

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA – FT**  
**NÚCLEO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – NUPEP**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – PPGE**

**GERSON DO NASCIMENTO SILVA**

**OTIMIZAÇÃO DE MODELOS LINEARES DINÂMICOS COMO  
INSTRUMENTO DE MELHORIA NOS PROCESSOS DE GESTÃO DO CENTRO  
DE SEMENTES NATIVAS DO AMAZONAS: CASE.**

**MANAUS**

**2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA – FT**  
**NÚCLEO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – NUPEP**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – PPGE**

**GERSON DO NASCIMENTO SILVA**

**OTIMIZAÇÃO DE MODELOS LINEARES DINÂMICOS COMO  
INSTRUMENTO DE MELHORIA NOS PROCESSOS DE GESTÃO DO CENTRO  
DE SEMENTES NATIVAS DO AMAZONAS: CASE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração: Gestão de Produção.

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Lucena Oliveira (UEA / PPGE – UFAM).**

**Coorientador: Prof. Dr. Manuel Lima de Jesus (UFAM – FCA).**

**Coorientador: Prof<sup>a</sup>. Msc. Geise de Goes Canalez (UFAM – FCA).**

**MANAUS**

**2016**

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586o Silva, Gerson do Nascimento  
Otimização de modelos lineares dinâmicos como instrumento de melhoria nos processos de gestão do Centro de Sementes Nativas do Amazonas: CASE. / Gerson do Nascimento Silva. 2016  
88 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Fabiana Lucena Oliveira  
Coorientador: Manuel Lima de Jesus  
Coorientador: Geise de Goes Canalez  
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Simulação. 2. Otimização. 3. GAMS. 4. Agroeconômico. I.  
Oliveira, Fabiana Lucena II. Universidade Federal do Amazonas III.  
Título

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus pela força e por ter permitido o desenvolvimento de meu conhecimento, este que estará sempre ao meu lado.

À minha família, em especial a minha esposa que deu todo suporte, mantendo e administrando nosso lar e educação de nossos filhos nesse período de estudos.

Aos professores e orientadores Dra. Fabiana Lucena Oliveira, por me aceitar em orientação desta pesquisa e principalmente adicionar conhecimento, apoiar, motivar e ter paciência nos momentos difíceis do desenvolvimento desta pesquisa; ao Dr. Manuel Lima, coorientador deste trabalho e coordenador do Centro de Sementes Nativas do Amazonas – CSNAM e também a doutoranda Geise de Goes Canalez, da Faculdade de Ciências Agrárias – FCA/UFAM, por todo apoio e atenção dispensados.

Ao professor e coordenador do programa de mestrado em Engenharia de Produção da UFAM – PPGEP, na época em que se iniciou esta pesquisa, Dr. Waltair de Oliveira Machado, pelo apoio e lisura durante todo o período de estudo desde o processo seletivo.

A todos os colegas de estudo do programa, pelo auxílio, incentivo e principalmente na ajuda nos momentos difíceis de entendimento das aulas e na execução da dissertação.

A todos do CSNAM – UFAM, pelo apoio e confiança no desenvolvimento de meus estudos, autorizando acesso a informação sensível, como também integração à pesquisa.

À UFAM e, em especial, ao Centro de Tecnologia da Informação e Comunicação – CTIC pelo incentivo e apoio em todas as fases de desenvolvimento da pesquisa, de suma importância para sua concretização.

A todos os professores do programa, pois por meio da dedicação e transmissão de conhecimentos de vocês pude crescer profissionalmente e enriquecer meus conhecimentos.

A todos profissionais que colaboraram com esta pesquisa e que incentivaram e forneceram seu tempo e informações que contribuíram para o sucesso deste trabalho.

O conhecimento e a informação são os recursos estratégicos para o desenvolvimento de qualquer país. Os portadores desses recursos são as pessoas.

