

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS DOIS VIZINHOS

EDRIANO ALEXANDRE BARBOZA DE SOUZA

**USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR COMO SUPORTE DE DECISÃO PARA
REGIMES DE MANEJO DE TECA (*Tectona grandis* L. f.)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DOIS VIZINHOS

2017

EDRIANO ALEXANDRE BARBOZA DE SOUZA

**USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR COMO SUPORTE DE DECISÃO PARA
REGIMES DE MANEJO DE TECA (*Tectona grandis* L. f.)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Edgar de Souza Vismara

DOIS VIZINHOS

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

Título: Uso da programação linear como suporte de decisão para regimes de manejo de Teca
(*Tectona grandis* L. f.)

Edriano Alexandre Barboza de Souza

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 23 de Novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Edgar, de Souza Vismara
Orientador

Prof. Dr. Claudio Thomas
Membro titular

Prof. Dra. Flávia Alves Pereira
Membro titular

Prof. Dra. Veridiana Padoin Weber
Membro titular

SOUZA, Edriano Alexandre Barboza de Souza. **Uso da programação linear como suporte de decisão para regimes de manejo de Teca (*Tectona grandis* L. f.)**. 2017. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2017.

RESUMO

O presente trabalho objetivou utilizar os coeficientes e modelos ajustados da Floresteca trabalhados pelo grupo de estatística da UTFPR-DV, aplicando a programação linear para avaliação do regime ideal, que resulte em maior retorno produtivo de Teca. A partir disso foi construída planilha eletrônica suporte com a aplicação dos modelos e coeficientes utilizados pela empresa e compilados os dados de retorno produtivo, uma vez que na variação do número de desbastes e espaçamento culminava em diferentes cenários. Os modelos utilizados no trabalho foram propostos por Piennar; Curtis, Schumacher e Hall, Bailey e Clutter. Apesar de toda a construção e aplicação dos modelos utilizados, os coeficientes para a função objetivo foram negativos, justifica-se que os dados são de povoamentos desbastados. Concluindo que apesar da construção, os resultados não refletiram para uma determinação de um melhor espaçamento que se resulta em maior retorno produtivo, justifica-se, que o retorno produtivo sempre vai ser do menor número de desbaste e o mínimo de área por planta uma vez que os coeficientes da função objetivo são negativos e a cada aumento ou decréscimo das variáveis preditoras irá sempre resultar em o mínimo de desbastes e área por planta.

Palavras-chave: Produção. Desbastes. Pesquisa Operacional. Otimização

SOUZA, Edriano Alexandre Barboza de. **Use of linear programming as decision support for Teak management regimes (*Tectona grandis* L. f.)**. 2017. 45p. II COURSE CONCLUSION WORK (GRADUATION IN FOREST ENGINEERING) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017.

ABSTRACT

This work aimed to use the adjusted coefficients and models of Floresteca worked by the statistical group of UTFPR. Applying linear programming to evaluate the ideal regime, results in a higher productive return of Teak. From the version of the models and quotations of the company and compiled of the produced data of return, since the variation of the number of files and spacing culminated in different scenarios. The models used in the work are proposed by Piennar; Curtis, Schumacher and Hall, Bailey and Clutter. Despite the construction and application of the models used, the coefficients for the objective function are negative, it is justified that the data are from pebbles. Concluding that despite the construction, the results are not reflected for a better spacing that results in higher productive return, it is justified, that the productive return will always be the lowest number of thinning and the minimum area per plant since The coefficients of the objective function is negative and each increase or decrease of the predictor variables always results in the minimum of destruction and area per plant.

Keywords: Yield. Thinning's. Operational Research. Optimization

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Aspectos das cores de tora da espécie <i>Tectona grandis</i> L. f.....	5
Figura 2: Municípios com plantios de Teca da empresa Floresteca S/A.....	14
Figura 3: Conjunto de dados e as variáveis mensuradas e modeladas de Cáceres (A)	16
Figura 4: Conjunto de dados e as variáveis mensuradas e aplicação logarítmica Cáceres (B).16	
Figura 5: Variáveis de entrada Idade, Índice de Sítio para a simulação em amarelo.....	21
Figura 6: Exemplo da Planilha Eletrônica base para compilação das diferentes simulações e seus retornos produtivos a cada desbaste.	22
Figura 7: Organograma dos procedimentos metodológicos aplicados no trabalho.....	24
Figura 8: Coeficientes da função PL	27
Figura 9: Forma Geral das Equações no excel considerando o IS de 20.....	29
Figura 10: Resultados para a constante de 15.....	29
Figura 11: Procedimento de entrada dos dados para rodar o Solver.	30

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Áreas pertencentes à Floresteca S/A no estado do Mato Grosso.	13
Tabela 2: Características dos municípios, número total de habitantes, extensão territorial e condições climáticas.	13
Tabela 3: Cenários de Manejo praticados pela empresa Floresteca S/A.	15
Tabela 4: Resultados do Total do Retorno Produtivo Volumétrico (m ³).	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	2
2.1	Objetivos Específicos	2
3	HIPÓTESE	3
4	REFERENCIAL TEÓRICO	4
4.1	Setor Florestal.....	4
4.2	Características da Espécie	5
4.3	Manejo Florestal Sustentável	6
4.3.1	Desbaste	7
4.4	Planejamento Florestal	9
4.5	Programação Linear	10
5	MATERIAL E MÉTODOS	12
5.1	Descrição da empresa Floresteca S/A	12
5.2	Descrição dos Municípios com Plantios Efetivos	13
5.3	Conjunto de Dados	14
5.4	Cenários de Manejo da Empresa	15
5.5	Subsídios para a Planilha base.....	16
5.6	Relação Hipsométrica.....	17
5.7	Modelagem do Volume Total.....	18
5.8	Modelagem do Volume Comercial	18
5.9	Modelagem do Índice de Sítio.....	18
5.10	Modelagem da Área Basal.....	19
5.11	Cenários Simulados	20
5.11.1	Construção de planilha eletrônica suporte para as simulações	20
5.11.2	Compilação do conjunto de dados com a previsão volumétrica para os diferentes espaçamentos e números de desbastes	21
5.12	Programação Linear (PL)	23
6	RESULTADOS	25
7	CONCLUSÃO	31
	ANEXO I	32
	ANEXO II	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal vem recebendo destaque, se fortalecendo, consolidando uma cadeia produtiva crescente, um mercado competitivo com inovações tecnológicas e melhor aproveitamento dos recursos naturais (SIMÕES, 2008, p. 1).

Uma das espécies que contribui para esse setor é a espécie popularmente conhecida como Teca (*Tectona grandis* L. f.), a qual apresenta plantios comerciais no Brasil localizados principalmente no Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná e Pará. Esses plantios são voltados principalmente para exportação de madeira serrada para países da Ásia.

Sendo que o estado do Mato Grosso em específico é um dos principais protagonistas na produção de Teca. Sendo que o respectivo estado apresenta enorme potencial para plantios florestais em larga, escala, justificando-se esta atratividade devido a suas características de clima e solo do estado (ZUCCHI, 2011, p. 33).

Segundo Shimizu; Klein; Oliveira (2007), as condições edafoclimáticas do estado do Mato Grosso favorecem a instalação de plantios florestais, correspondendo um total de 145.498,17 ha de florestas distribuídos em 93 municípios. Mais especificamente a Teca, corresponde no estado um total de 48.526,10 há (33% do todo) ocorrendo concentração nas cidades de Cáceres (12.231 ha), Paranatinga (11.589 ha), Itiquira (10.468 ha) e Rondonópolis (8.746 ha).

A Teca é considerada um plantio comercial de alto valor agregado, demonstrando assim, a necessidade de um planejamento adequado e conseqüentemente redução de sinistros. De modo geral, a atividade florestal para ser bem-sucedida envolve uma vasta gama de premissas. Questionar-se sobre quando, onde e quanto plantar, além de como a floresta deve ser conduzida/manejada. O tomador de decisões florestal deve considerar todas essas premissas, além de muitas outras, a fim de estruturar, prever as atividades florestais ao longo do horizonte proposto e visando a otimização da produção florestal.

No Brasil ainda existem dúvidas acerca de qual seria o regime de manejo ideal para a Teca, já que a espécie possui ciclo longo e corte final em horizonte de planejamento superior à de culturas já consolidadas como as de Eucalipto e Pinus. Os primeiros cortes comerciais de plantios brasileiros têm ocorridos e vêm ocorrendo em um passado bastante recente.

No entanto, os dados gerados por esses cortes finais permitem que a partir de agora o tomador de decisão possa realizar simulações em planilhas eletrônicas, utilizando-se da programação linear, aplicando-se regimes de manejo acerca da melhor forma de conduzir a floresta nos próximos ciclos.

2 OBJETIVO

Utilizar a programação linear para a avaliação do regime de manejo ideal, que resulte em maior produção volumétrica para plantios comerciais de Teca.

2.1 Objetivos Específicos

Partindo-se dos modelos de crescimento e produção adotados pela empresa. Simulou-se possíveis regimes de manejo verificando o retorno volumétrico de madeira com:

Realizar a construção de planilha eletrônica suporte para as simulações;

Compilar o conjunto de dados com a previsão volumétrica para os diferentes espaçamentos e números de desbastes¹;

Obter os coeficientes da função objetivo e aplicar a programação linear via solver;

Contribuir para a literatura no que diz respeito ao manejo da espécie Teca.

¹ Número de Desbaste: Intensidade constante de retirada de 50% do número de árvores por desbaste. Ocorrência da primeira intervenção constante aos 120 meses de idade. Exceto, na ausência de desbaste e com corte final aos 240 meses.

3 HIPÓTESE

A hipótese é que a ferramenta de programação linear pode auxiliar o tomador de decisão na área florestal na obtenção de regimes de manejo que resultem no máximo retorno produtivo da floresta.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Setor Florestal

Segundo o Serviço Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2015, p.1), plantios comerciais de florestas no país iniciaram-se em 1903 com o pioneiro Navarro de Andrade que introduziu mudas de Eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) no Brasil.

Na década de 50 a Política de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento contribuiu ativamente para a expansão dos maciços florestais do gênero *Pinus* (SANQUETTA, 2002, p.1). Em 1960 grandes projetos de reflorestamento com espécies exóticas foram implantados no país (BACHA, 2004, p. 397).

Juvenal e Mattos (2002, p.13) expõem que de 1970 e 1980 o setor florestal realizou estudos acerca de: controle de pragas e doenças; programas de melhoramento genético; redução de custos de produção; adoção de práticas silviculturais; e promoção do desenvolvimento regional.

Dados registrados pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2010), em 2009, indicaram 6.782.500 hectares (ha) de florestas plantadas de Eucalipto, *Pinus* e outras culturas comerciais no Brasil.

Assim, entre outras culturas comerciais que foram introduzidas no país, Tsukamoto Filho et al., (2003), relata que a espécie Teca (*Tectona grandis* L.f) apresenta-se como uma boa oportunidade de investimento para reflorestamentos no Brasil. Da mesma forma, Veit (2000) observou que entre 1970 e 1999 houve uma grande valorização da teca com retorno médio de 8,32% aa, para a moeda norte-americana.

No Brasil, os primeiros plantios ocorreram na década de 1960 no Estado do Mato Grosso (ANGELI, 2003, p.1). Sendo assim, esta é uma cultura relativamente jovem no país e encontra-se em expansão nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil (FIGUEIREDO, OLIVEIRA, SCOLFORO, 2005).

Os plantios comerciais de Teca no cenário nacional, segundo dados do anuário estatístico de 2013 da ABRAF, totalizam uma área de aproximadamente 67.329 hectares localizados nos estados de Mato Grosso, Pará, Roraima, com Incremento Médio Anual (ICA) de 14,2 a 15 m³/ha/ano (ABRAF, 2013).

4.2 Características da Espécie

A teca (*Tectona grandis* L.f) é uma espécie originária do continente asiático, com cultivos em regiões da África e das Américas (PELLISSARI, et al., 2014, p.129).

Pertencente à família Lamiaceae de acordo com o sistema APG II, o gênero é “*Tectona*” e espécie “*Tectona grandis* L. f.”, possui ocorrência natural em florestas tropicais situadas entre 10° e 25°N no subcontinente índico e no sudeste asiático, principalmente na Índia, Burma, Tailândia, Laos, Camboja, Vietnã e Java (ANGELI, 2003, p. 1; SOUZA, LORENZI, 2008).

A espécie apresenta melhor desenvolvimento em locais com precipitação pluviométrica entre 1.270 mm e 2.540 mm, com estação seca definida, temperatura mínima entre 13°C e 17°C e máxima entre 39°C e 43°C (TONINI; COSTA; SCWENGBER, 2009, p. 6).

Pandey e Brow (1999, p.4) e Costa; Resende; Silva (2007, p.77), citam que a espécie é decídua e apresenta folhas opostas, elípticas, coriáceas e ásperas, com pecíolos curtos ou ausentes, comprimento médio de 30 a 40 cm por 25 cm de largura.

É uma árvore de grande porte com diâmetro atingindo até 2,50 m e altura de 50m. Suas flores são pequenas e ordenadas em panícula (JBRJ, 2015, p.7). Seu alburno é estreito e claro (Figura 1), bem distinto do cerne cuja cor é marrom viva e brilhante, uma madeira estável que pouco se contrai durante a secagem (ANGELI, 2003, p. 1).



Figura 1: Aspectos das cores de tora da espécie *Tectona grandis* L. f.

Fonte: Cáceres Florestal (2015).

Considerada uma das madeiras mais valiosas do mundo, apresenta preços superiores do que espécies nativas como o mogno (*Swietenia macrophylla* King), particularmente no Brasil é cultivada em povoamentos florestais com ciclo aproximado de 25 anos devido a condições edafoclimáticas (SANTOS, 2010, p.1).

Segundo Figueiredo (2005) apud Costa (2011), é amplamente utilizada na construção naval, pois suporta o contato com a água do mar durante décadas, sem sofrer deterioração. É uma madeira requisitada para decoração de interiores luxuosos e mobiliário fino, laminação, compensados, produtos de base florestal (diversos); entre outros (ANGELI, 2003, p. 1). A madeira é de fácil colagem, fácil acabamento e utilização de pregos e parafusos (FONSECA, 2004, p. 13).

Em relação à produtividade, a teca apresenta um Incremento Médio Anual (IMA) de 10 a 15 m³/ha/ano (LADRACH, 2009, p. 6). A autora Flórez (2012, p. 21) relata que as condições climáticas aliadas a práticas de Manejo Florestal favorecem o Brasil para a produção de Teca, pois proporcionam uma alta taxa de crescimento, quando comparadas a outros países produtores, estimulando plantios comerciais da espécie.

