
 FONTE: SANTOS (2012)

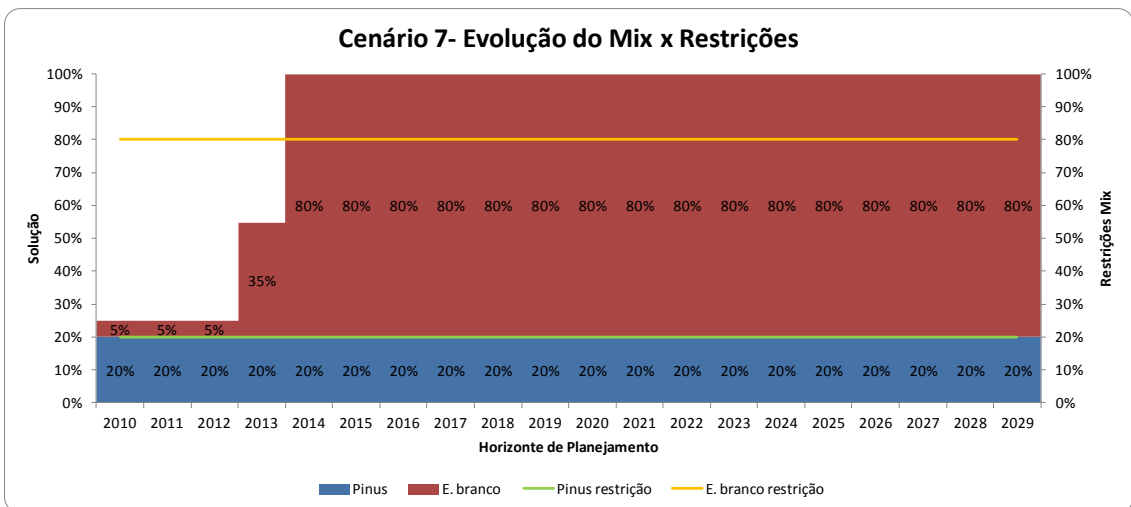


FIGURA 57 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 7
 FONTE: SANTOS (2012)

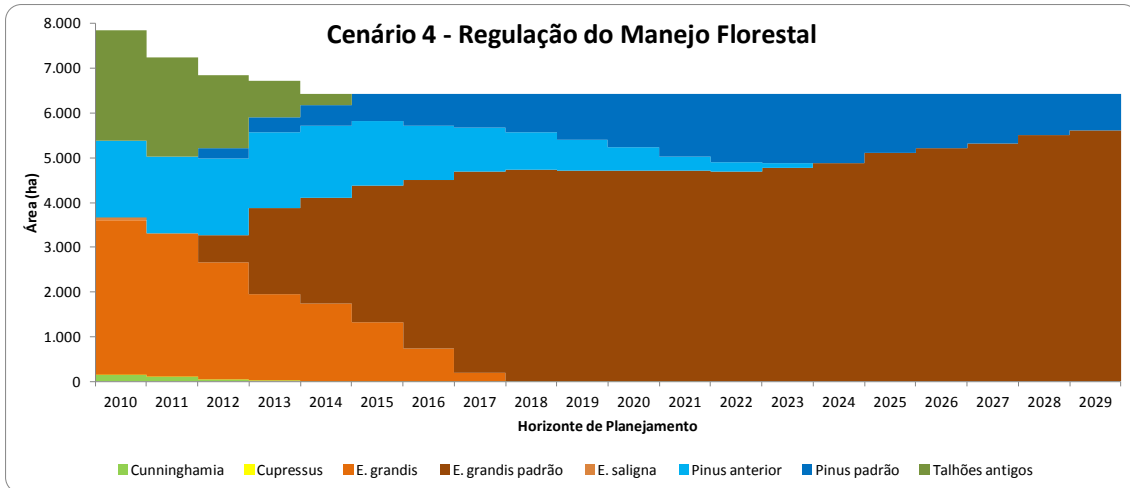


FIGURA 58 – Regulação do manejo florestal no cenário 4
 FONTE: SANTOS (2012)

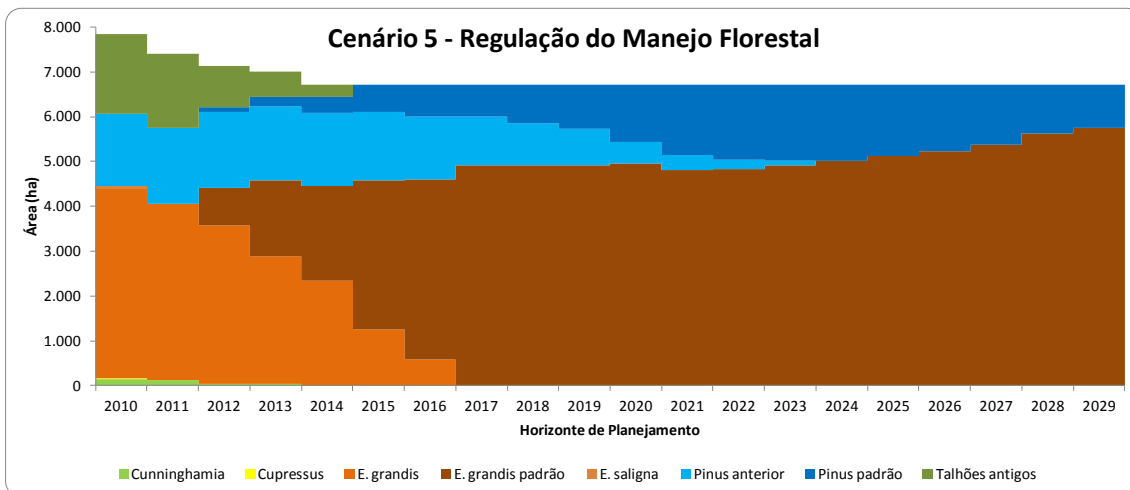


FIGURA 59 – Regulação do manejo florestal no cenário 5
 FONTE: SANTOS (2012)

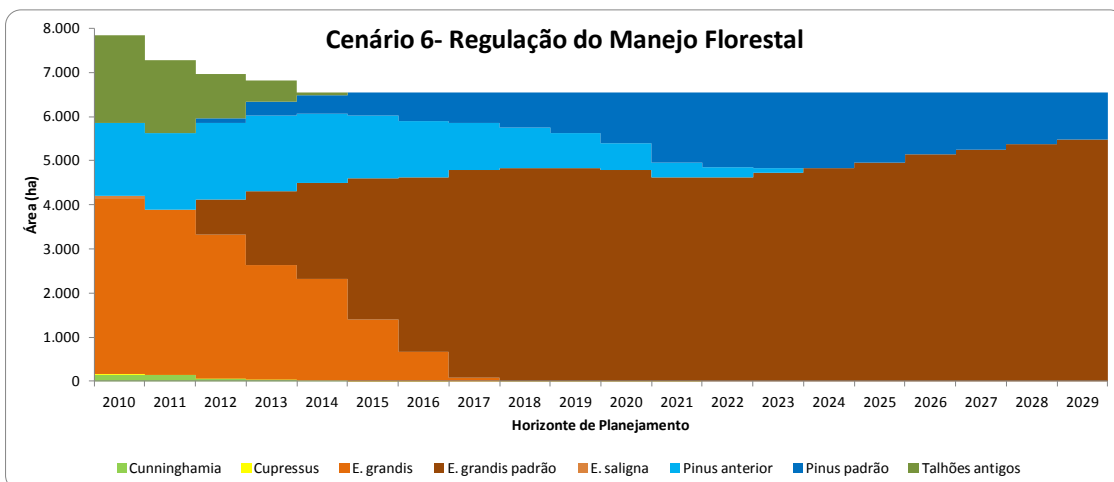


FIGURA 60 – Regulação do manejo florestal no cenário 6
 FONTE: SANTOS (2012)