(Peter Drucker)

## RESUMO

Esta pesquisa abordou a atividade agroeconômica de coleta de sementes nativas da Amazônia que possui alto grau de complexidade, resultando em acréscimo da quantidade de variáveis físicas a manipular e controlar no processo de estabelecimento do problema, bem como declaração de hipóteses para o modelo e busca de solução do problema, controle, aferimento e validação da solução. Por se tratar de um sistema agroeconômico, tal atividade de coleta de sementes nativas demanda o estabelecimento de modelos quantitativos robustos. Neste contexto, a modelagem matemático computacional surge como ferramenta que trata da simulação e otimização de soluções para problemas desta natureza, analisando os fenômenos, desenvolvendo modelos quantitativos para sua descrição e elaborando códigos computacionais para obtenção de otimizações. Já que a atividade econômica de coleta de sementes nativas da Amazônia auferiu benefícios desta modelagem, vê-se que sistemas agroeconômicos exigem respostas exponencialmente mais complexas com relação às demandas por outros modelos de negócio e, baseado nesta necessidade, foi desenvolvido um modelo de simulação e otimização que teve como principal característica a incorporação das não-linearidades dos processos inerentes à atividade agroeconômica em questão. A sua função utilidade visa maximizar, a nível de fenologia (safra), o atendimento às demandas de coleta segundo critérios de prioridade estabelecidos pelo tomador de decisão. As limitações operacionais da atividade de coleta de sementes foram incluídas no modelo através de restrições lineares (recurso orçamentário e custos de coleta) e não-lineares (saber amazônico, dificuldade de coleta, dificuldade de processamento e outros) utilizando-se o software de modelagem e simulação *GAMS*. As restrições lineares e não-lineares foram representadas e resolvidas por meio de programação linear com uso da linguagem de modelagem e programação *GAMS*. A partir dos resultados obtidos, foi possível assegurar que o CSNAM recebeu do modelo de simulação, uma contribuição respeitável para sua melhor gestão, a partir das indicações numéricas do simulador. Proporcionando clareza e credibilidade nas apreciações efetuadas e, desta forma, contemplando o mais perfeito entrosamento das variáveis intrínsecas ao problema estudado, aperfeiçoando ainda, os resultados das análises de gestão do CSNAM, onde se identificou que o tempo de processamento utilizado pelo modelo quantitativo-computacional atende às necessidades de processamento e foi relativamente baixo.

Palavras-chave: Simulação, Otimização, *GAMS*, Agroeconômico.

## ABSTRACT

The purpose of this study is to discuss the agricultural economic activity collection of native Amazonian seeds that has a high degree of complexity, resulting in increase in the amount of physical variables to manipulate and control the problem of establishing the procedure and statement of assumptions for the model and search for a solution of the problem, control, calibration and validation of the solution. For it is a agroeconomic system such collection activity of native seed demand the establishment of robust quantitative models. In this context, the computational mathematical modeling tool that is appears as the simulation and optimization solutions to such problems, analyzing phenomena, developing quantitative models for description and developing computer code for obtaining optimizations. Since economic activity gathering Amazonian native seeds receives benefits of this modeling, we see that Agroeconomic systems require exponentially more complex responses with respect to those demanded by other business models and, based on this need, a simulation model was developed and optimization that has as main feature the incorporation of non-linearities of the processes inherent in agricultural economic activity in question. Their utility function is designed to maximize the level of phenology (harvest), compliance with the collection demands based on priority criteria established by the decision maker. Operational limitations of seed collection activity were included in the model using linear constraints (budget resource and collection costs) and nonlinear (namely Amazon, difficult collection, difficulty of processing and others) using the modeling software GAMS and simulation. Linear and non-linear constraints were represented and solved by linear programming using GAMS modeling and programming language. The results reported by the simulator show that all constraints were met, respecting their impacts. The processing time used by the quantitative-computer model to meet the optimization requirements was relatively low.