4.3 Manejo Florestal Sustentável

Segundo consta no Serviço Florestal Brasileiro, o conceito de MFS (SIF, 2015, p.1):

“Manejo Florestal Sustentável é a administração da floresta para obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não-madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços florestais”.

O manejo florestal consiste em aplicar técnicas de análises quantitativas que incluem os conhecimentos acerca de mensuração florestal, estatística, biometria, macro e microeconomia, inventário, sensoriamento e pesquisa operacional para inferir sobre a floresta (EMBRAPA, 1997, p.1).

Além disso, o manejo florestal consiste em intervenções realizadas na floresta, tais quais procedimentos denominados regimes de manejos, que dependem do objetivo do plantio e dos produtos que se espera obter (SIXEL, 2008, p.1).

Com o manejo florestal pode-se gerar diferentes produtos importantes para o mercado (Papel e Celulose, Serraria, Movelaria, entre outros), subprodutos não madeireiros (extrativos, folhas, frutos) e benefícios indiretos e serviços essenciais que a floresta desempenha (ASSIS; CASTRO, 2013).

Segundo Scolforo (1998, p.322) no Manejo Florestal, o objetivo do empreendimento é determinar os regimes a serem adotados para obtenção de produtos ao longo de vida de um povoamento florestal, dependendo de uma série de premissas como exemplo: seleção da espécie/procedência para o local; espaçamento; tratos silviculturais (escolha das mudas, plantio, adubação, manutenção, etc); desbastes e poda.

Ainda segundo Scolforo (1998, p. 326-327) os regimes podem ser do tipo:

- ✓ “*Pulpwood*” que prioriza a produção de madeiras de baixo calibre diamétrico voltados a atender indústrias de papel e celulose (corte raso);
- ✓ “*Utility*” que prioriza a produção de diferentes diâmetros e com ciclo produtivo de (2-3 rotações);
- ✓ “*Clearwood*”: que proporciona, por meio de vários desbastes, madeira de maiores dimensões, gerando múltiplos produtos e melhor aproveitamento (madeira livre de nós).

O regime do tipo “*Clearwood*” torna-se interessante devido ao corte aos 20-25 anos o que garante potencialmente maiores diâmetros. Amaral (2014, p. 28) expõe que em plantio de teca o aumento em diâmetros das árvores é refletido exponencialmente nos lucros.

Todas as intervenções que resulte em corte de madeira são formas de renda em tempos distintos. Assim o desbaste é uma ferramenta importante no manejo florestal, com tal intervenção de corte, ocorrerá eliminação de indivíduos e resultando na redução do excesso de competição por água, luz e nutrientes do povoamento (SCHNEIDER, 2004).

O manejo dos plantios de teca em todo mundo foca principalmente em regimes intensos de desbaste, uma vez que oferece vantagem para produção de madeira serrada. Todavia há dúvidas sobre o melhor espaçamento, quanto ao tipo, momento e intensidade de desbastes para maximizar a produtividade (COSTA, 2011, p.11).

4.3.1 Desbaste

O desbaste é um trato silvicultural aplicado no manejo do povoamento florestal que consiste na eliminação de algumas árvores, a fim de favorecer o crescimento das árvores remanescentes. Schneider; Finger (1994, p.45) relatam que o favorecimento das árvores remanescentes proporciona um aumento do espaço para cada árvore, desenvolvimento equilibrando da copa e do sistema radicular.

O desbaste quando aplicado concentra o potencial de crescimento do povoamento nas árvores remanescentes visando classes diamétricas superiores, fazendo com que a quantidade e o retorno financeiro da madeira sejam otimizados (BARBOSA, et al., 2015, p. 126).

Um programa de desbaste deve levar em consideração o tipo (seletivo ou sistêmico), a época de aplicação, e a intensidade desta operação (CALDEIRA; OLIVEIRA, 2008, p.224).

De acordo com a finalidade do manejo pré-estabelecida o desbaste seletivo é a retirada de árvores inferiores (dominadas ou defeituosas), mortas e doentes do plantio, deixando as aquelas que apresentam maiores diâmetros e favorecendo assim os resultados na produção e qualidade da madeira (RIBEIRO, et al. 2002).

Este método desbaste sistemático geralmente é aplicado a povoamentos homogêneos. Sendo realizado sem prévia avaliação, sem considerar classes diamétricas, classes de copa, muito menos a qualidade dos indivíduos a se retirar, remove árvores de boa ou má qualidade (BARBOSA, 2014, p.6).

O número de desbastes que serão realizados está diretamente ligado à quantidade de árvores remanescentes, sendo distinta a quantidade de intervenções para cada espécie.

Nogueira et al. (2001, p. 52) argumentam que a relação de ciclo de desbastes no Brasil tem sido feita, em geral, de maneira empírica e alguns casos a decisão de intervenção é baseada nas tendências de crescimento (ICA- Incremento Corrente Anual), área basal (G), altura dominante (H_{dom}) e diâmetro médio.

No Brasil, geralmente povoamentos de teca possuem desbastes nos intervalos 5, 10, 15 e 20 anos, configurado em espaçamento de 3,0 m x 2,0 m, totalizando 1667 árvores.ha⁻¹. Sendo assim o corte final resultará em torno de 200 a 250 árvores.ha⁻¹ (GARCIA, 2006, p.10).

A regulação da produção por meio do desbaste está relacionada à densidade ótima ou ideal, sendo aquela que atenda aos objetivos do plantio e possibilitando o potencial máximo retorno volumétrico da espécie alvo.

O peso do desbaste corresponde ao volume retirado num único desbaste e a intensidade do desbaste é fator predominante e é calculado por métodos como: Método de Índice de Espaçamento Relativo (S^o%); Método Mexicano de desbaste; entre outros (SCHEIDER, 2004, p.355).

A intensidade do desbaste reflete diretamente no produto final. Esta intensidade de desbaste é o volume médio anual retirado em desbaste dividido pelo número de anos do ciclo de desbastes (JOHNSTON et al., 1997).

Na literatura, encontram-se trabalhos principalmente com culturas do gênero *Pinus* e *Eucalipto*. Estes relacionam a intensidade de desbastes sobre o desenvolvimento da altura média, dominante e das “características dendrométricas e tecnológicas” relacionadas com o produto final da floresta (SCHNEIDER; FINGER, 1994; SCHNEIDER; FINGER, 2010; TREVISAN, et al., 2007). Estes autores enfatizam que o planejamento adequado da produção a única forma de otimizar essas diversas características.

4.4 Planejamento Florestal

No setor florestal, o planejamento é uma das ferramentas estratégicas que visa minimizar os custos do empreendimento e buscar a maximização de incremento. O planejamento juntamente com a pesquisa operacional pode auxiliar o tomador de decisão a buscar soluções ótimas e coerentes.

Segundo Oliveira (2011, p. 11) o planejamento florestal atende a três premissas:

- ✓ Planejamento Estratégico: Trata-se de um planejamento de longo prazo, onde vários fatores podem ser alterados de acordo com as necessidades e os produtos desejados.
- ✓ Planejamento Tático: Trata-se de um planejamento de médio prazo onde um ou mais fatores podem sofrer alterações.
- ✓ Planejamento Operacional: Trata-se de um planejamento de curto prazo onde muitos dos fatores são inalteráveis.

A produção florestal se dá a grosso modo pelo acúmulo de biomassa ao longo do tempo. No entanto, ela também pode ser monitorada em relação ao aumento em diâmetro, altura, área basal, volume comercial e volume total ou por sortimentos (SANQUETTA et al., 2014).

Essa produção é diretamente afetada pelos regimes de manejo e outros fatores. O planejamento estratégico é, portanto, peça chave no processo de otimização do empreendimento florestal. Este, por sua vez, faz uso da programação linear como ferramenta fundamental para tomada de decisão.

Otimização é o ato ou efeito de otimizar ou tornar ótimo determinadas atividades visando à maximização de uma atividade (BUONGIORNO; GILLESS, 2003, p.2).

Dentre as principais ferramentas de otimização florestal, tem-se: Área de Pesquisa Operacional (PO), com a utilização da Programação Linear (PL); PL Inteira (PLI); PLI Mista

(PLIM); Programação Dinâmica (PD); Otimização em Redes (PERT e COM); Heurísticas; dentre outras (ARCE, 2000, p.13-22).

Um recurso muito interessante a solucionar o problema em questão, está inserido na área de *Management Sciences* (MS) que utiliza ferramentas como computadores, estatística e matemática para solucionar problemas que tendem a resolver problemas de otimização de recursos, previsão e planejamento (LACHTERMACHER, 2009, p.3).

Um empreendimento florestal depende de muitas variáveis para produção e crescimento florestal. Com isso, o processo de tomada de decisão por parte do gerente é de suma responsabilidade, pois visa maior rentabilidade econômica e produtiva, com o auxílio destas ferramentas (SOUZA e REHFELDT, 2011, p. 41).

4.5 Programação Linear

A programação linear (PL) é uma ferramenta que pretende otimizar determinadas funções-objeto sujeitas a uma série de restrições que são representadas por funções lineares. (LACHTERMACHER, 2009, p.17).

Segundo Goldbarg e Luna (2005, p. 25) modelos de PL são utilizados para determinada atividade de otimização de recursos, devendo atender algumas características, tais como:

A) Proporcionalidade: À medida que o recurso é consumido por determinada atividade deve este possuir proporcionalidade ao fim dos problemas, ou seja, os níveis de consumo para cada atividade devem ser proporcionais aos custos.

B) Não negatividade: Que resulte a desenvolver determinada atividade em qualquer nível não negativo e qualquer proporção que dado recurso pode ser utilizado.

C) Aditividade: O custo total é a soma das atividades requeridas pelo sistema.

D) Separabilidade: Identifica-se de forma separada o custo ou consumo de recursos para cada atividade.

Moura (2013, p. 91) expõe que a PL demonstra-se eficaz como apoio ao planejamento anual, otimizado das atividades envolvidas e contribuindo ativamente para o processo de tomada de decisões.

Santos (2012, p. 74) afirma que a PL tem uma vasta aplicação em resolução de problemas complexos e demonstra a maximização da produção de madeira, buscando o

equilíbrio da floresta ao longo do tempo e controle sob restrições de demanda de madeira, limitações operacionais dentre uma gama de alternativas.

Berger et al. (2003, p.53) relata que para o planejamento do transporte via PD, há um aumento no volume de madeira de 22,70% e para o pátio ocorre uma redução no custo por estéreo posto pátio de 18,33%. Sendo assim, o tomador de decisão obteve sucesso no referido trabalho. Já Braz (2005, p. 11) argumenta que uma ferramenta importante para a otimização da colheita e transporte de madeira, deve considerar condições de heterogeneidades (restrições).

Todavia SILVA et al. (2003, p. 677) expõem que os arredondamentos as respostas obtidas pela PL levaram a uma solução inviável, não devendo ser adotados.

Gonçalves et al. (2013) evidenciam que PLI contribui para classificações de padronização por classe de diâmetro, reduzindo os resíduos que não podem ser aproveitados a fim de otimizar a exploração.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição da empresa Floresteca S/A

Fundada em 1994, a Floresteca S/A é uma empresa brasileira de capital misto (Brasil e Holanda), sendo a maior empresa produtora de teca (*Tectona grandis*) do mundo, comprometida com as boas práticas de manejo sustentável e uma gestão eficiente de ativos florestais.

Iniciou-se os seus plantios em 1994, no município de Jangada, que fica a 90 km de Cuiabá – MT. Seu padrão de qualidade vai desde o desenvolvimento próprio de sementes melhoradas, produção de mudas clonais, plantio, manejo, colheita, processamento e comercialização certificada com a obtenção do selo FSC desde 1998 e mantida até o momento (FSC - Forest Stewardship Council®).

Visando uma Gestão Florestal eficiente a empresa tem como premissa para os processos produtivos: (1) Avaliação e Seleção de Áreas para Plantio “Edafoclimáticas”; (2) Construção e Manutenção de Infraestrutura “talhonamento, estradas e aceiros”; (3) Construção e Manutenção de Benfeitorias “Obras civis”; (4) Preparo da área para plantio; (5) Produção de Mudas; (6) Plantio; (7) Manutenção Florestal; (8) Inventário Florestal; (9) Planejamento Florestal; (10) Colheita e Transporte Florestal; (11) Proteção Florestal “Prevenção e Combate contra incêndios e Combate a Pragas e Doenças”.

A empresa apoia a Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento, com incentivo à desenvolvimento de tecnologias e cooperação técnica entre Universidades e a Empresa (Grupo de Modelagem liderado pelo Prof. Dr. Edgar de Souza Vismara da UTFPR é firmado parceria desde 2013). E claro, suas estratégias e ações são comprometidas com a produção sustentável atendendo o manejo e conservação dos recursos naturais, manutenção da biodiversidade, proteção das paisagens naturais e o respeito à vida silvestre.

É uma empresa que visa em seus processos produtivos que seja ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável, em pleno cumprimento das leis vigentes do Brasil e seguindo rígidos padrões internacionais. Em 2015, publicado no Resumo Público do Plano de Manejo Florestal, a empresa totalizou a relação das áreas sob escopo de áreas certificadas por região administrativa (Tabela 1):

Tabela 1: Áreas pertencentes à Floresteca S/A no estado do Mato Grosso.

Região	Total de Fazendas	Áreas (ha)				
		Total	Área de Produção	Remanescentes	Recuperação	Outras Áreas
Jangada	11	9.934,73	5.167,64	3.696,74	3,52	1.066,83
Cáceres	5	12.023,16	8.163,94	3.009,20	8,54	841,48
Porto Esperidião	5	12.610,71	7.219,85	3.581,51	3,52	1.805,83
Total	21	34.568,60	20.551,43	10.287,45	15,58	3.714,14

Fonte: Resumo Público do Plano de Manejo Florestal da Floresteca S/A (2015)

No estado do Pará, a região administrativa de Porto Esperidião possui a maior área total, porém, a nível de produção efetiva a região de Cáceres se destaca como a principal e resultando nas três regiões em uma área de produção aproximadamente de 21 mil hectares com áreas consolidadas com o plantio da cultura no Mato Grosso.

As áreas Remanescentes/Conservação são compostas por Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APP), atendendo à lei 12.651, de 2012 do Novo Código Florestal e ao Decreto 8.235 de 2014 (Programa de Regularização Ambiental). Áreas ainda não certificadas totalizam 7,5 mil ha no Estado do Mato Grosso, onde o empreendimento florestal gera 307 empregos diretos (2014). Já no estado do Pará a empresa possui no município de Redenção, outro negócio florestal com área total de 52 mil hectares, sendo aproximadamente 19,5 mil ha de área efetiva de produção de Teca certificados.