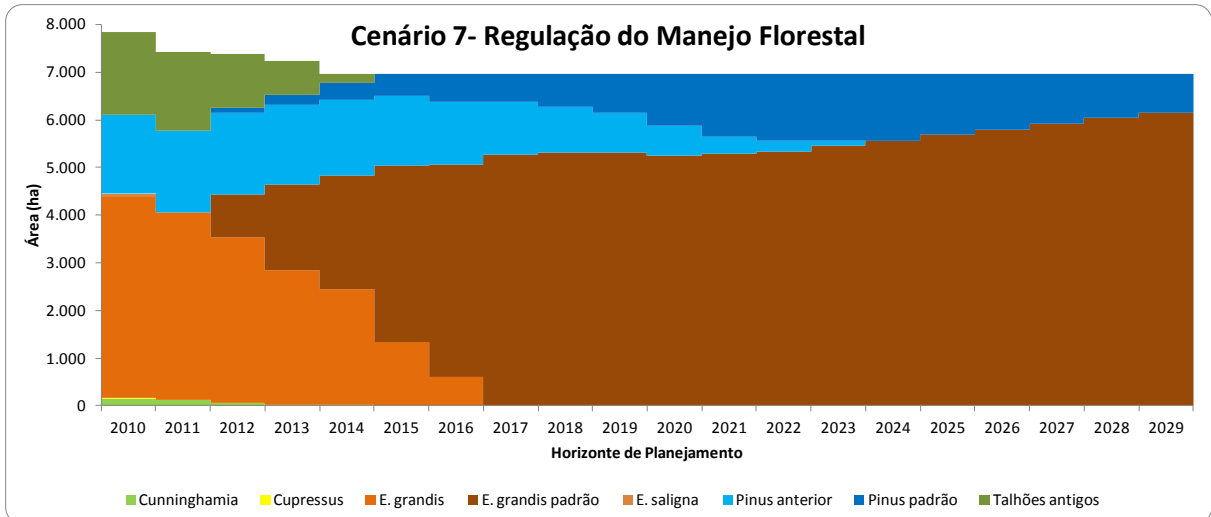


FIGURA 61 – Regulação do manejo florestal no cenário 7
 FONTE: SANTOS (2012)

5.3.3 Cenários 8, 9 e 10 – Demanda de 180 mil m³/ano abastecida apenas pela unidade Levantina ou Levantina associada com Santa Marina.

Dentre os três cenários gerados, apenas o décimo apresenta sustentabilidade da produção. A sustentabilidade do décimo cenário é decorrente do uso mais intenso das espécies diferentes de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* nos primeiros seis anos do horizonte de planejamento.

Na FIGURA 62 pode ser observada a oferta global de madeira ao longo do horizonte de planejamento no cenário 10. Este cenário considera o aumento de 50% na demanda de madeira a partir de 2011, e é permitida a transferência de madeira de Caieiras e Bragança Paulista a partir de 2014 e 2016 respectivamente.

Há também, uma importante restrição relacionada com o consumo mínimo de 70% de madeira Certificada FSC (*Forest Stewardship Concil*). Neste sentido, apenas a unidade Levantina possui a certificação FSC. Portanto, as transferências de Caieiras e Bragança Paulista estão limitadas em, no máximo, 30% em todo horizonte de planejamento.

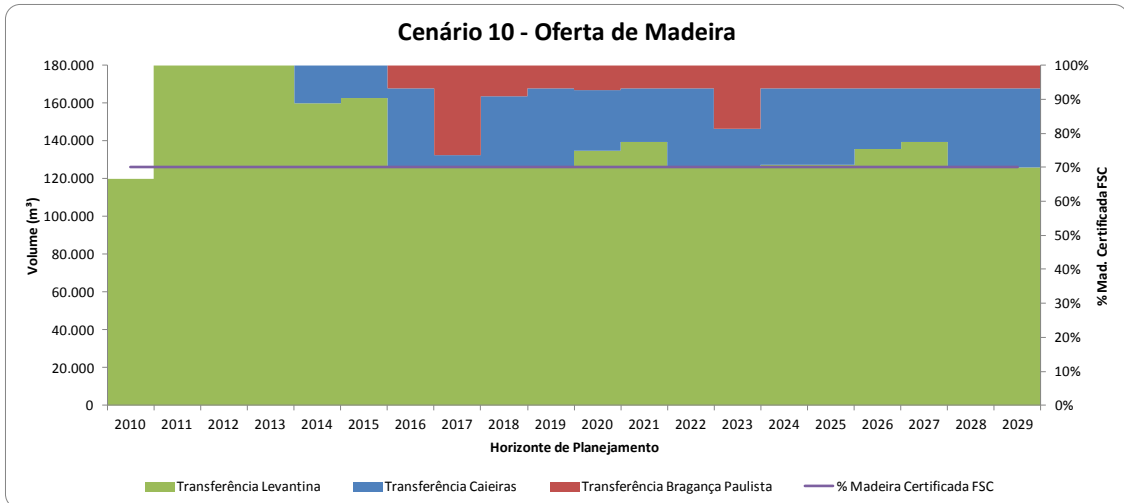


FIGURA 62 – Oferta de madeira no cenário 10
 FONTE: SANTOS (2012)

Mesmo com o aumento da produção em 50% e consumindo madeira das três unidades, este cenário apresenta sustentabilidade para o fornecimento de madeira. O atendimento pleno da demanda ocorre ao longo de todo o horizonte de planejamento. Observa-se ainda que a restrição relacionada ao percentual mínimo de transferência de 30% das unidades Caieiras e Bragança Paulista é atendida sem prejudicar a sustentabilidade da produção.

Na FIGURA 63 é mostrada, para o cenário 10, a oferta de madeira por espécie ao longo do horizonte de planejamento.

Na FIGURA 64 pode ser observada a evolução do mix de consumo frente às restrições impostas às associações realizadas para os gêneros Pinus e Cupressus e para *Eucalyptus* branco e *Eucalyptus* vermelho.

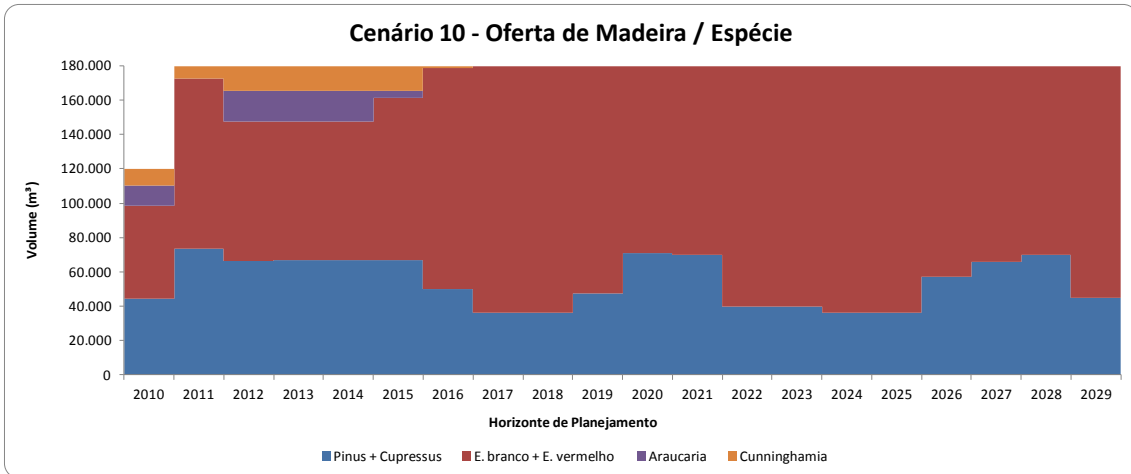


FIGURA 63 – Oferta de madeira por espécie no cenário 10
 FONTE: SANTOS (2012)