Keywords: Simulation, Optimization, GAMS, Agroeconomic.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Aplicativo móvel (voltado para dispositivos móveis)
ABC	<i>Activity-Based Costing</i>
ACS	Área de coleta de sementes
AM	Abundância de matrizes
AL	Custo e despesas com alimentação
AT	Área total disponível para a atividade de coleta de sementes
BE	Custo e despesas com benfeitorias
CA	Capacidade de armazenagem
CB	Custo e despesas com combustível
CML	<i>Conversational Modeling Language</i>
CPLEX	Pacote computacional de otimização da IBM
CSNAM	Centro de Sementes Nativas da Amazonia
CT	Custo de coleta
CTIC	Centro de Tecnologia da Informação e Comunicação
DA	Gastos com despesas administrativas
DOE	<i>Design of Experiments</i>
DC	Dificuldade de coleta
DP	Dificuldade de processamento
FCA	Faculdade de Ciências Agrárias
FT	Faculdade de Tecnologia
FN	Fenologia relativa a safra (período)
GAMS	<i>General Algebraic Modeling System</i>
GP	<i>Goal Programming</i> (programação por metas)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAMP	<i>Language for Interactive General Optimization</i>
LINGO	<i>Language for Interactive General Optimization</i>
LMs	Linguagens de modelagem
LPM	<i>System for Constructing Linear Programming System</i>
MIP	Modelo de Programação Inteira
MO	Custo e despesas com mão-de-obra
MK	Gastos com marketing e propaganda



MQ	Custo e despesas com máquinas e equipamentos
NUPEP	Núcleo de Pesquisa em Engenharia de Produção
PA	Custo e despesas com plantio artificial das mudas
PO	Pesquisa Operacional
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PL	Programação Linear
PPGEP	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
PS	Custo e despesas com pessoal
PT	Palatável (comestível)
QS	Quantidade de sementes por quilograma
RO	Recurso orçamentário
SA	Saber amazônico
SO	Custo e despesas com saúde ocupacional
SOBRAPO	Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional
TM	Custo e despesas com tração humana
TR	Custo da área de terra demarcada para coleta
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
VPL	Valor presente líquido

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do processo da modelagem matemática .....	26
Figura 2 – Esquema do processo de percepção e modelagem quantitativa.....	28
Figura 3 – Modelo quantitativo de programação linear .....	32
Figura 4 – Modelo quantitativo de programação linear .....	32
Figura 5 – Esquematização das fases de um estudo aplicando PO .....	34
Figura 6 – Metodologia de simulação .....	35
Figura 7 – Estrutura geral da linguagem GAMS.....	38
Figura 8 – Ambiente geográfico onde ocorreu coleta dos dados .....	45
Figura 9 – Modelo típico das fases da pesquisa operacional.....	47
Figura 10 – Semente nativa do Amazonas – Espécie não catalogada até presente data (2016)....	49
Figura 11 – Semente nativa do Amazonas - Babaçu.....	50
Figura 12 – Semente nativa do Amazonas – Centro de Distribuição .....	51
Figura 13 – Semente nativa do Amazonas - Andiroba.....	52
Figura 14 – Semente nativa do Amazonas – Espécie não catalogada até presente data (2016)....	53
Figura 15 – Semente nativa do Amazonas - Jatobá.....	54