5.2 Descrição dos Municípios com Plantios Efetivos

O presente estudo foi realizado com dados dos plantios pertencentes à empresa, nas quatro unidades produtivas localizados nos municípios abaixo, nos quais verificam-se suas características a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 2: Características dos municípios, número total de habitantes, extensão territorial e condições climáticas.

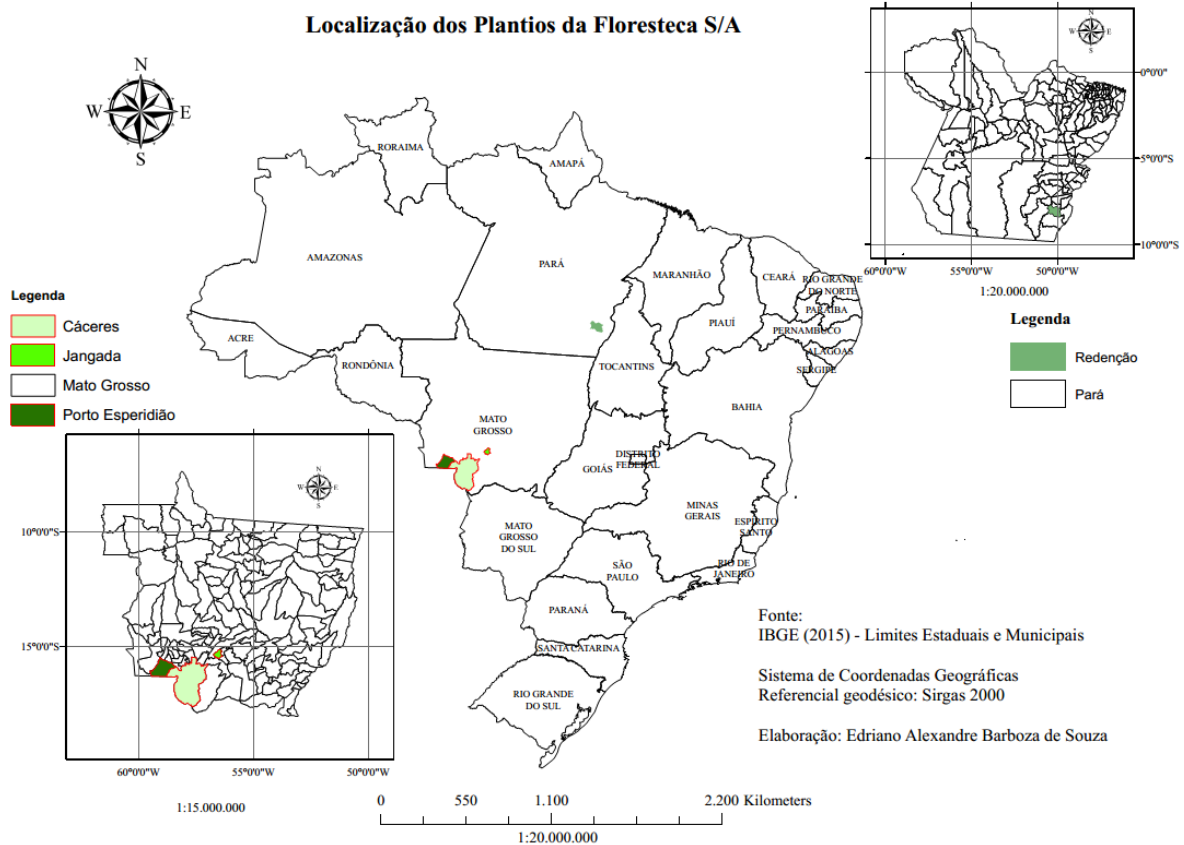
Município	Pop.			Área	Clima	T°C	Precip. (mm)	Alt. (m)
	Urbana	Rural	Total					
Cáceres (MT)	74.333	10.746	87.942	24.593.031	Aw	26.3	1301	118.00
Jangada (MT)	2.946	4.750	7.696	1.018,492	Aw	24.3	1236	141.34
Redenção (PA)	70.065	5.074	75.556	222,821	Aw	25.8	1890	222.00
Porto Esperidião (PA)	3.632	5.376	11.031	5.809,776	Aw	25,8	1445	160.00

Fontes: Pop- Poluição (Censo, 2010); Área - Área Territorial em 2016 (km²) (IBGE, 2016); Clima - Zona Climática segundo a classificação de Köppen e Geiger, T°C - Temperatura Média em °C, Precip. (mm) -

Precipitação Média/Ano em mm (Org. Climate Data, 2017); Alt. (m) - Altitude em metros (Topographic-Map, 2017).

Todos os plantios estão sob condições climáticas, segundo a classificação de Köppen e Geiger do tipo “Aw” - Clima Tropical com inverno seco que é caracterizado por duas estações bem definidas: chuvosa no verão e estação seca no inverno. Apresentando temperatura média no mês mais frio próximo a 18°C e precipitações entre 750-1800 mm/ano. Na Figura 2, ilustra-se a localização dos quatro municípios:

Figura 2: Municípios com plantios de Teca da empresa Floresteca S/A.



5.3 Conjunto de Dados

O conjunto de dados foi composto por inventários florestais coletados entre 1998 a 2016, com coleta de variáveis dendrométricas quantitativas como: dap e altura total de árvores da espécie *Tectona grandis* L.f., coletados nos quatro municípios. Tais informações subsidiam

o levantamento do estoque de madeira atual, bem como a situação do desenvolvimento quantitativo e qualitativo dos povoamentos.

Os inventários florestais são feitos em parcelas permanentes localizadas com GPS e em um primeiro momento a amostragem é sistemática com intensidade amostral de 01 parcela para cada 10 ha.

O conjunto amostral foi composto por coletas compreendidas em parcelas permanentes em Cáceres, Jangada, Porto Esperidião e Redenção. As parcelas permanentes começaram a ser construídas na forma quadrada com 900m², porém ao longo do tempo foram substituídas por parcelas circulares de áreas entre 360m² a 1960m², os dados a nível qualitativo também foram validados e sendo utilizadas somente para este trabalho as árvores sadias.

5.4 Cenários de Manejo da Empresa

A empresa conduziu seus plantios sob dois layouts de regimes de manejo de alto fuste: inicialmente o 1º foi com espaçamento de 3x3 m com 4 desbastes e posteriormente 2º com 4x3 m com 3 desbastes, taxa mortalidade de 0% (ocorre replantio) e plantios por semente. Esses regimes de manejo são apresentados, sucintamente na Tabela 3.

Tabela 3: Cenários de Manejo praticados pela empresa Floresteca S/A.

3x3					4x3				
Desbaste	Idade (Meses)	Total (Arv/há)	Desbaste (N/ha)	Restantes (N/ha)	Desbaste	Idade (Meses)	Total (N/ha)	Desbaste (N/ha)	Restantes (N/ha)
1º	36	1111	550	561	1º	36	833	400	433
2º	72	561	225	336	2º	96	433	220	213
3º	96	336	125	211	3º	132	213	63	150
4º	132	211	61	150	CF	240	150	-	-
CF	240	150	-	-					

Fonte: Cenários de condução de Manejo da Floresteca (2017); Idade em meses;

Verifica-se na Tabela 3 que os cenários conduzidos pela empresa tendem após os desbastes pré-determinados na idade correspondente à quantidade mínima desejada a permanecer para o corte final será superior a 150 indivíduos por hectare (ha). Também se

Assim, após compilação dos dados foram testados e selecionados os modelos adequados para as 4 regiões. O presente estudo partiu-se dos modelos já ajustados pelo grupo de pesquisa da UTFPR-DV utilizando modelos de relação hipsométrica, volume total, volume comercial e área basal.

5.6 Relação Hipsométrica

O modelo anteriormente adotado pela empresa era o de Curtis modificado, que é apresentado abaixo na equação 1:

$$\ln(\text{Alt}) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{\text{DAP}} + \beta_2 \ln(\text{MhDom})$$

(Eq. 1).

Onde: Ln = Logarítmo neperiano; Alt = altura em metros; β_0 , β_1 , β_2 = parâmetros do modelo; DAP = diâmetro médio à 1,30 m do solo (cm); Mhdom = média das alturas dominantes; ε = erro aleatório.

O modelo de Curtis modificado (Eq. 1) possui seus coeficientes atribuídos as variáveis de entrada: DAP e a média das alturas dominantes e é utilizado em nível de parcela e os dados são ajustados para cada região administrativa.

Os envolvidos, no desenvolvimento da cooperação técnica, testaram vários modelos consolidados na literatura e concluiu que o modelo de Pienaar (Eq. 2) se ajustava melhor em nível de talhão para cada projeto apresentando para os plantios com um erro padrão inferior (1,3663), já o de Curtis Modificado (1,4253), com ganho de 4,13% quando comparados, além de demonstrar melhores curvas de regressão e melhor padrão residual.

$$\frac{\text{Alt}}{\text{MhDom}} = \alpha_1 \left[1 - \alpha_2 e^{\left(-\alpha_3 \frac{\text{DAP}}{Q}\right)} \right]$$

(Eq. 2).

Onde: alt = altura em metros; Mhdom = média das alturas dominantes; dap = diâmetro médio à 1,30 m do solo (cm); Q = diâmetro médio quadrático (cm); α_1 , α_2 , α_3 = parâmetros do modelo, e ε = erro aleatório.

Logo: $\alpha_1 = 6.189$; $\alpha_2 = 0.9901$; $\alpha_3 = 0.1446$.

5.7 MODELAGEM DO VOLUME TOTAL

O volume total por árvore: inclui a madeira da árvore e seus galhos grossos. Em relação ao modelo do volume total foi adotado o modelo de Schumacher e Hall (1933), sendo eq. 3:

$$\ln(vol_i) = \ln(\lambda_0) + \lambda_1 \cdot \ln(dap_i) + \lambda_2 \cdot \ln(Ht_i) + \lambda_3 \cdot \frac{1}{Ht_i} + \varepsilon_i$$

(Eq. 3).

Onde: vol = volume total com casca (m³); Ln= Logaritmo neperiano; V= volume, m³; DAP = diâmetro a 1,3 m de altura, cm; ht = altura total da árvore, m; λ_i = parâmetros do modelo (coeficientes); e ε = erro aleatório.

Logo: $\lambda_0 = -10.2167$; $\lambda_1 = 1.8051$; $\lambda_2 = 1.1158$; e $\lambda_3 = 2.399$.

5.8 MODELAGEM DO VOLUME COMERCIAL

O volume comercial consiste na produção florestal volume total considerando um diâmetro mínimo de utilização que foi de 15 cm. Em relação ao modelo do volume comercial total foi utilizado o procedimento demonstrado por Bullock e Burkhart (2003), sendo eq. 4:

$$\left(\frac{VACC}{VTCC}\right) = \exp\left(\sigma_1 \cdot \frac{d^{\sigma_2}}{DAP^{\sigma_3}}\right) + \varepsilon$$

(Eq. 4).

Onde: VACC = volume acumulado com casca (m³); VTCC = volume total com casca (m³); DAP = diâmetro a 1,30 m do solo; d = diâmetro desejado (cm), σ_i = parâmetros do modelo e ε = é o erro aleatório.

Logo: $\sigma_1 = -1.0025$; $\sigma_2 = 4.6249$; $\sigma_3 = 4.4425$.

5.9 MODELAGEM DO ÍNDICE DE SÍTIO

Em relação ao modelo para o Índice de Sítio seguiu o modelo proposto por Bailey e Clutter (1974), sendo a eq. 5:

$$\ln(MhDom2) = \ln(MhDom1) \left(\frac{I_1}{I_2}\right)^{\varphi_0} + \ln(\varphi_1) \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)^{\varphi_2}$$

(Eq. 5).

Onde: $Mhdom_i$ = média das alturas dominantes; φ_i = parâmetros do modelo; I_i = Idade referência.

Aplicando-se os anti-logarítimos:

$$Mhdom2 = \varphi_1 \left(\frac{Mhdom1}{\varphi_1} \right)^{\frac{I_1}{I_2} \varphi_0}$$

A aplicação quando se tem o ano de referência, (ano base) $I_1 = 240$ ou seja, o fim do ciclo se aplica a equação da forma apresentada abaixo:

$$Mhdom1 = \varphi_2 \left(\frac{S}{\varphi_2} \right)^{\frac{I_1}{I_2} \varphi_0}$$

Onde: $Mhdom1$ = Sítio (S)

Logo os parâmetros: $\varphi_1 = 38.86134$; $Mhdom1$ = realizada com a entrada do índice de sítio no qual quer verificar o retorno produtivo; $I_1 = 240$ já que o ciclo adotado pela empresa é de 20 anos; e I_2 = Idade de referência do fim do ciclo; $\varphi_2 = 0.434$.

5.10 MODELAGEM DA ÁREA BASAL

Em relação ao modelo para área basal foi considerado o modelo proposto por Pieenar (1986), o modelo de predição assume a seguinte forma eq. 6:

$$\ln(G) = \chi_0 + \frac{\chi_1}{I} + \chi_2 \cdot \ln(HDom) + \chi_3 \cdot \ln(N) + \chi_4 \cdot \left(\frac{\ln(N)}{I} \right)$$

(Eq. 6).

Onde: G = área basal; χ_i = parâmetros do modelo; N = Número de árvores; I = Idade; $Hdom$ = altura dominante e ε = é o erro aleatório.

Para a projeção, o modelo assume a seguinte forma:

$$\begin{aligned} \ln(G2) = & \chi_0 + \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \frac{I_1}{I_2} \cdot \ln(G1) + \chi_2 \cdot \left(\ln(Hdom2) - \frac{I_1}{I_2} \ln(Hdom2) \right) \\ & + \chi_3 \cdot \left(\ln(N2) - \frac{I_1}{I_2} \ln(N1) \right) + \chi_4 \cdot \frac{\ln(N2) - \ln(N1)}{I_2} \end{aligned}$$

Ambos modelos de `Predição e Projeção possuem os mesmos valores dos coeficientes sendo: $\chi_0 = - 7.03727$; $\chi_1 = 90.567569$; $\chi_3 = 0.89672$; $\chi_4 = 1.246394$; $\chi_5 = -16.583098$; I1= Idade inicial; I2= Idade final; N= Número de Fustes; Hdom = altura dominante;

Sendo que altura dominante estimada por meio do modelo de sítio (Bailey-Clutter);

Diâmetro médio

$$\ln(Dg - Dm) = \partial_0 + \partial_1 \cdot \ln(MHdom) + \frac{\partial_2}{I}$$

(Eq. 7).