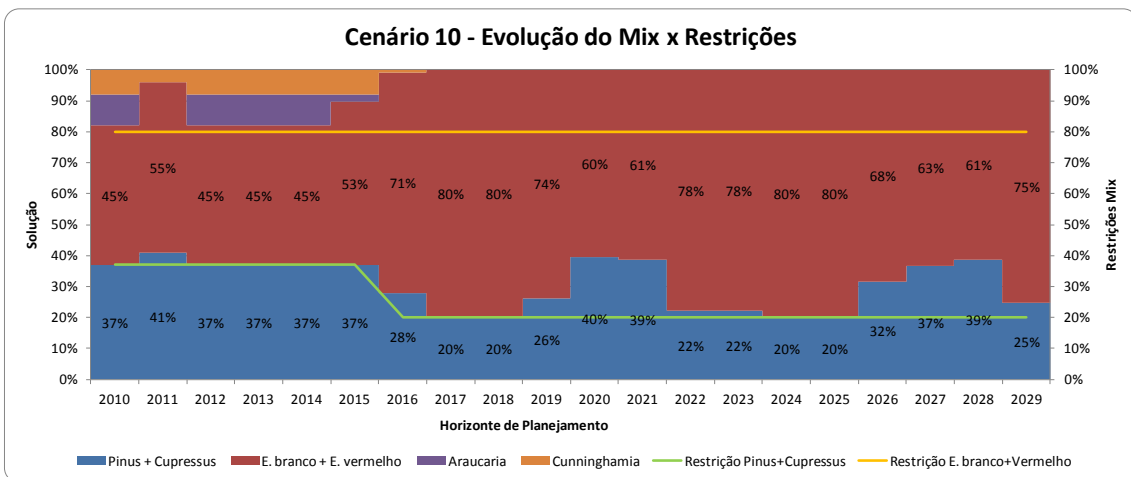


FIGURA 64 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 10
 FONTE: SANTOS (2012)

Na FIGURA 65 pode ser observada a regulação do manejo florestal ao longo do horizonte de planejamento.

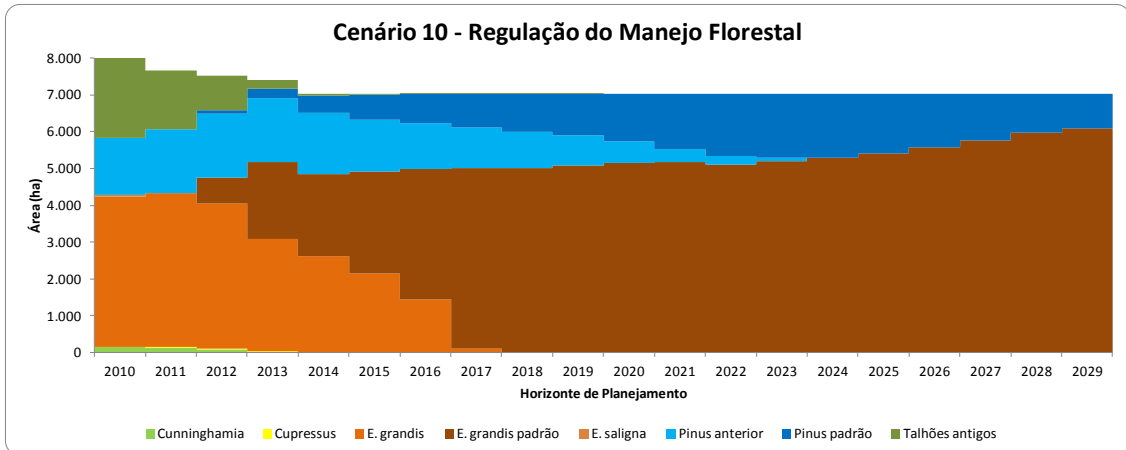


FIGURA 65 – Regulação do manejo florestal no cenário 10
 FONTE: SANTOS (2012)

O oitavo e nono cenários não são sustentáveis, pois apresentam déficit de madeira a partir de 2010 (FIGURAS 66 e 67).

Com o aumento da produção em 50% e consumindo madeira apenas da unidade Levantina, o atendimento pleno da demanda ocorre apenas em três anos do horizonte de planejamento, 2013, 2014 e 2015 no cenário 8 e apenas em 2015 para o cenário 9.

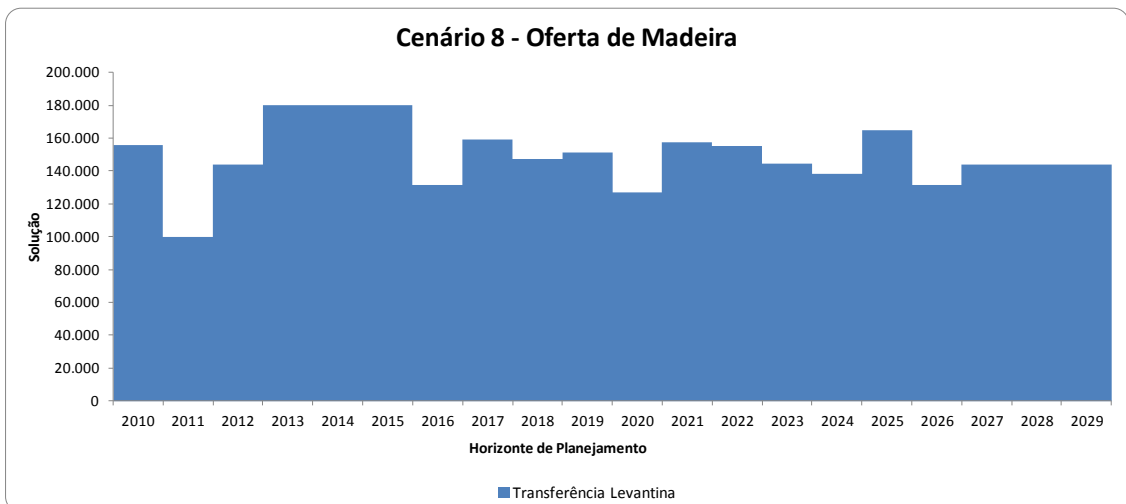


FIGURA 66 – Oferta de madeira no cenário 8
 FONTE: SANTOS (2012)

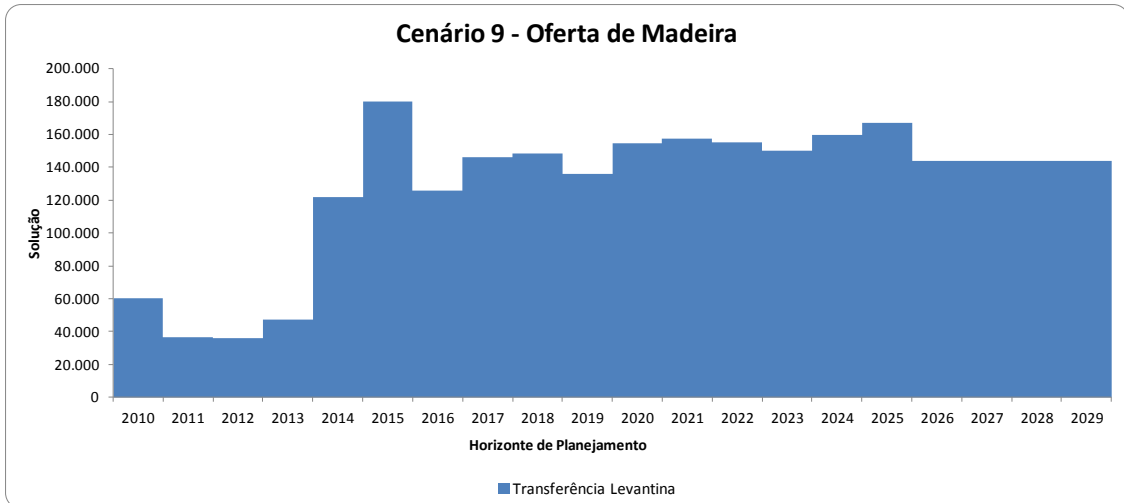


FIGURA 67 – Oferta de madeira no cenário 9
 FONTE: SANTOS (2012)

Nas FIGURAS 68 e 69 são mostradas as ofertas de madeira por espécie ao longo do horizonte de planejamento para os cenários 8 e 9. Observa-se que o déficit ocorre apenas no fornecimento de madeira de eucalipto branco.