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Comportamento da restrição Saber Amazônico (SA). .....	69
<b>Gráfico 2</b> – Comportamento da restrição Dificuldade de Coleta (DC). .....	69
<b>Gráfico 3</b> – Comportamento da restrição Quantidade de Sementes por quilograma (QS). .....	70
<b>Gráfico 4</b> – Comportamento da restrição Dificuldade de Processamento (DP). .....	70
<b>Gráfico 5</b> – Comportamento da restrição Palatabilidade [ser comestível] (PT). .....	70
<b>Gráfico 6</b> – Comportamento da restrição Abundância de matrizes [árvores produtoras](AM). ..	70
<b>Gráfico 7</b> – Comportamento da restrição Capacidade de Armazenagem (CA). .....	70
<b>Gráfico 8</b> – Comportamento da restrição Fenologia (FN). .....	70
<b>Gráfico 9</b> – Área total disponível para a atividade coleta de sementes – ha/ano (A.T.). .....	71
<b>Gráfico 10</b> – Custo da área de terra demarcada para coleta – R\$/ano (T.R.). .....	71
<b>Gráfico 11</b> – Custo e despesas com benfeitorias – R\$/ano (B.E.). .....	71
<b>Gráfico 12</b> – Custo e despesas com máquinas e equipamentos – R\$/ano (M.Q.). .....	71
<b>Gráfico 13</b> – Custo e despesas com combustível – R\$/ano (C.B.). .....	71
<b>Gráfico 14</b> – Custo e despesas com pessoal – R\$/ano (P.S.). .....	71
<b>Gráfico 15</b> – Custo e despesas com alimentação – R\$/ano (A.L.). .....	72
<b>Gráfico 16</b> – Custo e despesas com saúde ocupacional – R\$/ano (S.O.). .....	72
<b>Gráfico 17</b> – Custo e despesas com plantio artificial das mudas – R\$/ano (P.A.). .....	72
<b>Gráfico 18</b> – Custo e despesas com tração humana – R\$/ano (T.M.). .....	72
<b>Gráfico 19</b> – Gastos com despesas administrativas – R\$/ano (D.A.). .....	72
<b>Gráfico 20</b> – Gastos com marketing e propaganda – R\$/ano (M.K.). .....	72
<b>Gráfico 21</b> – Custo e despesas com mão-de-obra – R\$/ano (M.O.). .....	73
<b>Gráfico 22</b> – Recurso orçamentário disponível – R\$/ano (R.O.). .....	73
<b>Gráfico 23</b> – Impacto percentual das variáveis na atividade de coleta de sementes. ....	74
<b>Gráfico 24</b> – Impacto percentual das restrições na atividade de coleta de sementes. ....	75
<b>Gráfico 25</b> – Comportamento da todas as variáveis e restrições na atividade de coleta de sementes. ....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhamento do software de simulação computacional e/ou versão utilizada. ....	48
Tabela 2 – Descrição da estrutura de custos aplicáveis a atividade de coleta de sementes nativas com seus custos fixos e/ou variáveis. ....	59
Tabela 3 – Restrições por espécie vegetal que agrupam os cinquenta espécimes vegetais estudados. ....	64
Tabela 4 – Implementação computacional em GAMS do algoritmo que realiza a otimização do modelo linear dinâmico da atividade coleta de sementes nativas do CSNAM. ....	67
Tabela 5 – Restrições por espécie vegetal que aglutinam os 50 espécimes vegetais estudados e impactam no conjunto de variáveis que compõe a atividade de coleta de sementes nativas. ....	69
Tabela 6 – Comportamento da estrutura dos custos de coleta sobre as restrições por espécie vegetal que compõe a atividade de coleta de sementes nativas. ....	71
Tabela 7 – Complexidade do modelo computacional por variável e por restrição da espécie. ....	73

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	DO CONTEXTO AO PROBLEMA.....	15
<b>1.1.1</b>	<b>O problema e sua demarcação .....</b>	<b>16</b>
1.1.1.1	Definição .....	16
<b>1.1.2</b>	<b>Hipóteses .....</b>	<b>17</b>
1.1.2.1	Definição .....	17
1.2	OBJETIVOS .....	18
1.3	JUSTIFICATIVA .....	18
1.4	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	19
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1	CUSTOS E MÉTODOS DE CUSTEIO .....	22
<b>2.1.1</b>	<b>Métodos de custeio .....</b>	<b>23</b>
2.1.1.1	Definição .....	23
2.2	MODELAGEM MATEMÁTICA .....	25
2.3	PESQUISA OPERACIONAL: ORIGENS E DEFINIÇÕES .....	27
2.4	PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	30
2.5	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	34
2.6	LINGUAGEM GENERAL ALGEBRAIC MODELING SYSTEM (GAMS) .....	37
<b>2.6.1</b>	<b>Vantagens e Desvantagens do uso de GAMS .....</b>	<b>38</b>
2.7	SEMENTES NATIVAS DO AMAZONAS .....	39
<b>2.7.1</b>	<b>Produção de Sementes Nativas do Amazonas.....</b>	<b>40</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Seleção das Árvores Matrizes.....</b>	<b>41</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Coleta de Sementes Nativas: Qual época é a safra? .....</b>	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	43
<b>3.1.1</b>	<b>História.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Geografia.....</b>	<b>44</b>
3.1.2.1	Hidrografia .....	44
<b>3.1.3</b>	<b>Economia.....</b>	<b>45</b>