Onde: Dg = diâmetro médio quadrático; dm == diâmetro médio; Mhdom = altura dominante e I= idade.

Logo: $\partial_0 = -1.05167$; $\partial_1 = -0.5505$; e $\partial_2 = -22.49028$

5.11 Cenários Simulados

Partindo-se dos modelos de crescimento e produção adotados pela empresa e em posse dos coeficientes da modelagem trabalhada pelo grupo procederam-se as seguintes atividades.

5.11.1 Construção de planilha eletrônica suporte para as simulações

A construção da planilha teve como variáveis de entrada; idade inicial (I1), o índice sítio, n° de fustes (N1) para idade inicial, idade de desbaste (I2) e número de fustes (N2) para a idade de desbastes. Seguindo a Figura 5, verifica-se as células de entrada em amarelo, a parte em rosa e azul apresenta o resultado dos diâmetros médio, médio quadrático e mínimo:

Figura 5: Variáveis de entrada Idade, Índice de Sítio para a simulação em amarelo.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Produção e crescimento						
2	Variáveis ao nível do povoamento						
3	Idade (I1) =	1	meses	Idade (I1)			
4	Índice de sítio =	15		Q	MDAP	D0	
5	Nº Fustes (N1) =	1667		0.00	0.00	0.00	
6	Hdom (H1) =	0.0					
7	G/ha na I1 =	0.000000000					
8	G1 obser. =						
9	Idade (I2) =	240	meses	Idade (I2)			
10	Nº Fustes (N2) =	1667		Q	MDAP	D0	
11	Hdom (H2) =	15.0		26.25	26.33	6.75	
12	G/ha na I2 =	90.2					
13							
14				N =	1667.0		
15				G =	90.2		
16				H =	15.0		
17				Dg =	26.3		
18							
19	dap	arv/ha	ab	h	vtcc	vccc	
20	26	1667.0	90.2	13.3	480.9	285.6	

A parte superior em amarelo são as variáveis de entrada. A partir da seguinte informação pode-se observar a simulação: Idade (1) referente ao início do plantio; Idade (2) referente ao desbaste ou corte final do plantio na respectiva idade de ocorrência; (3) Número de Fustes da simulação considerou-se que não houve desbaste e sim, apenas o corte final. Logo o número inicial de fustes reflete o número final de fustes.

Na parte inferior da Figura 5 é apresentado os resultados gerados do retorno produtivo, para a seguinte simulação realizada. No presente trabalho foi considerado apenas a variável vccc (Volume Total Comercial com Casca), uma vez que o trabalho buscou-se verificar os diferentes retornos produtivos para as diferentes intervenções e layouts de espaçamento. Já que o volume total (vtcc) considera-se um volume real, porém, considera-se a árvore toda e não apenas o fuste.

Em caso de replicação da planilha aqui construída, todas as equações pelos respectivos modelos e seus coeficientes podem ser conferidas (Anexo II):

5.11.2 Compilação do conjunto de dados com a previsão volumétrica para os diferentes espaçamentos e números de desbastes

Com a composição da planilha foram realizados exaustivas simulações e compilados os dados de retorno produtivo considerando dois índices de sítio 15 e 25, para os

espaçamentos de 6m² por planta (1666), 7m² por planta (1429), 8m² por planta (1250), 9m² por planta (1111) e 12m² por planta (833) e o número de intervenções variou de 0 (apenas corte final ao final do ciclo), 1, 2, 3, 4, 5 e 6 desbastes.

Na Figura 6 é exemplificada a compilação dos dados para o espaçamento (e) de 6m² por planta, considerando até 6 desbastes sendo realizados e seu retorno produtivo em volume (vcc).

Figura 6: Exemplo da Planilha Eletrônica base para compilação das diferentes simulações e seus retornos produtivos a cada desbaste.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	i	proj	e	is	nd	d	mdap	narv	ab	vtc	vcc	hdom	g
2	240	1	6	15	0	CF	26.16	1666	90.2288	480.44	287.36	15.00	90.1852
3	120	1	6	15	1	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74	29.1846
4	240	1	6	15	1	CF	24.59	833	39.9000	215.11	110.57	13.21	15.5555
5	120	1	6	15	2	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74	29.1846
6	180	1	6	15	2	2°	22.89	417	17.2981	84.17	34.47	13.21	7.7778
7	240	1	6	15	2	CF	23.13	417	17.6690	96.45	40.91	13.21	15.5555
8	120	1	6	15	3	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74	29.1846
9	160	1	6	15	3	2°	22.15	417	16.2018	75.38	27.21	12.49	16.1950
10	200	1	6	15	3	3°	22.23	209	8.1680	41.78	15.29	13.87	8.1650
11	240	1	6	15	3	CF	21.74	208	7.7910	43.07	14.32	15.00	7.7900
12	120	1	6	15	4	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74	29.1846
13	150	1	6	15	4	2°	21.73	417	15.6054	70.81	23.61	12.09	15.5950
14	180	1	6	15	4	3°	21.70	209	7.7829	38.28	12.65	13.21	7.7800
15	210	1	6	15	4	4°	21.20	104	3.7068	19.53	5.80	14.17	3.7050
16	240	1	6	15	4	CF	20.44	104	3.4440	19.27	4.73	15.00	3.4400
17	120	1	6	15	5	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74	29.1846
18	144	1	6	15	5	2°	21.47	417	15.2278	68.00	21.46	11.84	15.2150
19	168	1	6	15	5	3°	21.34	209	7.5293	36.07	11.06	12.79	7.5250
20	192	1	6	15	5	4°	20.83	104	3.5795	18.24	4.97	13.61	3.5750
21	216	1	6	15	5	5°	20.09	52	1.6654	8.97	2.01	14.35	1.6650
22	240	1	6	15	5	CF	19.21	52	1.5192	8.60	1.43	15.00	1.5200

Onde: i = idade em meses; proj_i = índice de sítio sendo 1= 15 e 2-20; e= espaçamento; is= índice de sítio; nd= número de desbaste; d= ocorrência do desbaste; mdap= média de diâmetro médio das árvores individuais; narv = número de árvores; ab= área basal total; vtc = volume total comercial; volume comercial com casca; hdom = altura dominante e g = área basal.

5.12 PROGRAMAÇÃO LINEAR (PL)

O problema de programação é descrito da seguinte forma:

$$\begin{array}{l}
 \text{Otimizar: } Z: f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\
 \text{Sujeito a: } \left. \begin{array}{l} g_1: (x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2: (x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_3: (x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_n: (x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_n \end{array} \right.
 \end{array}
 \quad (\text{Eq. 8}).$$

Onde:

Z representou-se a função objetivo que se quer otimizar, no estudo buscou-se qual regime resulta em maior volume por hectare;

g_1, g_2, \dots, g_n representam as restrições à otimização que possuem limites representados pelos valores b_1, b_2, \dots, b_n (restrições para ótimo não realista);

Cada valor de x representa uma variável a ser considerada na otimização, por se tratar de um problema de otimização linear cada variável possui um coeficiente associado a ela na função objetivo;

Desta maneira pode-se representar a função objetivo $Z: f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ por

$$Z: c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n$$

Eq. 9 – Equação de otimização para maior retorno produtivo

Onde: c_1, c_2, \dots, c_n são os coeficientes associados a cada uma das variáveis. Estes coeficientes representam taxas de acréscimo em Z dada a variação de uma unidade em x .

No presente trabalho os regimes de manejo foram usados para se obter os coeficientes da função objetivo Z . O objetivo, neste caso, foi maximizar a produção em função do número de desbastes (x_1), índice de sítio (x_2) e espaçamento (x_3) e resultando no volume encontrado em função destes pressupostos.

Desta forma, os coeficientes da função objetivo para cada uma das variáveis foram obtidos através de funções ajustadas aos dados nos quais associaram-se cada uma das variáveis com a produção total da floresta. O coeficiente c_1 associado a x_1 representa a resposta em aumento/decrécimo da produção quando da variação em uma unidade no número de desbastes, o coeficiente c_2 associado a x_2 representa a resposta em

aumento/decrécimo da produção quando da variação em uma unidade no índice de sítio e o coeficiente c_3 associado a x_3 resulta na resposta em aumento/decrécimo da produção quando da variação em uma unidade do espaçamento.

Algumas restrições operacionais foram incluídas a fim de impedir que ótimos não realistas sejam obtidos no processo de otimização, tais como:

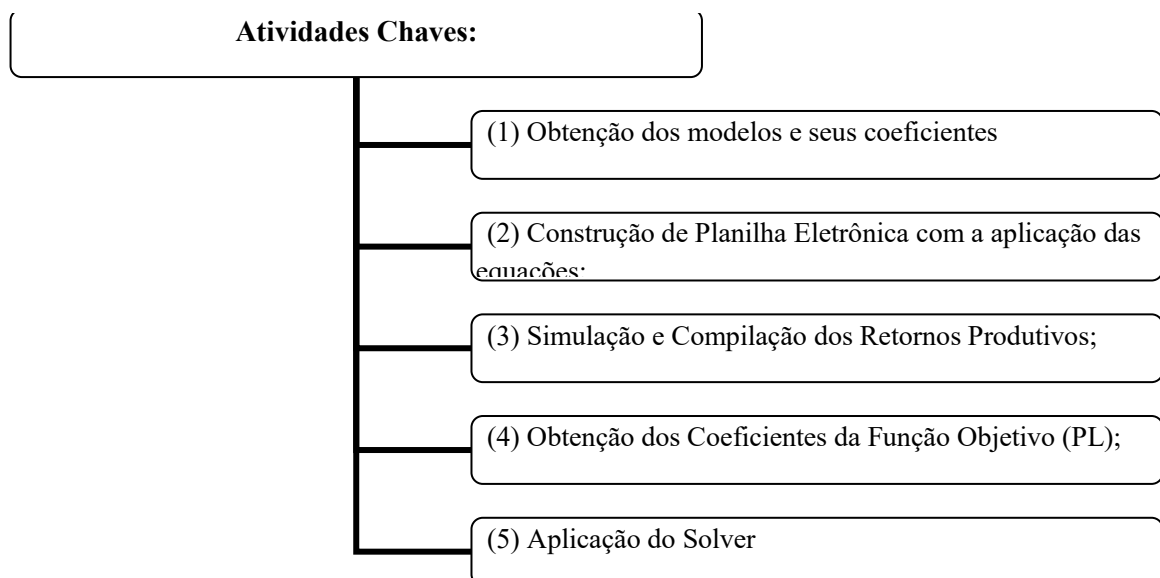
1 – Número de desbaste maior ou igual a 1 e menor ou igual a 6. Além disso, por se tratar de uma operação de campo não se deve permitir que a otimização retorne como ótimo valores não inteiros (PD);

2 – Espaçamento maior que $6m^2$ e menor ou igual a $12m^2$.

Assim, de modo geral partiu-se dos seguintes passos (Figura 7): (1) modelos utilizados e propostas pela empresa; (2) construção de planilha eletrônica com a aplicação dos modelos e seus coeficientes; (3) compilação dos retornos Produtivos após as simulações para os diferentes espaçamentos e números de desbastes; (4) obtenção dos coeficientes da função objetivo; (5) aplicação no software Excel pelo pacote solver aplicando a programação linear.

A variação dos retornos produtivos em função do número desbastes e espaçamentos com uma ampla variação é o que garante a obtenção dos coeficientes da função objetivo, sendo primordial para a aplicação da programação.

Figura 7: Organograma dos procedimentos metodológicos aplicados no trabalho.



6 RESULTADOS

Conforme supracitado os dados trabalhos pelo grupo de pesquisa foram modelados e a aplicação dos respectivos coeficientes e modelos, puderam gerar a planilha base para verificar os respectivos resultados dos valores de retorno produtivo sob os diferentes espaçamentos e número de desbaste (Tabela 4).

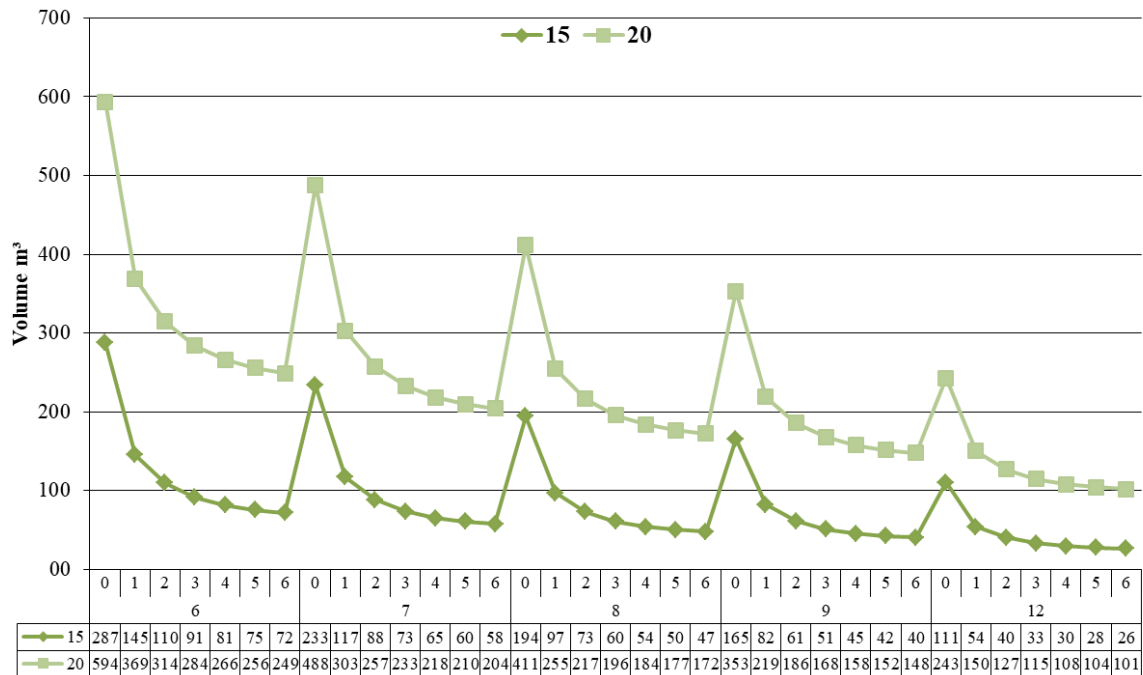
Tabela 4: Resultados do Total do Retorno Produtivo Volumétrico (m³).