Nas FIGURAS 70 e 71 pode ser observada a evolução do mix de consumo frente às restrições impostas ao *Pinus* spp. e ao *Eucalyptus* branco.

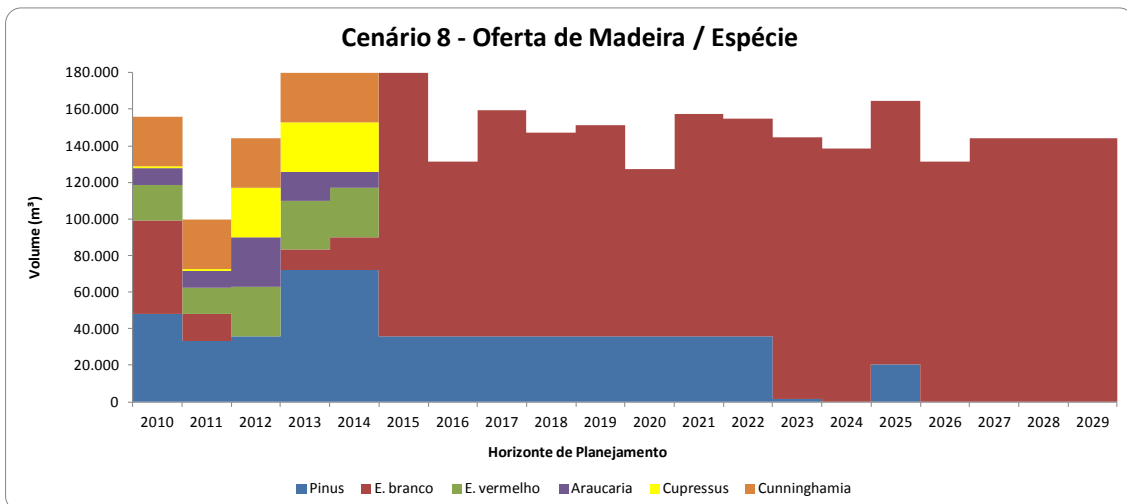


FIGURA 68 – Oferta de madeira por espécie no cenário 8
 FONTE: SANTOS (2012)

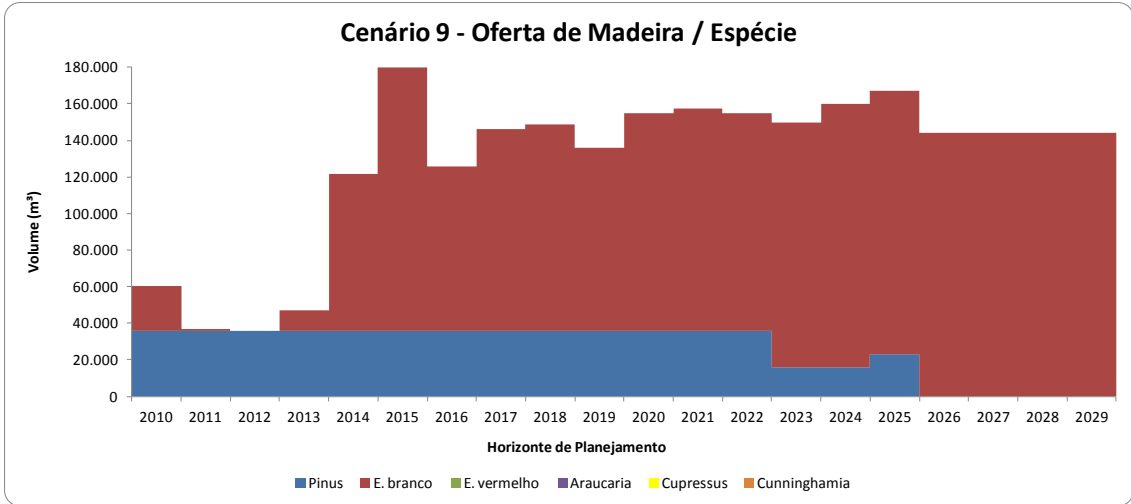


FIGURA 69 – Oferta de madeira por espécie no cenário 9
 FONTE: SANTOS (2012)

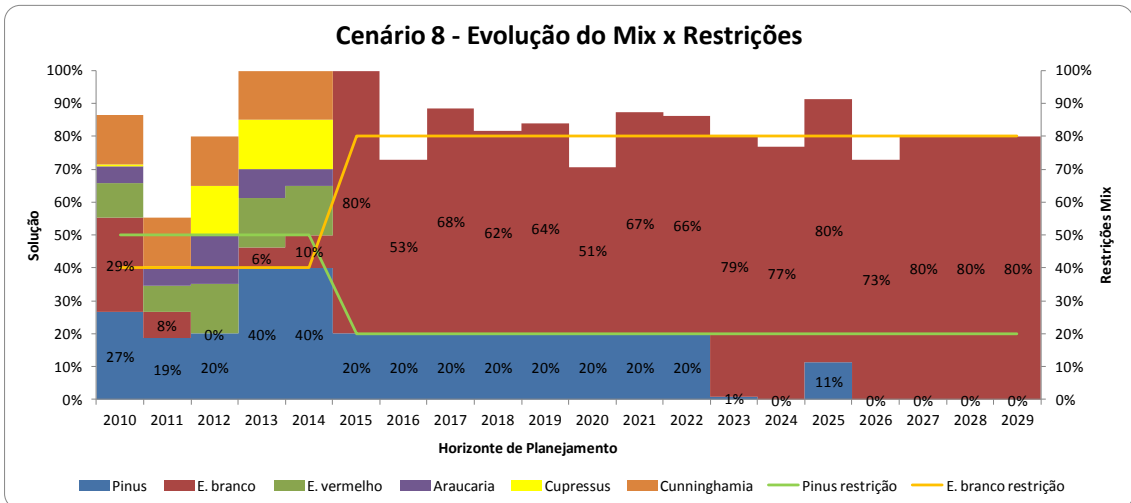


FIGURA 70 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 8
 FONTE: SANTOS (2012)