3.1.3.1	Produção de leite de búfala.....	45
3.1.3.2	Agropecuária .....	45
3.2	HISTÓRICO DO CSNAM .....	46
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	46
3.4	COLETA E ANÁLISE DE DADOS .....	47
3.5	CONCEITUALIZAÇÃO: DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	54
3.6	MODELAGEM: CONSTRUÇÃO DO MODELO DO PROBLEMA.....	55
3.7	EXPERIMENTO: SOLUÇÃO DO MODELO .....	56
3.8	VALIDAÇÃO DO INSTRUMENTO .....	56
3.9	AJUSTES: DOCUMENTAÇÃO E TESTE .....	56
3.10	SAFRA E ENTRESSAFRA .....	57
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	58
4.2	EXECUÇÃO DAS ETAPAS.....	58
4.3	MODELO CONCEITUAL QUANTITATIVO.....	59
<b>4.3.1</b>	<b>Modelagem Conceitual: Simulação para Otimização dos Custos de Coleta .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Desenvolvimento do Simulador: Implementação em Java.....</b>	<b>65</b>
4.3.2.1	Primeira fase: Edição.....	65
4.3.2.2	Segunda fase: Compilação .....	65
4.3.2.3	Terceira fase: Carga.....	66
4.3.2.4	Quarta fase: Verificação .....	66
4.3.2.5	Quinta fase: Execução .....	66
<b>4.3.3</b>	<b>Modelo Computacional em GAMS.....</b>	<b>67</b>
4.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	69
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>77</b>
5.1	CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA.....	79
5.2	PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS .....	80
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>82</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 DO CONTEXTO AO PROBLEMA

As organizações, dentro de suas atribuições administrativas, precisam obter e coordenar informações sobre estimativas de vendas, capacidade financeira, estoques, prazos de entrega e custos do processo fabril. Estas informações são subsídios fundamentais para a elaboração de um planejamento da produção que possa explorar as potencialidades disponíveis no mercado.

A otimização dos custos dos diversos produtos se constitui num dos principais aspectos estratégicos para uma organização. Apropriações inadequadas podem prejudicar sensivelmente o comportamento das vendas de seus produtos e até reduzir sua participação relativa dentro do mercado.

A crescente competitividade, os reflexos da abertura de mercado para os produtos estrangeiros e a necessidade de otimizar resultados demandam procedimentos de otimização de custos que tornem os preços dos diversos produtos mais competitivos e que explorem as tendências do mercado consumidor.

As empresas revendedoras, na busca de seus objetivos, devem se preocupar, obrigatoriamente, com as diversas restrições, tanto a nível interno como externo, sendo a mais importante, dentre as existentes, a política de formação da cesta de produtos e/ou *mix* de produção, a fim de programar a produção de seus produtos e atender com eficiência o mercado consumidor. Permanecendo nesse contexto, utilizando-se dos vocábulos de Vaccaro, Rodrigues e Menezes (2006, p. 284), o conceito de *mix* de produção pode ser compreendido como:

[...]Em um problema de definição do *mix* de produção há uma necessidade de se determinar quais os produtos e suas respectivas quantidades que deverão ser manufaturados com o objetivo de se maximizar o ganho total, considerando que estes produtos podem ou não utilizar diversos recursos produtivos e que não há recursos produtivos suficientes para elaborar todos os produtos.

Para que a empresa consiga atingir esse ponto ótimo ela tem que desenvolver seu próprio mecanismo de formação de custos, despesas, preços e remuneração do seu

investimento; enfim, obter um modelo ideal que vai desde a programação da produção até a colocação do produto no mercado. Para que a empresa possa cumprir sua missão, ela depende dos resultados obtidos, assim, a otimização dos resultados disponíveis constitui um fator de extrema importância, principalmente se considerarmos o alto grau de competitividade como exigência do mercado atual.