IT	a ²	N1	NºD	I1	NF1	I2	NF2	I3	NF3	I4	NF4	I5	NF5	I6	NF6	vcc (is-15)	vcc (is-20)
100.00%	6	1666	0	240	1666											287.36	593.74
50.00%	6	1666	1	120	833	240	833									144.93	368.79
50.00%	6	1666	2	120	833	180	417	240	417							109.74	314.22
50.00%	6	1666	3	120	833	160	417	200	208	240	208					91.17	283.66
50.00%	6	1666	4	120	833	150	417	180	208	210	104	240	104			81.15	266.35
50.00%	6	1666	5	120	833	144	417	168	208	192	104	216	52	240	52	75.29	255.77
50.00%	6	1666	6	120	833	140	417	160	208	180	104	200	52	220	26	71.62	248.90
100.00%	7	1429	0	240	1429											233.25	488.16
50.00%	7	1429	1	120	714	240	714									116.80	302.55
50.00%	7	1429	2	120	714	180	357	240	357							88.05	257.37
50.00%	7	1429	3	120	714	160	357	200	179	240	179					73.18	232.63
50.00%	7	1429	4	120	714	150	357	180	179	210	89	240	89			65.10	218.35
50.00%	7	1429	5	120	714	144	357	168	179	192	89	216	45	240	45	60.46	209.82
50.00%	7	1429	6	120	714	140	357	160	179	180	89	200	45	220	22	57.52	204.33
100.00%	8	1250	0	240	1250											194.27	411.15
50.00%	8	1250	1	120	625	240	625									96.72	254.62
50.00%	8	1250	2	120	625	180	313	240	313							72.68	216.55
50.00%	8	1250	3	120	625	160	313	200	156	240	156					60.32	195.50
50.00%	8	1250	4	120	625	150	313	180	156	210	78	240	78			53.69	183.65
50.00%	8	1250	5	120	625	144	313	168	156	192	78	216	39	240	39	49.90	176.56
50.00%	8	1250	6	120	625	140	313	160	156	180	78	200	39	220	20	47.50	172.09
100.00%	9	1111	0	240	1111											165.16	353.19
50.00%	9	1111	1	120	556	240	556									81.87	218.62
50.00%	9	1111	2	120	556	180	278	240	278							61.28	185.65
50.00%	9	1111	3	120	556	160	278	200	139	240	139					50.79	167.67
50.00%	9	1111	4	120	556	150	278	180	139	210	69	240	69			45.26	157.54
50.00%	9	1111	5	120	556	144	278	168	139	192	69	216	35	240	35	42.08	151.61
50.00%	9	1111	6	120	556	140	278	160	139	180	69	200	35	220	17	40.08	147.62
100.00%	12	833	0	240	833											110.57	242.89
50.00%	12	833	1	120	417	240	417									54.08	149.87
50.00%	12	833	2	120	417	180	208	240	208							40.14	126.87
50.00%	12	833	3	120	417	160	208	200	104	240	104					33.24	114.69
50.00%	12	833	4	120	417	150	208	180	104	210	52	240	52			29.61	107.94
50.00%	12	833	5	120	417	144	208	168	104	192	52	216	26	240	26	27.60	104.00
50.00%	12	833	6	120	417	140	208	160	104	180	52	200	26	220	13	26.36	101.48

Onde: IT = percentual de retirada em relação ao número de indivíduos; a²= m²/planta; N_n = número de árvores; N° D = Número de desbastes; I_n= Idade de ocorrência do desbastes; NF_n= Número de árvores Final; vcc (is-15) volume total comercial com índice de sítio de 15; vcc (is-20) volume total comercial com índice de sítio de 20.

A variação em relação ao metro quadrado ocupado por planta (espaçamento) nota-se significativo decréscimo volumétrico na medida em que se aumenta uma unidade de m² (6, 7, 8, 9 e 12 metros quadrado por planta). Podendo ser conferido no Gráfico 1 abaixo o respectivo volume para os 2 índices de sítio testados (15 e 20):

Gráfico 1: Retorno produtivo para os diferentes espaçamentos e número de intervenções.



Eixos: x₁: Número de desbastes; x₂ = espaçamento e y = volume (m³)

Na medida em que se aumenta o número de desbastes, o retorno produtivo resulta em redução acima de 50% do volume quando comparado um ciclo completo sem desbastes. De 1 a 6 desbastes também se verifica que continua ocorrente, porém, já inferior 25% e com leve moderação conforme o aumento do número de desbastes.

Macedo et al. (2007) expõe que no Brasil, particularmente no Mato Grosso, é mais usual espaçamentos de 3x3m ou 3x2, porém, a escolha do espaçamento vai depender principalmente do tipo de produto que se espera (madeira serrada, lenha, carvão)

Oliveira (2008), em avaliação do desempenho da silvicultura da espécie no município de Cáceres, sob diferentes espaçamentos, sem desbaste e na idade de 114 meses resultou em um Volume (m³)/ hectare na seguinte ordem: 3x2m (149,42); 4x2m (138,29); 5x2m (107,31) e 6x2m (111,56), totalizando um volume médio por área de 126,64m³/ha.

O presente trabalho considerou um ciclo de 240 meses, apesar do volume apresentado ser o dobro ao fim do ciclo, pode-se verificar no (Anexo 1), o trabalho da autora citada são

valores próximos quando considerado o volume total (120.19m³), compatibilizando com do 1º desbaste para o espaçamento de 3x2m aos 120 meses de idade.

Tonini et al. (2009), trabalhando com plantio de Reflorestamento na Amazônia Setentrional, no município de Iracema, RR, registrou resultados para a espécie aos 7 anos de idade (84meses), volume de 52,80 m³/ha para o volume total com casca, em espaçamento de 3m x 2 m, o autor argumenta que o baixo retorno produtivo quando comparado a vários estudos no Brasil e no mundo está relacionado potencialmente a fertilidade do solo na região, alterando assim o bom desempenho da espécie.

Já o presente trabalho apresenta-se com dados em regiões que a empresa realiza plantios e que a mesma possui um controle rigoroso para obtenção de diferentes produtos. Assim os resultados apresentados na (Tabela 4) demonstram o potencial produtivo simulado.

No software RStudio, foi obtido os coeficientes da PL. Resultando-se em duas funções objetivos para cada um dos sítios de 15 e outra para sítio 20 e seus coeficientes para o número de desbaste e espaçamento. Na Figura 8, podem ser conferidos os coeficientes, erro padrão, valor de t e R², dentre outras estatísticas.

Figura 8: Coeficientes da função PL

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
nd          -26.508      3.078  -8.612 2.14e-12 ***
e           -21.888      2.990  -7.321 4.34e-10 ***
as.factor(is)15 347.348    28.139  12.344 < 2e-16 ***
as.factor(is)20 497.225    28.139  17.670 < 2e-16 ***
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 51.51 on 66 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9345,    Adjusted R-squared:  0.9306
F-statistic: 235.5 on 4 and 66 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Onde: nd= Número de desbastes; e= espaçamento.

Logo a função objetivo para o sítio 15 da seguinte forma:

$$f(x) = 347,348 - 26,508 * nd - 21.888 * e \tag{eq. 10}.$$

Já a função objetivo para o sítio 20

$$f(x) = 497,225 - 26,508 * nd - 21.888 * e \tag{eq. 11}.$$

Na visualização do Gráfico 1, demonstrou-se a influência da redução volumétrica a cada unidade das variáveis em questão quando eram aumentadas ou reduzidas. Todavia,

prosseguiu-se com o trabalho, com a realização da linearização da função objetivo e novamente pode-se constatar, pelos valores negativos dos coeficientes da função objetivo (Figura 8), resultando assim, que o volume reduz a cada aumento de uma unidade nas variáveis número de desbaste (nd) e espaçamento (e), pois são coeficiente negativos.

Porém, tinha-se como hipótese que o número de desbastes não resultaria tão expressivamente na redução de retorno produtivo de volume.

Justifica-se que o sistema não funcionou da forma esperada para as simulações de poucos desbaste, já que os dados usados no ajuste foram obtidos em povoamento desbastados.

Mesmo sem rodar a PL no Solver, podemos adiantar que o resultado será o mínimo de espaçamento que iremos impor na restrição e o mínimo de desbastes que iremos impor nas restrições. De qualquer forma, apresenta-se a seguir o exemplo mencionado PL com a resolução para confirmar a expectativa aqui discutida.

E mesmo com o insucesso talvez do trabalho, é uma ferramenta que vêm sendo discutido na literatura há um tempo sobre o Uso de Modelos Matemáticos de Otimização no setor Florestal. Curtis, (1962) apresenta em sua publicação intitulada “Programação Linear na gestão de uma propriedade florestal”; Dijkstra, (1984). escreveu o livro Programação matemática para o gerenciamento de recursos naturais; Leuschner, 1984), no mesmo ano publica o livro Introdução ao gerenciamento de recursos florestais.

O que demonstra que é algo que vêm sendo discutido na literatura, o uso aplicado da programação linear podendo ser uma ferramenta para o melhor gerenciamento dos recursos naturais.

Moura em sua dissertação desenvolveu modelos de programação linear e linear não inteira para os planos anuais das atividades silviculturais, visando minimizar os custos das atividades compatibilizando com uma série de restrições a atender o ordenamento adequado de execução.

Com aplicabilidade nos trabalhos e para confirmar como mencionado anteriormente prosseguiu-se com a solução no solver.

Utilizou-se as Eq. 10 e 11 nas simulações, ambas possuindo coeficiente negativos. De forma, matemática e executável no Excel (

Figura 9), na seguinte simulação para o IS= 20 os coeficientes da função objetivo ($c_0 = 497,22$; $c_1 = -26,508$; $c_2 = 21,888$), respectivamente índice de sítio 20; o número de desbastes e espaçamento, sujeito as condições de restrições (LHS e RHS), para que se resulte em Z

(máximo retorno produtivo), de forma de compatibilizar a encontrar soluções de otimização que atendam às restrições e que sejam de forma realística.

Figura 9: Forma Geral das Equações no Excel considerando o IS de 20.

	nd	e	IS
Coef da função objetivo	-26.508	-21.888	497.225
Variáveis	1.00000000048656	6.00000000114305	

Z=D3+SOMARPRODUTO(B3:C3;B4:C4)

	Restrições	LHS	RHS	Referência
espmax	1	=SOMARPRODUTO(B8:C8;\$B\$4:\$C\$4)	9	<=
ndmax	1	=SOMARPRODUTO(B9:C9;\$B\$4:\$C\$4)	4	<=
espmín	1	=SOMARPRODUTO(B10:C10;\$B\$4:\$C\$4)	6	>=
ndmín	1	=SOMARPRODUTO(B11:C11;\$B\$4:\$C\$4)	1	>=

	nd	e	IS
Coef da função objetivo	-26.508	-21.888	497.225
Variáveis	1	6	

Z= 339.389

	Restrições	LHS	RHS	Referência
espmax	1	6.000000001	9	<=
ndmax	1	1	4	<=
espmín	1	6.000000001	6	>=
ndmín	1	1	1	>=

Figura 10: Resultados para a constante de 15.

	nd	e	IS
Coef da função objetivo	-26.508	-21.888	347.348
Variáveis	1	6	

Z= 189.512

	Restrições	LHS	RHS	Referência
espmax	1	6	9	<=
ndmax	1	1	4	<=
espmín	1	6	6	>=
ndmín	1	1	1	>=

RHS (lado direto) são as restrições que estão sujeitas a atender: no caso, o espaçamento máximo menor ou igual a 12m², número de desbastes máximo menor ou igual a 6 (nd), o espaçamento mínimo maior ou igual a 6m² e número de desbastes mínimo maior ou igual a 1 (nd).

Para exemplificar nota-se na (Figura 11), para a constante de 15, as variáveis vazias sem a solução é onde resultará os valores apresentados na solução, seleciona o solver e procede-se a entrada de dados. Definindo a célula na qual retornará o máximo de retorno produtivo (Z), definindo a maximização e considerando as restrições descritas anteriormente de espaçamento e número de desbastes máximo e mínimo.

Figura 11: Procedimento de entrada dos dados para rodar o Solver.

The screenshot shows the Excel Solver interface. The spreadsheet data is as follows:

	nd	e	IS
Coef da função objetivo	-26.508	-21.888	347.348
Variáveis			
Z	347.348		

	Restrições		LHS	RHS
espmax		1	0	9
ndmax	1		0	4
espmin		1	0	6
ndmin	1		0	1

The Solver Parameters dialog box is configured with the following settings:

- Definir Objetivo: $\$C\6
- Para: Máx. Mín. Valor de: 0
- Alterando Células Variáveis: $\$C\$4:\$D\4
- Sujeito às Restrições:
 - $\$E\$10 \leq \$F\10
 - $\$E\$11 \leq \$F\11
 - $\$E\$8 \geq \$F\8
 - $\$E\$9 \geq \$F\9
- Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas
- Selecionar um Método de Solução: LP Simplex

Observa-se que o valor da constante do IS 15 resulta no valor de 347.348, assim, os coeficientes negativos significam o volume por hectare decresce dos coeficientes a cada aumento de uma unidade para (nd) e (e).

Conforme constatado anteriormente o maior retorno produtivo vai sempre estar a atender o número mínimo de desbastes e o espaçamento mínimo. Assim mostrando-se não eficaz para o seguinte trabalho conforme já relatado.

O principal fator é que os coeficientes da função objetivo são negativos, ou seja, a cada variação de uma unidade das variáveis predictoras, vai culminar em um retorno sempre tendendo a um retorno produtivo inferior. Já que sempre será uma multiplicação de coeficientes negativos.

7 CONCLUSÃO

Partindo-se dos modelos e coeficientes ajustados pelo grupo, possibilitou-se a construção da planilha eletrônica para simulações, permitindo de modo prático verificar o retorno volumétrico ao longo das diferentes idades, para as diferentes áreas ocupadas por planta (6, 7, 8, 9 e 12).

O resultado não foi como o esperado e justifica-se que, os dados são de povoamentos desbastados, refletindo uma realidade que a cada aumento do número de uma unidade para as variáveis em questão, sempre haverá redução do retorno produtivo. O que não era esperando que fosse tão evidente como demonstrado, sempre o mínimo de desbastes e espaçamento mínimo vai ter o maior retorno.

O uso da programação linear é sim uma ferramenta robusta na solução de problemas complexos de minimização e maximização, porém, no respectivo trabalho tivemos um insucesso na estrutura do sistema, sendo assim já sabíamos anteriormente sem nem rodar o solver.

Concluindo que a realização do trabalho em questão foi operacionalizada, e apresentada aqui, porém, nem sempre o resultado é positivo como se hipotetizou.