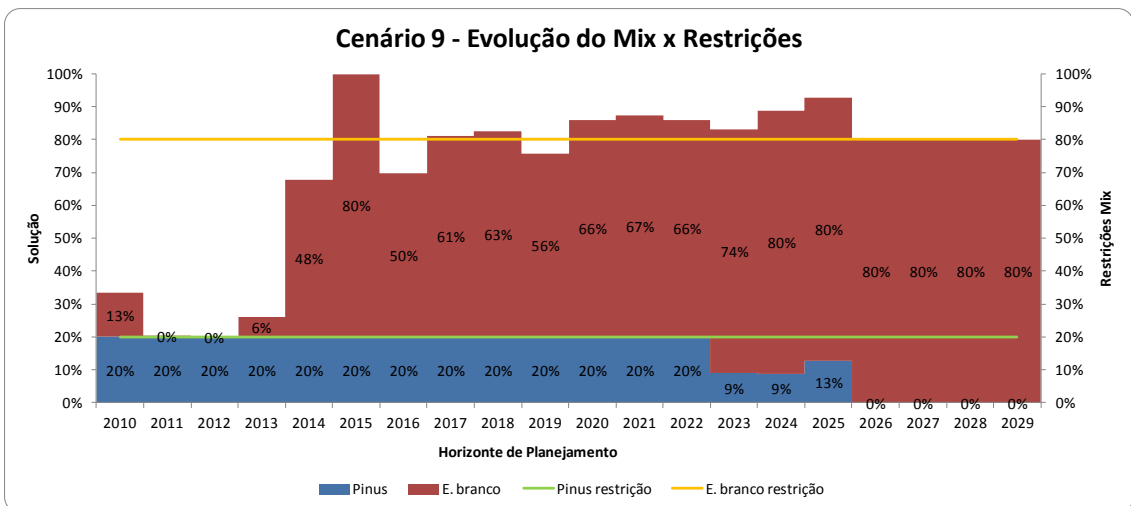


FIGURA 71 – Evolução do mix de consumo x restrições no cenário 9
 FONTE: SANTOS (2012)

Nas FIGURAS 72 e 73 pode ser observada a regulação do manejo florestal ao longo do horizonte de planejamento para os cenários 8 e 9.

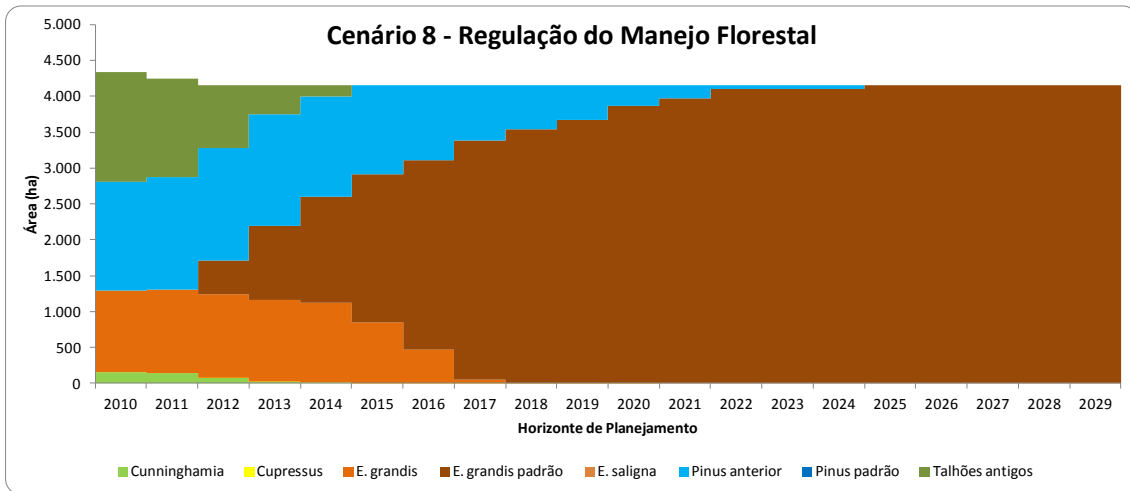


FIGURA 72 – Regulação do manejo florestal no cenário 8
 FONTE: SANTOS (2012)

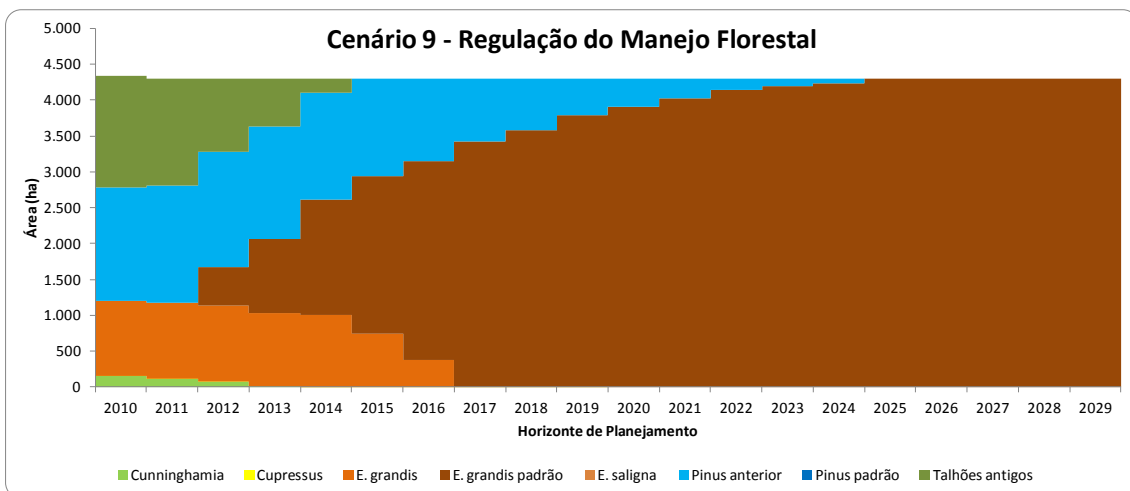


FIGURA 73 – Regulação do manejo florestal no cenário 9
 FONTE: SANTOS (2011)

Observa-se que o gênero *Pinus* deixa de ser manejado a partir de 2025.

6 CONCLUSÃO

A programação linear tem, na sua aplicação, um grande potencial na resolução de problemas complexos que envolvem um grande número de variáveis auxiliando na tomada de decisões que buscam resultados otimizados ao longo do tempo.

A utilização dessa ferramenta é demonstrada com sucesso uma vez que viabiliza a maximização da produção de madeira, regula a floresta desbalanceada ao longo do tempo, controla as complexas restrições de atendimento da demanda de madeira, mix de consumo, limitações operacionais de plantio, percentual mínimo de madeira certificada e limites de transferência entre unidades florestais.

As restrições impostas aos cenários otimizados demoram alguns anos até serem incorporados na base florestal como um todo, pois há um período de transição entre a situação atual e a ótima, mas a partir do quinto ano do horizonte de planejamento a regulação começa a apresentar suas vantagens durante o planejamento e execução das operações contidas no plano de manejo florestal.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSSON, E.W. **Gain** and diversity in multi-generation breeding programs. **Silvestria: Acta Universitatis Agriculturae Sueciae**, n. 95, 124 p., 1999. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1999.

ANDRADE JR. O. **Um modelo de planejamento para a empresa florestal** Campinas: UNICAMP, 1983. 64p. Dissertação Mestrado.

ARCE, J.E. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte**, 125 f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

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

ARCE, J.E., **Pesquisa operacional para fins florestais**, apostila da disciplina ministrada no PPGEF da UNICENTRO de Irati, PR. Curitiba, PR. 2007.

ARUOFOR, R.O. A linear programming model of the forest sector of the Nigeria economy. **Discovery and Innovation**, v.9, n.3/4, p.227-233, 1997. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1997.

BARREIROS R. M., SANSÍGOLO C. A., GARCIA J. N., CAIXETA FILHO J. V. Programação linear como ferramenta para seleção de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* para polpação kraft-AQ. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO

DE INVESTIGACIÓN EM CELULOSA Y PAPEL, (CIADICYP) Puerto Iguazú, Argentina, 2000.

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

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

BRÁZ, E. M., **Planejamento da exploração em florestas naturais** [recurso eletrônico] / Evaldo Muñoz Braz. – Dados eletrônicos. - Colombo: Embrapa Florestas, 2005.