### **1.1.1 O problema e sua demarcação**

#### **1.1.1.1 Definição**

Para que seja possível dar sequência à discussão que ora se evidencia, faz-se necessário entender o que assevera Gil (2006, p. 49-50):

[...] na significação científica, problema é qualquer questão não resolvida e que é objeto de discussão, em qualquer domínio do conhecimento [...] pode-se dizer que um problema é testável cientificamente quando envolve variáveis que podem ser observadas ou manipuladas.

De que modo um software de simulação que otimize a dotação orçamentária com vistas a possibilitar a melhor tomada de decisão do Centro de Sementes Nativas do Amazonas (CSNAM)?



## 1.1.2 Hipóteses

### 1.1.2.1 Definição

No CSNAM, percebe-se que algumas características no comportamento institucional são notórias e irão refletir na precificação, impactando diretamente no valor presente líquido (VPL), a saber:

- a) O modelo matemático que dá suporte a precificação das sementes nativas é válido por uma unidade de tempo – dia, semana, mês ou ano, visto não existir variação de custos e preços na unidade de tempo considerando a safra (coleta) das sementes nativas;
- b) Os preços são constantes tanto no lado da demanda como da oferta, visto que a variação de preço exigiria um modelo não linear, baseando-se no clima, ciclo hidrológico e topografia da região de coleta;
- c) Os custos de operação (coleta) reagem de maneira linear, alguns estritamente variáveis, outros fixos e, ainda, outros terem variação mista.

Ao interferir no planejamento e controle de produção (PCP) inserindo técnicas de simulação e otimização de modelos lineares dinâmicos para produção em escala contínua, a empresa em questão conseguirá encontrar a melhor precificação mesmo em períodos de entressafra; pois ao se aplicar custos lineares para o CSNAM percebe-se que como o preço varia no tempo, sempre é possível maximizar os objetivos, podendo segmentar o tempo quando o preço for fixo, daí maximizar a precificação para cada segmento ou agrupamento de sementes nativas em categorias torna-se possível.

Como hipótese, percebe-se que se o preço variar em relação à quantidade ofertada é possível criar restrições correspondente a essa variação e encontrar o ponto ótimo para cada nível de preço ofertado.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo propor um modelo de programação linear (PL), assistido pela linguagem computacional de modelagem algébrica GAMS, e que dê suporte à tomada de decisão, fornecendo dados precisos e detalhados das etapas fundamentais que englobam todos os fatores intervenientes do processo de produção da empresa em estudo – CSNAM, maximizando seu lucro.

Como objetivos específicos, deseja-se:

- a) verificar *mix* de produção atual da empresa em estudo – CSNAM;
- b) formular o modelo quantitativo, associado à ferramenta computacional, que otimize seu *mix* de produção, possibilitando otimização dos recursos orçamentários disponíveis, juntamente com os custos de coleta;
- c) comparar e apresentar os benefícios entre a proposta originária da modelagem computacional e o *mix* de produção atual.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A importância deste trabalho se justifica pela ausência de controle informatizado voltado à gestão orçamentária no CSNAM; como também por revelar qual ou quais grandes agrupamentos de sementes melhor compõe sua cesta de produtos; isto é, qual o melhor arranjo e/ou *mix* de produção e, para tal, far-se-á uso de modelos lineares baseados em métodos quantitativos que, na atualidade, tem-se tornado uma necessidade, decorrente do acelerado desenvolvimento tecnológico, razão porque os gestores têm de adotar o uso de ferramentas quantitativas que lhes permitam prestar um serviço de melhor qualidade às Organizações e à Sociedade.

Os gestores, tomadores de decisão, encontram-se inseridos num contexto, muitas vezes subjetivo, pois diversas circunstâncias externas podem influenciar as atividades da empresa. Para tanto, precisam apoiar-se em instrumentos mais adequados de forma a

administrar esses fatores restritivos de tomada de decisão, controlar as operações e testar comportamentos, por isso, os gestores poderão valer-se da PL como um processo matemático, que serve de suporte à escolha da melhor conjuntura, auxiliando-os para que tenham menor margem de erro admissível.

A utilização da PL possibilita a escolha de entre diferentes alternativas que elevem ao máximo os resultados (lucro) ou para tornar mínimo os custos.