ANEXO I

Ressalta-se que os dados são provenientes de povoamentos desbastados.

Anexo 1: Resultados do retorno produtivo volumétrico (m³) nos diferentes desbastes.

Onde: i= idade em meses; proj 1= índice de sítio 15 e proj 2=índice de sítio de 15; e= área em m² por planta (espaçamento); is= índice de sítio; nd= número de desbastes; d= ocorrência de desbaste; mdap = média de diâmetro; narv= número de árvores desbastadas; ab= área basal e vtc= volume total (m³/ha); vcc = volume comercial total (m³/ha); hdom= altura dominante.

I	proj	e	is	nd	d	mdap	narv	ab	vtc	vcc	hdom
240	1	6	15	0	CF	26.16	1666	90.2288	480.44	287.36	15.00
120	1	6	15	1	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74
240	1	6	15	1	CF	24.59	833	39.9000	215.11	110.57	13.21
120	1	6	15	2	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74
180	1	6	15	2	2°	22.89	417	17.2981	84.17	34.47	13.21
240	1	6	15	2	CF	23.13	417	17.6690	96.45	40.91	13.21
120	1	6	15	3	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74
160	1	6	15	3	2°	22.15	417	16.2018	75.38	27.21	12.49
200	1	6	15	3	3°	22.23	209	8.1680	41.78	15.29	13.87
240	1	6	15	3	CF	21.74	208	7.7910	43.07	14.32	15.00
120	1	6	15	4	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74
150	1	6	15	4	2°	21.73	417	15.6054	70.81	23.61	12.09
180	1	6	15	4	3°	21.70	209	7.7829	38.28	12.65	13.21
210	1	6	15	4	4°	21.20	104	3.7068	19.53	5.80	14.17
240	1	6	15	4	CF	20.44	104	3.4440	19.27	4.73	15.00
120	1	6	15	5	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74
144	1	6	15	5	2°	21.47	417	15.2278	68.00	21.46	11.84
168	1	6	15	5	3°	21.34	209	7.5293	36.07	11.06	12.79
192	1	6	15	5	4°	20.83	104	3.5795	18.24	4.97	13.61
216	1	6	15	5	5°	20.09	52	1.6654	8.97	2.01	14.35
240	1	6	15	5	CF	19.21	52	1.5192	8.60	1.43	15.00
120	1	6	15	6	1°	21.02	833	29.2066	120.19	34.36	10.74
140	1	6	15	6	2°	21.28	417	14.9673	66.09	20.04	11.67
160	1	6	15	6	3°	21.08	209	7.3497	34.55	10.00	12.49
180	1	6	15	6	4°	20.56	104	3.4856	17.33	4.40	13.21
200	1	6	15	6	5°	19.84	52	1.6239	8.50	1.77	13.87
220	1	6	15	6	6°	18.99	26	0.7428	4.08	0.63	14.46
240	1	6	15	6	CF	18.06	26	0.6736	3.87	0.42	15.00
240	1	7	15	0	CF	25.80	1429	75.3095	402.09	233.25	15.00
120	1	7	15	1	1°	20.85	715	24.6396	101.57	27.85	10.74
240	1	7	15	1	CF	24.26	714	33.2782	179.91	88.94	15.00
120	1	7	15	2	1°	20.85	715	24.6396	101.57	27.85	10.74
180	1	7	15	2	2°	22.62	357	14.4787	70.62	27.67	13.21
240	1	7	15	2	CF	22.81	357	14.7161	80.56	32.52	15.00

I	proj	e	is	nd	d	mdap	narv	ab	vtc	vcc	hdom
120	1	7	15	3	1°	20.85	715	24.6396	101.57	27.85	10.74
160	1	7	15	3	2°	21.91	357	13.5866	63.36	21.85	12.49
200	1	7	15	3	3°	21.95	179	6.8185	34.97	12.14	13.87
240	1	7	15	3	CF	21.45	179	6.5290	36.19	11.34	15.00
120	1	7	15	4	1°	20.85	715	24.6396	101.57	27.85	10.74
150	1	7	15	4	2°	21.51	357	13.0995	59.57	18.96	12.09
180	1	7	15	4	3°	21.44	179	6.5056	32.08	10.04	13.21
210	1	7	15	4	4°	20.93	90	3.1109	16.44	4.59	14.17
240	1	7	15	4	CF	20.15	89	2.8677	16.10	3.66	15.00
120	1	7	15	5	1°	20.85	715	24.6396	101.57	27.85	10.74
144	1	7	15	5	2°	21.25	357	12.7913	57.23	17.23	11.84
168	1	7	15	5	3°	21.09	179	6.2999	30.25	8.78	12.79
192	1	7	15	5	4°	20.58	90	3.0055	15.35	3.92	13.61
216	1	7	15	5	5°	19.83	45	1.3882	7.50	1.55	14.35
240	1	7	15	5	CF	18.97	45	1.2828	7.28	1.12	15.00
120	1	7	15	6	1°	20.85	715	24.6396	101.57	27.85	10.74
140	1	7	15	6	2°	21.07	357	12.5789	55.65	16.10	11.67
160	1	7	15	6	3°	20.85	179	6.1543	28.99	7.94	12.49
180	1	7	15	6	4°	20.32	90	2.9317	14.61	3.49	13.21
200	1	7	15	6	5°	19.59	45	1.3549	7.11	1.37	13.87
220	1	7	15	6	6°	18.75	23	0.6276	3.45	0.49	14.46
240	1	7	15	6	CF	17.80	22	0.5482	3.14	0.27	15.00
240	1	8	15	0	CF	25.50	1250	64.3362	344.33	194.27	15.00
120	1	8	15	1	1°	20.70	625	21.2435	87.70	23.17	10.74
240	1	8	15	1	CF	23.97	625	28.4472	154.15	73.54	15.00
120	1	8	15	2	1°	20.70	625	21.2435	87.70	23.17	10.74
180	1	8	15	2	2°	22.39	313	12.4164	60.69	22.85	13.21
240	1	8	15	2	CF	22.54	313	12.5978	69.11	26.65	15.00
120	1	8	15	3	1°	20.70	625	21.2435	87.70	23.17	10.74
160	1	8	15	3	2°	21.70	313	11.6698	54.53	18.04	12.49
200	1	8	15	3	3°	21.72	157	5.8513	30.08	9.97	13.87
240	1	8	15	3	CF	21.19	156	5.5532	30.86	9.13	15.00
120	1	8	15	4	1°	20.70	625	21.2435	87.70	23.17	10.74
150	1	8	15	4	2°	21.31	313	11.2614	51.31	15.66	12.09
180	1	8	15	4	3°	21.22	157	5.5893	27.62	8.25	13.21
210	1	8	15	4	4°	20.69	78	2.6473	14.01	3.67	14.17
240	1	8	15	4	CF	19.92	78	2.4555	13.82	2.94	15.00
120	1	8	15	5	1°	20.70	625	21.2435	87.70	23.17	10.74
144	1	8	15	5	2°	21.07	313	11.0032	49.32	14.24	11.84
168	1	8	15	5	3°	20.89	157	5.4173	26.06	7.21	12.79
192	1	8	15	5	4°	20.35	78	2.5630	13.12	3.16	13.61
216	1	8	15	5	5°	19.61	39	1.1898	6.44	1.25	14.35
240	1	8	15	5	CF	18.73	39	1.0847	6.18	0.87	15.00

I	proj	e	is	nd	d	mdap	narv	ab	vte	vcc	hdom
120	1	8	15	6	1°	20.70	625	21.2435	87.70	23.17	10.74
140	1	8	15	6	2°	20.89	313	10.8251	47.98	13.30	11.67
160	1	8	15	6	3°	20.65	157	5.2918	24.97	6.49	12.49
180	1	8	15	6	4°	20.11	78	2.5018	12.50	2.81	13.21
200	1	8	15	6	5°	19.37	39	1.1621	6.11	1.10	13.87
220	1	8	15	6	6°	18.52	20	0.5310	2.93	0.38	14.46
240	1	8	15	6	CF	17.64	20	0.4907	2.82	0.23	15.00
240	1	9	15	0	CF	25.23	1111	56.0013	300.36	165.16	15.00
120	1	9	15	1	1°	20.56	556	18.6420	77.06	19.69	10.74
240	1	9	15	1	CF	23.73	556	24.7893	134.62	62.18	15.00
120	1	9	15	2	1°	20.56	556	18.6420	77.06	19.69	10.74
180	1	9	15	2	2°	22.19	278	10.8459	53.10	19.27	13.21
240	1	9	15	2	CF	21.03	278	10.9594	60.26	22.31	15.00
120	1	9	15	3	1°	20.56	556	18.6420	77.06	19.69	10.74
160	1	9	15	3	2°	21.52	278	10.2099	47.79	15.23	12.49
200	1	9	15	3	3°	21.51	139	5.0975	26.25	8.33	13.87
240	1	9	15	3	CF	20.97	139	4.8403	26.93	7.53	15.00
120	1	9	15	4	1°	20.56	556	18.6420	77.06	19.69	10.74
150	1	9	15	4	2°	21.15	278	9.8604	45.00	13.22	12.09
180	1	9	15	4	3°	21.03	139	4.8744	24.13	6.89	13.21
210	1	9	15	4	4°	20.49	70	2.3144	12.28	3.06	14.17
240	1	9	15	4	CF	19.70	69	2.1256	11.99	2.39	15.00
120	1	9	15	5	1°	20.56	556	18.6420	77.06	19.69	10.74
144	1	9	15	5	2°	20.91	278	9.6394	43.28	12.03	11.84
168	1	9	15	5	3°	20.71	139	4.7242	22.76	6.00	12.79
192	1	9	15	5	4°	20.17	70	2.2423	11.50	2.63	13.61
216	1	9	15	5	5°	19.40	35	1.0309	5.59	1.01	14.35
240	1	9	15	5	CF	18.55	35	0.9553	5.45	0.72	15.00
120	1	9	15	6	1°	20.56	556	18.6420	77.06	19.69	10.74
140	1	9	15	6	2°	20.74	278	9.4870	42.11	11.24	11.67
160	1	9	15	6	3°	20.48	139	4.6224	21.85	5.44	12.49
180	1	9	15	6	4°	19.93	70	2.1900	10.96	2.34	13.21
200	1	9	15	6	5°	19.18	35	1.0050	5.29	0.87	13.87
220	1	9	15	6	6°	18.35	18	0.4679	2.59	0.32	14.46
240	1	9	15	6	CF	17.39	17	0.4061	2.34	0.17	15.00
240	1	12	15	0	CF	24.59	833	39.9000	215.11	110.57	15.00
120	1	12	15	1	1°	20.24	417	13.5462	56.17	13.17	10.74
240	1	12	15	1	CF	23.13	417	17.6690	96.45	40.91	15.00
120	1	12	15	2	1°	20.24	417	13.5462	56.17	13.17	10.74
180	1	12	15	2	2°	21.70	209	7.7829	38.28	12.65	13.21
240	1	12	15	2	CF	21.74	208	7.7910	43.07	14.32	15.00
120	1	12	15	3	1°	20.24	417	13.5462	56.17	13.17	10.74
160	1	12	15	3	2°	21.08	209	7.3497	34.55	10.00	12.49

I	proj	e	is	nd	d	mdap	narv	ab	vte	vcc	hdom
200	1	12	15	3	3°	21.00	104	3.6375	18.83	5.34	13.87
240	1	12	15	3	CF	20.44	104	3.4440	19.27	4.73	15.00
120	1	12	15	4	1°	20.24	417	13.5462	56.17	13.17	10.74
150	1	12	15	4	2°	20.73	209	7.1121	32.58	8.69	12.09
180	1	12	15	4	3°	20.56	104	3.4856	17.33	4.40	13.21
210	1	12	15	4	4°	20.00	52	1.6502	8.80	1.92	14.17
240	1	12	15	4	CF	19.21	52	1.5192	8.60	1.43	15.00
120	1	12	15	5	1°	20.24	417	13.5462	56.17	13.17	10.74
144	1	12	15	5	2°	20.51	209	6.9586	31.35	7.88	11.84
168	1	12	15	5	3°	20.26	104	3.3884	16.40	3.86	12.79
192	1	12	15	5	4°	19.70	52	1.6019	8.26	1.65	13.61
216	1	12	15	5	5°	18.94	26	0.7393	4.03	0.61	14.35
240	1	12	15	5	CF	18.06	26	0.6736	3.87	0.42	15.00
120	1	12	15	6	1°	20.24	417	13.5462	56.17	13.17	10.74
140	1	12	15	6	2°	20.36	209	6.8562	30.54	7.38	11.67
160	1	12	15	6	3°	20.05	104	3.3193	15.76	3.50	12.49
180	1	12	15	6	4°	19.48	52	1.5670	7.88	1.47	13.21
200	1	12	15	6	5°	18.74	26	0.7243	3.83	0.55	13.87
220	1	12	15	6	6°	17.89	13	0.3305	1.84	0.19	14.46
240	1	12	15	6	CF	16.98	13	0.2967	1.72	0.11	15.00
240	2	6	20	0	CF	29.79	1666	116.7627913	797.9511637	593.7383	20
120	2	6	20	1	1°	25.05	833	41.37903453	233.772535	125.902	15.84
240	2	6	20	1	CF	28.01	833	51.63065085	357.2166045	242.8896	20
120	2	6	20	2	1°	25.05	833	41.37903453	233.772535	125.902	15.84
180	2	6	20	2	2°	26.52	416.5	23.16723601	148.670976	91.38879	18.31
240	2	6	20	2	CF	26.33	417	22.86060524	160.1213351	96.92876	20
120	2	6	20	3	1°	25.05	833	41.37903453	233.772535	125.902	15.84
160	2	6	20	3	2°	25.87	416.5	22.03723153	136.8083739	79.6184	17.6
200	2	6	20	3	3°	25.59	208.5	10.7997098	72.12394654	40.93931	18.93
240	2	6	20	3	CF	24.75	208	10.07617849	71.44554442	37.20347	20
120	2	6	20	4	1°	25.05	833	41.37903453	233.772535	125.902	15.84
150	2	6	20	4	2°	25.49	416.5	21.41010808	130.4508862	73.36626	17.21
180	2	6	20	4	3°	25.14	208.5	10.42394304	67.61748537	36.72727	18.31
210	2	6	20	4	4°	24.33	104	4.870351783	33.34181835	16.55019	19.22
240	2	6	20	4	CF	23.27	104	4.458762974	32.02084455	13.80012	20
120	2	6	20	5	1°	25.05	833	41.37903453	233.772535	125.902	15.84
144	2	6	20	5	2°	25.25	416.5	21.0099734	126.4787035	69.48399	16.96
168	2	6	20	5	3°	24.84	208.5	10.17390207	64.70885649	34.03856	17.89
192	2	6	20	5	4°	24.04	104	4.754841469	31.75668445	15.2063	18.69
216	2	6	20	5	5°	23.02	52	2.178968421	15.20348647	6.286349	19.39
240	2	6	20	5	CF	21.88	52	1.971594966	14.33661874	4.857258	20
120	2	6	20	6	1°	25.05	833	41.37903453	233.772535	125.902	15.84
140	2	6	20	6	2°	25.08	416.5	20.73237903	123.7611491	66.84025	16.79