BREGALDA, P.F.; OLIVEIRA, A.F.A.; BORNSTEIN, C.T., **Introdução à programação linear**. Rio de Janeiro, 3^a Edição, Editora Campos, 1988.

BUONGIORNO, J.; GILLESS K.J. **Forest management and economics a primer in Quantitative Methods**. New York, by Macmillan Publishing Company, Copyright 1987.

CAIXETA FILHO, J.V. A utilização de modelagem pelas empresas florestais. **Silvicultura**, n. 52, p.18-20, nov./dez., 1993.

CARNIERI, C. **Planejamento florestal otimizado via redes de manejo**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO FLORESTAL, 1., Curitiba, 1989. Anais. Curitiba: EMBRAPA, CNPF, 1989. p.173-184.

CHAUDHURI, A.K.; SEN, K.M. **Optimum harvesting policy for age-structural forest**. International Journal of Systems Science, v.18, n.8, p.1425-32, 1987.

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

CURTIS, F.H. 1962. Linear programming the management of a forest property. **Journal of Forestry**. 60: 611-616.

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

DIAS, G.B.N.; TAUBE-NETTO, M.; SCHMIDT, M.B.; ROSSI, A.M.; LOPES, T.L. **Planejamento Florestal Integrado Planflor**. CVRD-Revista, v.5, n.15, p.35-50, mar. 1984.

DIAZ-BALTEIRO, L.; ROMERO, C. **Modeling timber harvest scheduling problems with multiple criteria: na application in Spain**. Forest Science, v.44, n.1, p.47-57, Feb. 1998. Resumo em AGRIS Abstracts on CD-ROM, 1999.

DYKSTRA, DENNIS P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill, Inc. 1984. 318p.

EHRlich, P.J. **PESQUISA OPERACIONAL** Curso Introdutório. São Paulo: Editora Atlas S/A, 7ª Ed., 1991.

EVANS, R.L.; ZARADIC, A.M. **Optimization of a wood-waste-fuelled, indirectly fired gas turbine cogeneration plant**. Bioresource Technology, v.57, n.2, p.117-126, 1996. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1996.

FATURETO, C. R. C. ; SANTOS, H. N. . **Tomada de decisão sob critérios múltiplos: metodologias e oportunidades de aplicação no Agribusiness** - Parte I. Revista Brasileira de Agroinformática, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 13-27, 1999a.

FATURETO, C. R. C. ; SANTOS, H. N. . **Tomada de decisão sob critérios múltiplos: metodologias e oportunidades de aplicação no Agribusiness - Parte II.** Revista Brasileira de Agroinformática, Viçosa, v. 2, n. 2, p. 83-94, 1999b.

GERASIMOV, Y.Y.; KHLUSTOV, V.K.; GERASIMOV, YU.YU. **Thinning regime optimization in European Russian pines.** Journal of Forest Engineering, v.7, n.2, p.7-16, 1996. /Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1996.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear.** Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.

GONG, P. Adaptive **optimization for forest-level timber harvest decision analysis.** Journal of Environmental Management, v.40, n.1, p.65-90, Jan. 1994. Resumo em AGRÍCOLA Abstracts on CD-ROM, 1994.

HARDING, O.V.; STEELE, P.H. RIP-X: **decision software to compare crosscut-first and rip-first rough mill systems.** Wood Science Technology, v.31, n.5, p.367-381, Oct. 1997. Resumo em AGRÍCOLA Abstracts on CD-ROM, 1997.

HENGSDIJK, H.; RUBEN, R.; KRUSEMAN, G.; BAKKER, E.E.J.; QUAK, W.; SISSOKO, K.; SCHOUTE, J.F.T.; FINKE, P.A.; VEENEKLAAS, F.R.; WOLFERT, H.P. An integrated approach for analysis of sustainable land use. **Environment & Policy**, v.5, p. 623-626, 1995. /Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1994-1995.

HERNANDEZ DIAZ, J.C. **La programación lineal y ejemplos de su aplicación en el manejo de bosques.** Boletín Técnico INIF, v.128, p.1-25, out. 1985.

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional.** São Paulo: Ed. Campus, EDUSP, 1988. 805p.

HITREC, V.; MARIJAN, B.; SEGOTIC, K. **A model of computer aided optimization of sawing logs.** In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., Montreal, 1990. Proceedings. Ottawa: Acart Graphic Services, 1990. v. 5, p.216-224.

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

HOGANSON, H.M.; MCDILL, M.E. **More on forest regulation: an LP perspective.** Forest Science, v. 39, n.2, p. 321-347, May 1993. <http://www.probe.br>

HOSOKAWA, R. T., MOURA, J. B., CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas.** Curitiba: Ed. da UFPR, 1998. 162p.

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

KLANN R., CUNHA P., SILVA, J, SCARPIN J. **Utilização da Programação Linear na Otimização de Resultados de uma Empresa do Ramo de Transporte Rodoviário de Cargas.** ABCustos Associação Brasileira de Custos - Vol. V n° 1 - jan/abr 2010.

KRAJCIC, D.; RUPNIK, V.; ZADNIK, S.L.; DROBNE, S. **Standardization of objective differences in the costs of trucks used in forestry.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OPERATIONAL RESEARCH, 4., Slovenia, 1997. Proceedings. v.1/3, p.263-266./Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1997.

KRUSEMAN, G.; BADE, J. **Agrarian policies for sustainable land use: bio-economic modelling to assess the effectiveness of policy instruments.** Agricultural Systems, v.58, n.3, p.465-481, 1998. <http://www.probe.br>

LAROZE, A. **A linear programming, Tabu Search method for solving forest-level bucking optimization problems.** Forest Science, v.45, n.1, p.108-116, 1999. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1999.

LAROZE, A. J. **A linear programming, tabu search method for solving forest-level bucking optimization problems.** Forest Science, Washington, v. 45, n. 1, p. 108-116, 1999.

LEAK, W. B. **Estimating maximum allowable timber yields by linear programming.** Res. Pap. NE-17. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experimentation, 1964.

LEUSCHENER W.A. **FOREST REGULATION, HARVEST SCHEDULING, AND PLANNING TECHNIQUES.** John Wiley&Sons, Inc, Copyright 1990.

MALLAWAARACHCHI, T.; WALKER, P.A.; YOUNG, M.D.; SMYTH, R.E.; LYNCH, H.S.; DUDGEON, G. **GIS-based integrated modelling systems for natural management.** *Agricultural Systems*, v.50, n.2, p. 150, 169-189, 1996. /Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1996.

MANESS, T.C.; ADAMS, D.M. **The combined optimization of log bucking and sawing strategies.** *Wood and Fiber Science*, v.23, n.2, p.296-314, Apr. 1991.

MANTEL, W. **Forsteinrichtung.** Frankfurt: Sauerland's Verlag, 1959. 262p.

MARTINI, E.L. **Planejamento florestal, a importância e a aplicação da programação linear.** In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1., Curitiba, 1988. Anais. Curitiba: EMBRAPA, CNPF, 1988. v.2, p.545-574.

MCKENNEY, D.W. **Multiple-use planning: na application of FORPLAN to an Australian forest.** *Australian Forestry*, v.53, n.2, p.113-123, 1990. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1999.

MCKILLOP, W.; SARKAR, A. **Sustainable development of forest resources in industrialized countries.** *Agricultural Economics*, v.14, n.3, p.175-184, 1996.

MENZ, K.; GRIST, P. **Assessing opportunities for smallholders to combine pulpwood trees and food crops.** Canberra: Center for Resource and Environmental Studies (CRES), Australian National University, 1995. 14p. (Imperata Project Paper Improving Smallholder Farming Systems in Imperata Areas of Southeast Asia). Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1995.