I	proj	e	is	nd	d	mdap	narv	ab	vtc	vcc	hdom
160	2	6	20	6	3°	24.62	208.5	9.99117032	62.6368939	32.1322	17.6
180	2	6	20	6	4°	23.82	104	4.670529637	30.62632463	14.26079	18.31
200	2	6	20	6	5°	22.84	52	2.14502367	14.65273194	5.887465	4.29
220	2	6	20	6	6°	21.73	26	0.972656669	6.907300342	2.272029	1.94
240	2	6	20	6	CF	20.57	26	0.871299913	6.413696563	1.604547	0.87
240	2	7	20	0	CF	29.38	1429	97.47029742	667.9430924	488.1574	20
120	2	7	20	1	1°	24.85	714.5	34.9083665	197.5468808	104.0744	15.84
240	2	7	20	1	CF	27.62	714	43.06536436	298.7860154	198.479	20
120	2	7	20	2	1°	24.85	714.5	34.9083665	197.5468808	104.0744	15.84
180	2	7	20	2	2°	26.21	357	19.38828456	124.709948	74.73034	18.31
240	2	7	20	2	CF	25.97	357	19.04277447	133.7606445	78.56874	20
120	2	7	20	3	1°	24.85	714.5	34.9083665	197.5468808	104.0744	15.84
160	2	7	20	3	2°	25.58	357	18.47875828	114.9736806	65.20598	17.6
200	2	7	20	3	3°	25.27	178.5	9.014241943	60.3551252	33.2056	18.93
240	2	7	20	3	CF	24.43	179	8.446981548	60.06598243	30.14711	20
120	2	7	20	4	1°	24.85	714.5	34.9083665	197.5468808	104.0744	15.84
150	2	7	20	4	2°	25.23	357	17.97168962	109.7330948	60.12893	17.21
180	2	7	20	4	3°	24.84	178.5	8.712885273	56.65534075	29.81557	18.31
210	2	7	20	4	4°	24.03	89.5	4.087806335	28.05745572	13.41391	19.22
240	2	7	20	4	CF	22.95	89	3.707711875	26.68803246	10.91788	20
120	2	7	20	5	1°	24.85	714.5	34.9083665	197.5468808	104.0744	15.84
144	2	7	20	5	2°	25	357	17.64817667	106.4583878	56.9784	16.96
168	2	7	20	5	3°	24.55	178.5	8.509549581	54.23977125	27.6236	17.89
192	2	7	20	5	4°	23.75	89.5	3.995016728	26.74757493	12.33414	18.69
216	2	7	20	5	5°	22.72	44.5	1.817290858	12.71775045	5.014124	19.39
240	2	7	20	5	CF	21.6	45	1.655579475	12.04560058	3.793169	20
120	2	7	20	6	1°	24.85	714.5	34.9083665	197.5468808	104.0744	15.84
140	2	7	20	6	2°	24.84	357	17.42372062	104.2175703	54.8336	16.79
160	2	7	20	6	3°	24.43	178.5	8.367968905	52.58371745	26.14218	17.6
180	2	7	20	6	4°	23.63	89.5	3.927483694	25.81474538	11.57667	18.31
200	2	7	20	6	5°	22.55	44.5	1.790266908	12.26338576	4.697842	18.93
220	2	7	20	6	6°	21.47	22.5	0.818276524	5.816214262	1.784533	19.49
240	2	7	20	6	CF	20.27	22	0.715968373	5.287099357	1.220031	20
240	2	8	20	0	CF	29.03	1250	83.26383321	571.9544726	411.1481	20
120	2	8	20	1	1°	24.67	625	30.09669031	170.5662104	88.09667	15.84
240	2	8	20	1	CF	27.3	625	36.81918325	256.060565	166.5201	20
120	2	8	20	2	1°	24.67	625	30.09669031	170.5662104	88.09667	15.84
180	2	8	20	2	2°	25.94	312.5	16.62809315	107.1814461	62.78138	18.31
240	2	8	20	2	CF	25.67	313	16.31191489	114.8509781	65.66801	2
120	2	8	20	3	1°	24.67	625	30.09669031	170.5662104	88.09667	15.84
160	2	8	20	3	2°	25.34	312.5	15.8712955	98.94048044	54.8235	17.6
200	2	8	20	3	3°	25	156.5	7.735247118	51.90436157	27.77536	18.93
240	2	8	20	3	CF	24.13	156	7.185512988	51.22575665	24.80636	2

I	proj	e	is	nd	d	mdap	narv	ab	vtc	vcc	hdom
120	2	8	20	4	1°	24.67	625	30.09669031	170.5662104	88.09667	15.84
150	2	8	20	4	2°	25	312.5	15.44979087	94.50729151	50.58906	17.21
180	2	8	20	4	3°	24.59	156.5	7.482642285	48.74642003	24.92854	18.31
210	2	8	20	4	4°	23.75	78	3.481679965	23.95352427	11.0453	19.22
240	2	8	20	4	CF	22.69	78	3.176035107	22.92089539	8.985479	20
120	2	8	20	5	1°	24.67	625	30.09669031	170.5662104	88.09667	15.84
144	2	8	20	5	2°	24.78	312.5	15.18086681	91.7365628	47.96261	16.96
168	2	8	20	5	3°	24.31	156.5	7.318578389	46.74393771	23.15537	17.89
192	2	8	20	5	4°	23.49	78	3.406026137	22.85530525	10.16538	18.69
216	2	8	20	5	5°	22.47	39	1.557915445	10.92890087	4.128359	19.39
240	2	8	20	5	CF	21.33	39	1.401295293	10.22948908	3.050941	20
120	2	8	20	6	1°	24.67	625	30.09669031	170.5662104	88.09667	15.84
140	2	8	20	6	2°	24.63	312.5	14.99429931	89.84049217	46.1753	16.79
160	2	8	20	6	3°	24.12	156.5	7.200891071	45.3377766	21.92182	17.6
180	2	8	20	6	4°	23.3	78	3.351066567	22.07360843	9.549194	18.31
200	2	8	20	6	5°	22.3	39	1.535823638	10.5444376	3.870781	18.93
220	2	8	20	6	6°	21.2	19.5	0.692961818	4.9407023	1.435696	19.49
240	2	8	20	6	CF	20.1	20	0.640048943	4.734929809	1.041305	20
240	2	9	20	0	CF	28.73	1111	72.47513124	498.89231	353.1908	20
120	2	9	20	1	1°	24.51	555.5	26.41088298	149.870076	76.03117	15.84
240	2	9	20	1	CF	27.02	556	32.08260176	223.5873037	142.586	15.8
120	2	9	20	2	1°	24.51	555.5	26.41088298	149.870076	76.03117	15.84
180	2	9	20	2	2°	25.71	278	14.52844383	93.81959245	53.82132	18.31
240	2	9	20	2	CF	25.4	278	14.18694012	100.1024237	55.79818	20
120	2	9	20	3	1°	24.51	555.5	26.41088298	149.870076	76.03117	15.84
160	2	9	20	3	2°	25.13	278	13.88550826	86.70760829	47.03837	17.6
200	2	9	20	3	3°	24.75	139	6.734053562	45.26120685	23.57218	18.93
240	2	9	20	3	CF	23.88	139	6.273291824	44.81653303	21.02991	20
120	2	9	20	4	1°	24.51	555.5	26.41088298	149.870076	76.03117	15.84
150	2	9	20	4	2°	24.8	278	13.52753223	82.88158115	43.43261	17.21
180	2	9	20	4	3°	24.36	139	6.526755154	42.60157854	21.22956	18.31
210	2	9	20	4	4°	23.52	69.5	3.043011772	20.97678052	9.371542	19.22
240	2	9	20	4	CF	22.44	69	2.749937469	19.89224011	7.478827	20
120	2	9	20	5	1°	24.51	555.5	26.41088298	149.870076	76.03117	15.84
144	2	9	20	5	2°	24.59	278	13.29917304	80.49015844	41.1973	16.96
168	2	9	20	5	3°	24.1	139	6.387948361	40.87384506	19.72727	17.89
192	2	9	20	5	4°	23.27	69.5	2.979397782	20.030084	8.632341	18.69
216	2	9	20	5	5°	22.23	34.5	1.350011503	9.49115856	3.438849	19.39
240	2	9	20	5	CF	21.12	35	1.234770103	9.035059649	2.579014	20
120	2	9	20	6	1°	24.51	555.5	26.41088298	149.870076	76.03117	15.84
140	2	9	20	6	2°	24.53	278	13.13783893	78.82790295	39.64799	16.79
160	2	9	20	6	3°	23.91	139	6.288669194	39.66297382	18.68539	17.6
180	2	9	20	6	4°	23.09	69.5	2.929089336	19.31639415	8.070725	18.31

I	proj	e	is	nd	d	mdap	narv	ab	vtc	vcc	hdom
200	2	9	20	6	5°	22.08	34.5	1.331795958	9.162725225	3.227287	18.93
220	2	9	20	6	6°	21.01	17.5	0.610909126	4.365262558	1.214314	19.49
240	2	9	20	6	CF	19.81	17	0.524326479	3.875970589	0.745589	20
240	2	12	20	0	CF	28.01	833	51.63065085	357.2166045	242.8896	20
120	2	12	20	1	1°	24.13	416.5	19.19355425	109.2541727	52.94114	15.84
240	2	12	20	1	CF	26.33	417	22.86060524	160.1213351	96.92876	20
120	2	12	20	2	1°	24.13	416.5	19.19355425	109.2541727	52.94114	15.84
180	2	12	20	2	2°	25.14	208.5	10.42394304	67.61748537	36.72727	18.31
240	2	12	20	2	CF	24.75	208	10.07617849	71.44554442	37.20347	20
120	2	12	20	3	1°	24.13	416.5	19.19355425	109.2541727	52.94114	15.84
160	2	12	20	3	2°	24.62	208.5	9.99117032	62.6368939	32.1322	17.6
200	2	12	20	3	3°	24.17	104	4.807706229	32.47683183	15.8144	18.93
240	2	12	20	3	CF	23.27	104	4.458762974	32.02084455	13.80012	20
120	2	12	20	4	1°	24.13	416.5	19.19355425	109.2541727	52.94114	15.84
150	2	12	20	4	2°	24.32	208.5	9.755328954	60.0013088	29.74442	17.21
180	2	12	20	4	3°	23.82	104	4.670529637	30.62632463	14.26079	18.31
210	2	12	20	4	4°	22.95	52	2.166606006	15.00167101	6.139484	19.22
240	2	12	20	4	CF	21.88	52	1.971594966	14.33661874	4.857258	20
120	2	12	20	5	1°	24.13	416.5	19.19355425	109.2541727	52.94114	15.84
144	2	12	20	5	2°	24.13	208.5	9.604150521	58.34648929	28.25823	16.96
168	2	12	20	5	3°	23.59	104	4.57951925	29.43088371	13.27391	17.89
192	2	12	20	5	4°	22.74	52	2.126821456	14.36166242	5.679214	18.69
216	2	12	20	5	5°	21.7	26	0.969902737	6.852687541	2.239815	19.39
240	2	12	20	5	CF	20.57	26	0.871299913	6.413696563	1.604547	20
120	2	12	20	6	1°	24.13	416.5	19.19355425	109.2541727	52.94114	15.84
140	2	12	20	6	2°	24	208.5	9.499108867	57.21209222	27.24613	16.79
160	2	12	20	6	3°	23.42	104	4.514662129	28.59451445	12.59214	17.6
180	2	12	20	6	4°	22.58	52	2.097828251	13.90383482	5.355574	18.31
200	2	12	20	6	5°	21.57	26	0.958431816	6.625413291	2.107882	18.93
220	2	12	20	6	6°	20.48	13	0.431764528	3.102699052	0.757774	19.49
240	2	12	20	6	CF	19.34	13	0.383569523	2.853269157	0.478605	20

ANEXO II

A	B
1	Produção e crescimento
2	Variáveis ao nível do povoamento
3	Idade (I1) = 1 m
4	Índice de sítio = 15
5	Nº Fustes (N1) = 1667
6	Hdom (H1) = $=38.86134*(\$B\$4/38.86134)^{((240/\$B\$3)^{0.43434})}$
7	G/ha na I1 = $=EXP(-7.03727+90.567569/\$B\$3+0.89672*LN(\$B\$6)+1.246394*LN(\$B\$5)-16.583098*LN(\$B\$5)/\$B\$3)$
8	G1 obser. =
9	Idade (I2) = 240 m
10	Nº Fustes (N2) = 1667
11	Hdom (H2) = $=38.86134*(\$B\$4/38.86134)^{((240/\$B\$9)^{0.43434})}$
12	G/ha na I2 = $=EXP((\$B\$3/\$B\$9)*LN(SE(ENÚM(\$B\$8),\$B\$8,\$B\$7))-7.03727*(1-(\$B\$3/\$B\$9))+0.89672*(LN(\$B\$11)-(\$B\$3/\$B\$9)*LN(\$B\$6))+1.246394*(LN(\$B\$10)-(\$B\$3/\$B\$9)*LN(\$B\$5))-16.583098*(LN(\$B\$10)-LN(\$B\$5))/\$B\$9)$
13	

Q	Idade (I1) MDAP	D0
$=RAIZ(SE(ENÚM(\$B\$8),\$B\$8,\$B\$7)/(\$B\$5*(3.14159/40000))$	$=\$D\$5+EXP(-1.05167-0.5505*LN(\$B\$6)-22.49028/\$B\$3)$	$=EXP(0.395262+0.976679*LN(\$D\$5)-0.226003*LN(\$B\$5))$

Q	Idade (I2) MDAP	D0
$=RAIZ(\$B\$12/(\$B\$10*(3.14159/40000)))$	$=\$D\$11+EXP(-1.05167-0.5505*LN(\$B\$11)-22.49028/\$B\$9)$	$=EXP(0.395262+0.976679*LN(\$D\$11)-0.226003*LN(\$B\$10))$