MENZ, K.; GRIST, P.; MENZ, K.M.; GARRITY, D.P. Economic opportunities for smallholders to combine pulpwood trees and food crops. In: WORKSHOP ON AGROFORESTRY INNOVATIONS FOR IMPERATA GRASSLAND REHABILITATION, Banjarmasin, 1995. *Agroforestry Systems*, v.36, n.1/3, p.221-232, 1996-1997. Special issue. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1996-1997.

MOURELATOS, A.; DIAKOULAKI, D.; PAPAGIANNAKIS, L. Impact of CO2 reduction policies on the development of renewable energy sources. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.23, n.2, p.139-149, 1998. <http://www.probe.br>

NAESSET, E. A spatial decision support system for long-term forest management planning by means of linear programming and a geographical information system. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v.12, n.1, p.77-88, 1997. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1997.

NASCIMENTO A. M. **O planejamento nas empresas florestais brasileiras** Viçosa: UFV, 2000. 51p. Dissertação Mestrado

NAUTIYAL, J.C.; PEARSE, P.H. Optimizing the conversion to sustained-yield – a programming solution. **Forest Science**, v. 13, p. 131-139, 1967.

NAVON, D.I. **Timber RAM ... a long-range planning method for commercial timber lands under multiple-use management**. Berkeley: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1971. 22 p.

NOVAES, A.G. **Métodos de otimização: aplicação aos transportes**. São Paulo: Edgard Blucher, 1978. 463p.

OLIVEIRA, F. DE, VOLPI, N.M.P., SANQUETTA, C.R. **Goal programming in a planning problem**. **Applied Mathematics and Computation**, New York, v.140, n.1, p.165-178, 2003.

PAIVINEN, R.; ROIHUVUO, L.; SIITONEN, M. Large-scale forestry scenario models: experiences and requirements. In: EUROPEAN FOREST INSTITUTE, 5., Joensuu, 1996. Proceedings. /Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1996.

PALANDER, T. A local DLP-GIS-LP system for geographically decentralized wood procurement planning and decision making. **Silva Fenica (Finland)**, v.31, n.2, p.179-192, 1997. Resumo em AGRIS Abstracts on CD-ROM, 1997.

PALANDER, T. Local factors and time-variable parameters in tactical planning models: a tool for adaptive timber procurement planning. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v.10, n.4, p.370-382, 1995. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1995.

PEREIRA, G. W. **Aplicação da técnica de recozimento simulado em problemas de planejamento florestal multiobjetivo**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. 74p. Dissertação Mestrado.

PICKENS, J.B.; THROOP, S.A.; FRENDEWEY, J.O. Choosing prices to optimally buck hardwood logs with multiple log-length demand restrictions. **Forest Science**, v.43, n.3, p.403-413, Aug. 1997. Resumo em AGRÍCOLA Abstracts on CD-ROM, 1997.

RIBEIRO, C.A.A.S. **Pesquisa operacional aplicada ao manejo florestal**. Viçosa: UFV, Departamento de Engenharia Florestal, 1996. 107p.

RICHTER, A. **Forsteinrichtung**. Leipzig: Neumann Verlag, 1963. 204p.

RODRIGUES, F.L.; LEITE, H.G.; ALVES, J.M. *Sysflor* - Um sistema de suporte à decisão para o planejamento florestal. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 32., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2000. p. 974-995.

RODRIGUEZ, L.C.E. **Planejamento agropecuário através de um modelo de programação linear não-determinística**. Piracicaba, 1987. 83p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

RODRIGUEZ, L.C.E. **Programação linear no planejamento florestal: uma aplicação prática.** Silvicultura, v.11, n.41, p.163-168, 1986.

RODRIGUEZ, L.C.E., **Técnicas quantitativas para a gestão de florestas plantadas.** Apostila do programa de reciclagem em Métodos Quantitativos – Curso de Planejamento da Produção Florestal (Modelos de Otimização), 2006.

RODRIGUEZ, L.C.E.; LIMA, A.B.N.P. M. **A utilização da programação linear na determinação de uma estratégia ótima de reforma de um talhão florestal.** IPEF, Piracicaba-SP, n.31, p.47- 53, 1985.

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

ROWSE, J.; CENTER, C.J. Forest harvesting to optimize timber production and water runoff. **Socio-Economic Planning Sciences**, v.32, n.4, p.277-293, 1998. <http://www.probe.br>

SANTOS, A.L. **Sistema de informação geográfica como ferramenta de suporte ao manejo florestal**, 58 f. Monografia (Especialização *Lato sensu* em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SARKAR, A.U. Sustainability, sustainable development and forest resources. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**, v.5, n.3, p.164- 171, 1998. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1998.

SCHNEIDER, P.R. **Manejo florestal: planejamento da produção florestal.** Santa Maria: UFSM, 2002, 492p.

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

SEIXAS, F.; WIDMER, J.A. **Seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira utilizando-se de programação linear não-inteira**. IPEF, v.46, p.107-118, 1993.

SILVA, G.F. **Problemas no uso de modelos de programação matemática e simulação na regulação florestal**. Viçosa: UFV, 2001. 89p. Tese Doutorado

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

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL. O que é PO? Disponível em: < http://www.sobrapo.org.br/o_que_e_po.php. Acesso em: 20 outubro 2011.

SPIEDEL, G. **Planung im Forstetrieb**, Hamburg: Verlag Paul Parey, 1972. 267p.

STEUER, R.E., SCHULER, A.T. An interactive multiple-objective linear programming approach to a problem in forest management. **Operations Research**, v.26, n.2, p.254-269, 1978.

STRANGE, N.; TARP, P., HELLES, F.; BRODIE, J.D. A four-stage approach to evaluate management alternatives in multiple-use forestry. **Forest Ecology and Management**, v.124, n.1, p.79-91, 1999. <http://www.probe.br>

TAUBE-NETTO, M. **Planejamento Florestal Otimizado – PLANFLOR**: manual do usuário. SOMA, 1989. 52 p.

TEIXEIRA, A. F. **Aplicação de algoritmos evolucionários na solução de problemas de planejamento florestal multiobjetivo**. Belo Horizonte: UFMG, 2002. 70 p. Dissertação Mestrado

TORELL, L.A.; DRUMMOND, T.W. The economic impacts of increased grazing fees on Gila National Forest grazing permittees. **Journal of Range Management**, v.50, n.1, p.94- 105, 1997. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1997.

USENIUS, A.; NEPVEU, G. Optimizing the activities in the wood conversion chain from the forest to the end-users. In: WORKSHOP: CONNECTION BETWEEN SILVICULTURE AND WOOD QUALITY THROUGH MODELLING APPROACHES AND SIMULATION SOFTWARE, 2., Berg-en-Dal, 1996. Proceedings. p.214-219. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1996-1997.

WARE, G. O e CLUTTER, J. L., 1971. **A Mathematical Programming System for the Management of Industrial Forests**. For. Sci. 17: 428-445 p.

YANG, Y.C. Forest resource management planning under fuzzy decision environments. **Quarterly Journal of the Experimental Forest of National Taiwan University**, v.9, n.4, p.1-17, 1995. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1996.

ZADNIK, S.L.; RUPNIK, V.; DROBNE, S. Multicriteria model for optimal management of integrated agricultural and forestry production. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OPERATIONAL RESEARCH, 4., Slovenia, 1997. Proceedings. p.257- 262. Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM, 1997.

ZANDER, P.; KÄCHELE, H. Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. **Agricultural Systems**, v.59, n.3, p.311-325, 1999. <http://www.probe.br>

8 ANEXO

8.1 Histórico Cia Melhoramentos de São Paulo

A Companhia Melhoramentos de São Paulo é uma das empresas mais antigas do Brasil. Foi fundada em 1890 com o objetivo de atender à demanda das obras de saneamento e urbanização do município de São Paulo e também de papel da crescente economia paulista.