N =	$=SE(\$E\$18=1; \$B\$5; \$B\$10)$
G =	$=SE(\$E\$18=1; SE(ENÚM(\$B\$8), \$B\$8, \$B\$7); \$B\$12)$
H =	$=SE(\$E\$18=1; \$B\$6; \$B\$11)$
Dg =	$=SE(\$E\$18=1; \$D\$5; \$D\$11)$

dap	arv/ha	ab	h	vtcc	vccc
=E11	=B10	=B12	$=SE(ENÚM(\$H6); \$E\$16*6.189*(1-0.9901*EXP(-0.1446*\$H6/SE\$17)); " ")$	$=\$I6*EXP(-10.216752+1.805116*LN(\$H6)+1.115863*LN(\$K6)+2.399366/\$K6)$	$=\$L6*EXP(-1.0225*(\$M\$3^4.6249)/(\$H6^4.4425))$

REFERÊNCIAS

- ABRAF - Associação Brasileira de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF 2010**. Brasília, ano base 2009. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3887>>"<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3887>>. Acesso em: 1 setembro 2015.
- ABRAF - Associação Brasileira de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013**. Brasília, Ano base 2012. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3887>>"<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3887>>. Acesso em: 10 setembro 2015.
- AMARAL, Luísa Gurjão de Carvalho. **Modelagem do afilamento de fuste com casca, sem casca, cerne e medula de *Tectona grandis* L.F. (teca) na otimização de multiprodutos**. 2014. 31f. Monografia. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.
- ANGELI, A. ***Tectona grandis* (Teca)**. Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP, São Paulo. 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/tectona.grandis.asp>>, Acesso em: 06 out 2015.
- ARCE, Julio Eduardo. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte**. 2000. 123f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. UFPR, Curitiba, 2000.
- ASSIS, Elenice; CASTRO, Eliney. **Princípios do Manejo Florestal**. 2013. Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. Tefé - AM, 24p., 2013
- BACHA, Carlos José Caetano. O Uso de Recursos Florestais e as Políticas Econômicas Brasileiras - Uma Visão Histórica e Parcial de um Processo de Desenvolvimento. **EST. ECON.**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 393-426, abril-junho 2004.
- BARBOSA, Rafaell Hemenson Souza. **Análise técnica e econômica em um plantio de Eucalipto submetido a regime de desbaste**. 2014, 26f. Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro-ES, 2014.
- BARBOSA, Rafaell Hemenson Souza; FIEDLER, Nilton Cesar; MENDONÇA, Adriano Ribeiro de; CHICHORRO, José Franklim; GONÇALVES, Saulo Boldrini; ALVES, Estevão Giacomini; KUBOYAMA, Felipe Akira Querino. Análise técnica e econômica do desbaste em um povoamento de eucalipto na região sul do espírito santo. **Nativa**, v. 3, n. 2, p. 125-130, 2015.
- BERGER, Ricardo; TIMOFEICZYK JR, Romano; CARNIERI, Celso; LACOWICZ, Pedro Giovanni; Junior, José Sawinski; BRASIL, Alexandre Anders Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Floresta**, v. 33, n. 1, p. 53-62, 2003.
- BRAZ, Evaldo Muñoz. Planejamento da exploração em florestas naturais. 2005. **Embrapa: Documentos 118**. Colombo - PR, p.1-32, 2005.
- Cáceres Florestal. Teca Você Sabia. 2015. Disponível em: <<http://www.caceresflorestal.com.br/vocesabia.html>>, Acesso em: 09 setembro 2015.

CALDEIRA, Sidney Fernando; OLIVEIRA, Daniel Leandro Costa. Desbaste seletivo em povoamentos de *Tectona grandis* com diferentes idades. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p.223-228, 2008.

COSTA, Kamila Lemos. **Crescimento de *Tectona grandis* (Teca) em sistema silvicultural de talhadia composta em Minas Gerais**. 2011.70f. Dissertação de Mestrado (Dissertação) – Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2011.

COSTA, Reginaldo Brito da; RESENDE, Marcos Deon Vilela de; SILVA, Versides Sebastião de Moraes de. Experimentação e seleção no melhoramento genético de TECA (*Tectona grandis* Lf). **Floresta e Ambiente**, v. 14, p. 76-92, 2007.

CURTIS, F.H. 1962. Linear programming in the management of a forest property. **Journal of Forestry** 60(9):611-616.

DRESCHER, Ronaldo. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do estado de Mato Grosso – Brasil**. 2004. 144 f. Tese de Doutorado. (Doutor em Engenharia Florestal – Manejo Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2004.

DYKSTRA, D.P., 1984. **Mathematical programming for natural resource management**. McGraw Hill Book Co. New York. 318 p.

EMBRAPA. **Curso de Manejo Florestal: Tópicos em Manejo Florestal Sustentável**. Colombo: Embrapa CNPF, 1997. 253p. (Documentos 34)

FIGUEIREDO, Evandro Orfanó; OLIVEIRA, Antônio Donizette de; SCOLFORO, José Roberto Soares. Análise econômica de povoamento não desbastados de *Tectona grandis* L. f., na migroregião do Baixo Rio Acre. **Cernea**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 342-353, out./dez. 2005.

FIGUEIREDO, Evandro Orfanó; Oliveira, Luís Cláudio de; Barbosa, Luiz Kleber Ferreira. **Teca (*Tectona grandis* L. f.): principais perguntas do futuro empreendedor florestal**. Rio Branco: Embrapa Acre. 2005. 89p. (Embrapa Acre. Documentos 97).

FINGER, Zenézio; FINGER, Felipe Augusto.; DRESCHER, Ronaldo. Teca (*Tectona grandis* L. f.): plante esta idéia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 1., 2001, Santa Maria-RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2001. CD-Rom.

FLÓREZ, Jeimy Blanco. **Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. 85 f. Dissertação de mestrado. Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FLORESTECA S/A. **Resumo público – Plano de manejo Florestal 2017**. Disponível em: <http://floresteca.com.br/_arquivos/pdf/Resumo%20P%C3%BAblico%20Plano%20de%20Manejo_Floresteca%20Brasil%20Ltda_2017_VF.pdf> , Acesso em: 25 de Agosto de 2017.

FONSECA, W. **Manual de produtores de teca em Costa Rica**. San José: Instituto Técnico de Costa Rica, 2004.121 p.

GARCIA, Marcos Leandro. **Intensidade de desbaste em um povoamento de *Tectona grandis* L. f., no município de Sinop- MT**. 2006. 44f. Dissertação (Mestre em Agricultura

Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2006.

GEOGRAFOS. Cidades Mato Grosso. Disponível em: <<http://www.geografos.com.br/cidades-mato-grosso/jangada.php>>, Acesso em 01 novembro 2015.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e programação linear – Modelos e algoritmo**. 2ºed. Rio de Janeiro : Elsevier, 2005.

GOLTZ, Victor. **Viabilidade econômica para implantação de cultivo de eucalipto para fins energéticos na Seara Indústria e Comercio de Produtos Agropecuários Ltda**. 2013. 38f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Pelotas, 2013.

GONÇALVES, Ana Cristina; DIAS, Susana Saraiva; FERREIRA, Alfredo Gonçalves. Definição de modelos de silvicultura à escala dos planos de ordenamento florestal. **Silva Lusitana**, v. 16, n. ESPECIAL, p. 97-110, 2008.

GONÇALVES, Juliana Carneiro; GOMIDE, Lucas Rezende; ANDRADE; Bruna Carolina Lage de; PÁSCOA, Kalill José Viana da; SILVA; Paulo Henrique da; ISAAC JÚNIOR, Marcos Antônio. Otimização da determinação de padrões de corte no manejo florestal. In: XLV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2013, Natal. **Anais... NATAL/RN**, 2013 p. 664-675.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dados Gerais. 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=510250&search=||info%Edpio>>, Acesso em: 19 de setembro de 2015.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Ciência e tecnologia no setor florestal brasileiro: diagnóstico, prioridades e modelo de financiamento**. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/deaer/download/VIVIEN/Texto01/pesqsetorflor.pdf>> Acesso em: 06 setembro 2015.

JBRJ. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.jbrj.gov.br/jardim/plantas?page=7>>. Acesso em: 04 setembro 2015.

JOHNSTON, D. R.; GRAYSON, A. J.; BRADLEY, R. T. **Planeamento Florestal**. Lisboa: Fundação Caloust e Gulbenkian, 1977. 798p.

JUVENAL, Thais Linhares; MATTOS, René Luiz Grion. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES setorial, Rio de Janeiro**, n. 16, 2002, p.1-28, 2002.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 4.ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.

LADRACH, William. **Manejo de plantaciones de la teca para productos sólidos**. (2009). Disponível em: <http://www.istf-bethesda.org/specialreports/teca_teak/teca.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.

LEUSCHNER, W.A., 1984. Introduction to forest resource management. John Wiley & Sons, Inc. USA. 298 p.

- MOURA, André Lara de Miranda. **Planejamento anual otimizado de atividades silviculturais com restrição de recursos e múltiplos modos de execução**. 2013. 115f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2013.
- MACEDO, R. L. G; VENTURIM, J. N. GOMES, B. G. S. E.; Desenvolvimento em diferentes espaçamento de Teca. **Remade**, Edição nº106, Jul 2007. Disponível em: <http://remade.net.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1121&subject=E%20mais&title=Desenvolvimento%20em%20diferentes%20espa%20amentos>. Acesso em Mar.de 2017.
- NOGUEIRA, Gilciano Saraiva; LEITE, Hélio Garcia; CAMPOS, João Carlos Chagas; SOUZA, Agostinho Lopes; COUTO, Laércio. Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 51-59, 2001.
- OLIVEIRA, Edilson Batista de. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 68p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216).
- Org. Climate Date**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/>>, Acesso em: 03 de Maio de 2017.
- PANDEY, Devendra; BROWN, Chris. Teak: a global overview. **Unasyuva**, n. 201, V. 51, p. 1-15, 2000.
- PELLISSARI, Allan Libanio; GUIMARÃES, Pompeu Paes; BEHLING, Alexandre; EBLING, Ângelo Augusto. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**, v. 1, n.1, p. 127–145, 2014.
- RIBEIRO, Natasha; SITOIE, Almeida A; GUEDES, Benard S.; STAISS, Cristian. **Manual de Silvicultura Tropical**. Publicação produzida com apoio da FAO (Projeto GCP/Moz/O56/Net. Universidade Eduardo Mondiane. Maputo (Portugal), 130 p, 2002.
- SANQUETTA, Carlos Roberto. Manejo. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 68, dez. 2002. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/TECA>>. Acesso em: 30 setembro. 2015.
- SANQUETTA, Carlos Roberto; CORTE, Ana Paula Dalla; RODRIGUES, Aurélio Lourenço; WATZLAWICK. **Inventários Florestais: Planejamento e execução**. 3ed – Revista e Ampliada. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2014.
- SANTOS, André Luís dos. **Uso da Programação Linear na Identificação de Estratégias ótimas de Regulação Florestal considerando mix de consumo**. 2012. 88f. Dissertação. Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2012.
- SANTOS, Lorenzo Lube dos. **Caracterização tecnológica da madeira juvenil de tectona grandis L. f. Visando a produção de móveis**. 2010. 26f. Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro-ES, 2010.
- SCHNEIDER, Paulo Renato. **Manejo Florestal: planejamento da produção florestal**. Santa Maria: UFSM. 439p. 2004.
- SCHNEIDER, Paulo Renato; G. FINGER, César Augusto G. Determinação de regimes de desbaste para povoamentos de Pinus elliottii E. do planalto ocidental no estado de Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.4, n.1, p. 43-59, 1994.

SCOLFORO, José Roberto Soares. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 438p.

SHIMIZU, Jarbas Yukio; Klein, Haroldo; OLIVEIRA, José Roberto Victor. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**. Mato Grosso, 2007.

SIF - Sistema Nacional de Informações Florestais. **Recursos florestais: as florestas plantadas**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>> Acesso em: 08 de setembro de 2015.

SIF. Serviço Florestal Brasileiro. **Manejo Florestal**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/pngf/manejo-florestal/apresentacao>>. Acesso em: 13 setembro 2015.

SILVA, Aguinaldo; SOUZA FILHO, Edvard Elias de; CUNHA, Sandra Baptista da. Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT). **Rev. bras. Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 1, 2008.

SILVA, Gilson Fernandes da; LEITE, Helio Garcia; DA SILVA, Márcio Lopes; RODRIGUES, Flávio Lopes; DO NASCIMENTO SANTOS, Heleno. 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.

SIMÕES, Danilo. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas/Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2008.

Sítio Vitoria Regia. Eucaliptos. 2015. Disponível em: <<http://www.sitiovitoriaregia.com.br/Eucalipto.html>> Acesso em: 01 de setembro de 2015.

SIXEL, Ricardo Michael de Melo. IPEF. Silvicultura e Manejo. 2008. Disponível em: <<http://www.ipef.br/silvicultura/manejo.asp>>. Acesso em: 29 setembro 2015.

SOARES, Thelma Shirlen; DO VALE, Antonio Bartolomeu; LEITE, Helio Garcia; MACHADO, Carlos Cardoso. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.6, p 811-820, 2003.

SOUZA, Diego de; REHFELDT, Márcia Jussara Hepp. Alocação de Veículos de Transporte: em um Estudo de Caso numa empresa de alimentos do Vale Do Taquari. **Revista Destaques Acadêmicos CGO/UNIVATES**, v. 3, n. 1, p. 41- 49, 2011.

SOUZA, Vinicius C.; LORENZI, Harri. **Botânica sistemática guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II**. 2.ed. Nova Odessa : Instituto Plantarum. 704 p., 2008

TONINI, Helio; COSTA, Mirian Cristina Gomes; SCWENGBER, Luiz Augusto Mello. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo - PR, n. 59, p. 05-14, 2010.

Topografic-Map. Disponível em < <http://pt-br.topographic-map.com/places/PARÁ;MATOGROSSO-7107053/>>, Acesso em 25 de Julho de 2017.

TREVISAN, Henrique; TIEPPO, Felipe Marauê Marques; Carvalho; Acacio Geraldo de; LELIS, Roberto Carlos Costa. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p 93-101, 2007.

TSUKAMOTO FILHO, Antonio de Arruda; SILVA, Marcio Lopes da; COUTO, Laércio; DIAS, Marcelo Müller. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 27, n.4, p. 487-494, 2003.

VEIT, L. f. Dinheiro não cresce em árvores. **Revista Silvicultura**. n. 83, p. 38-39, 2000.

ZUCCHI, Jeferson. Análise de dados do setor de florestas plantadas no Estado de Mato Grosso. 2013.