Para resolver os problemas de abastecimento e escoamento da produção de cal, tijolos, telhas e papel de Caieiras, é inaugurada em 1908 uma linha férrea exclusiva ligando a fábrica a São Paulo. A falta de energia leva a empresa a criar suas próprias soluções a partir do reflorestamento com espécies de rápido crescimento, e em 1912 começa a plantação de eucaliptos, para fornecer lenha para os fornos de cal e cerâmica, e são construídas também uma barragem e uma usina de energia elétrica para movimentar a terceira máquina de papel, que entra em funcionamento em 1913. Em 1919 a área de Caieiras é ampliada para aproximadamente 8.000 hectares compostos na maioria por coníferas para produção de papel e eucalipto para energia.

Em 1942 a unidade Levantina, em Camanducaia (MG), com 12.000 hectares, passa a fazer parte da Melhoramentos. Em 1946, em Caieiras, em um feito de repercussão mundial, torna-se a primeira fábrica no mundo a produzir celulose de eucalipto. E desde então, através do profundo conhecimento silvicultural e tecnológico das diversas espécies florestais cultivadas, vem paulatinamente convertendo a maioria dos reflorestamentos de coníferas para o eucalipto.

Em meados de 2009 a divisão de Papéis da Melhoramentos, bem como os ativos florestais a ela associados, foram vendidos a uma empresa chilena pertencente ao Grupo CMPC. A partir de então o grupo Melhoramentos tem atuado na produção de PAR – Pasta de Alto Rendimento denominada TGW – (*Thermo Ground Wood*), operação e gestão de ativos florestais, na área imobiliária e também

na edição de livros, nas linhas infantis, juvenis, de gastronomia, desenvolvimento pessoal e dicionários.

8.2 Processo Industrial

A empresa Melhoramentos é pioneira na produção de fibra de celulose no Brasil, atividade iniciada em 1943 na unidade industrial de Caieiras. Desde então esse segmento é um dos mais importantes na empresa e vem tendo constante desenvolvimento. Foi a primeira empresa do mundo que produziu CTMP (*Chemical Thermo Mechanical Pulp*) a partir de eucalipto, processo em que se alcançou excelente rendimento.

Atualmente a empresa produz a fibra de celulose TGW (*Thermo Ground Wood*) e BTGW (*Bleached Thermo Ground Wood*), em Camanducaia – MG, principalmente a partir de *Pinus* e *Eucalyptus*. As demais espécies são utilizadas aos poucos como complemento para não influenciar nas características tecnológicas da pasta celulósica que se destina ao fornecimento de matéria prima para grandes fabricantes de papel cartão.

O processo industrial consiste nas seguintes etapas:

- Pátio de Madeira → após as operações de colheita florestal os toretes são transportados com 2,4 metros de comprimento até o pátio de madeira onde ficam armazenados em pilhas organizadas por tempo de corte e espécie florestal.
- Descascamento e traçamento → De acordo com a demanda industrial a linha de descascamento e traçamento é abastecida. Os toretes são descascados e traçados à metade do seu comprimento, ou seja, 1,2 metros, medida esta correspondente ao máximo admitido pelo desfibrador.
- Desfibramento → através de uma correia transportadora, os toretes são conduzidos ao desfibrador (Figura 16) onde uma esteira traciona a

coluna de toretes contra o rebolo de pedra, imerso em água, que gira em alta velocidade. O atrito gerado pelo contato dos toretes com rebolo de pedra eleva a temperatura em aproximadamente 105 graus célsius amolecendo a lignina, permitindo o desfibramento da madeira.

- Preparação da massa → a massa de fibras resultante do desfibramento sofre uma primeira classificação onde lascas de madeira que não foram desfibradas suficientemente retornam ao desfibrador até serem plenamente aproveitadas.
- Depuração e Refinação → para a depuração da massa é realizado um peneiramento da massa para a remoção de impurezas e partículas estranhas ao processo. Em seguida realiza-se a refinação onde as fibras são submetidas a um esforço mecânico para que ocorra a delaminação, colapso e fibrilação. É nesta etapa onde ocorre o ajuste fino do produto.
- Desaguamento → o desaguamento ocorre em uma tela formadora da folha de fibras que se move sobre uma mesa plana. Este processo objetiva o aumento de consistência das fibras.
- Controle de Qualidade → o controle de qualidade é realizado em 100% da produção onde todas as especificações dos clientes são monitoradas, sendo elas: Resistência à delaminação, Grau Schopper Riegler, Alvura, pH e Bulk. Além disso, são realizados testes das propriedades organolépticas das fibras como: cor, odor e sabor.
- Estocagem → a estocagem é feita em local adequado até o embarque para transporte.

O fluxograma do processo industrial pode ser observado na FIGURA 74.



FIGURA 74 – Principais etapas do processo de produção da pasta TGW.
FONTE: SANTOS (2012)

Nas FIGURAS 75, 76 e 77 podem ser observados os componentes principais do desfibrador com rebolo de pedra.



FIGURA 75 – Desfibrador
FONTE: SANTOS (2012)

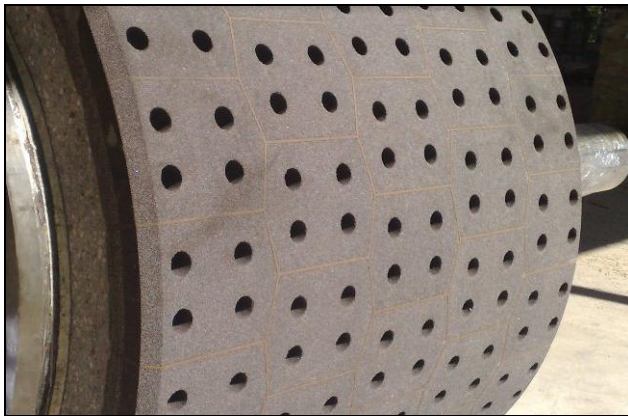


FIGURA 76 – Rebolo de pedra
FONTE: SANTOS (2012)

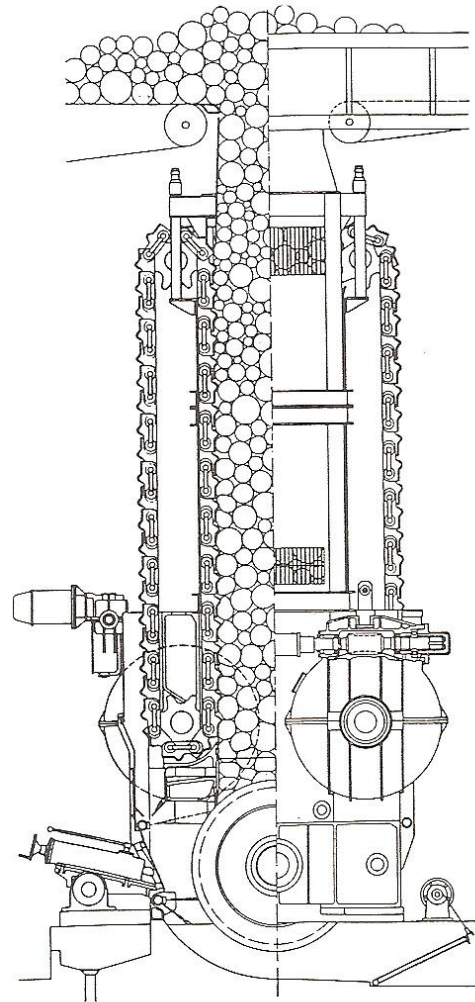


FIGURA 77 – Layout desfibrador
FONTE: SANTOS (2012)