Nesse contexto, o tipo de relevância deste trabalho para a Engenharia de Produção é justificado pela importância da aplicação da Pesquisa Operacional (PO) como alicerce de diversas áreas do saber, sendo que no escopo específico deste trabalho será utilizado uma subárea da PO conhecida como PL; pois tem como finalidade ajudar os gestores no processo de tomada de decisão, sobre quais custos reduzir, quais rotas implantar ou incrementar, qual *mix* de produção implementar, entre outros. Para tal, um modelo de otimização linear é proposto para auxiliar nas decisões do planejamento tático da produção, de forma a minimizar custos de produção, atendendo às restrições de programação de produção, capacidade das plantas instaladas e demanda dos clientes.

Outra justificativa é que a Pesquisa Operacional colabora fortemente na obtenção de uma metodologia coesa e consistente de subsídio à tomada de decisão a ser adotado por qualquer gestor, pois em nosso Brasil vários modelos matemáticos foram implementados especificamente para sistemas de produção de ruminantes em pastagens (MEDEIROS, 2003), caprinos leiteiros (GUIMARÃES, 2007) e bovinos leiteiros (GAMEIRO, 2010). Entretanto, um número extremamente reduzido de trabalhos foi publicado na área de modelagem e simulação de sistemas de produção de sementes nativas da Amazônia, ficando evidenciado a importância desta pesquisa para nosso Estado.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este projeto de pesquisa limita-se a estudar os custos de coleta de sementes de espécies arbóreas nativas da Amazônia, como também a otimização dos recursos orçamentários empregados na atividade de coleta de sementes nativas e sua respectiva estrutura de custos. A abrangência desta pesquisa dá-se desde o início da atividade de coleta, isto é, da saída do mateiro para a floresta, juntamente com uma equipe do CSNAM, até o momento de seu retorno

com as sementes amazônicas. Para tal finalidade, usar-se-á um software de modelagem algébrica, simulação e otimização para elevar ao máximo a composição do *mix* de sementes nativas ofertado, com enfoque em encontrar melhor administração do recurso orçamentário; auxiliando assim, o tomador de decisão.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido em quatro capítulos, além das referências bibliográficas e anexos, conforme apresentados a seguir:

**Capítulo 1** – Introdução, que expõe o contexto da pesquisa operacional e programação linear, objetivo, justificativa e metodologia do tema em questão, assim como evidencia um breve aspecto sobre o que será abordado no trabalho.

**Capítulo 2** – Referencial Teórico, que versa sobre múltiplos parâmetros da pesquisa operacional e programação linear, da simulação computacional e dos aspectos envolvidos na programação matemática assistida por *General Algebraic Modeling System (GAMS)* e apresenta a utilização da otimização linear contínua para tornar ótimo o mix de produção do CSNAM, objeto desta pesquisa. Faz-se ainda abordagem as Sementes Nativas do Amazonas; bem como sua produção e colheita. Define-se o conceito de pesquisa operacional e programação linear utilizados na programação matemática.

**Capítulo 3** – Simulação Aplicada à Tomada de Decisão, com a modelagem quantitativa e a programação linear escrita em linguagem *GAMS*, contextualiza a análise da sustentabilidade econômica da atividade de coleta de sementes nativas da Amazônia, por meio simulação computacional assistida pelo software *GAMS*; aplicando-se a metodologia de otimização linear contínua envolvidos neste processo e sua viabilidade.

**Capítulo 4** – Resultados estão demonstrados os resultados das pesquisas de campo e análises dos resultados como também foi realizada a análise dos resultados da pesquisa com a ótica da programação linear, no contexto de verificar a viabilidade de utilização do modelo proposto pelo software *GAMS* aplicado ao CSNAM.

**Capítulo 5** – Conclusões e recomendações, nesta etapa são apresentadas as conclusões finais, contribuições da pesquisa, os percalços e dificuldades encontradas no decorrer deste estudo, além de recomendações para trabalhos futuros.

Finalmente são apresentadas as referências utilizadas no desenvolvimento da pesquisa, como também os respectivos anexos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo contém o referencial teórico do estudo e está desmembrado em três partes. Sobressaindo-se na primeira os conceitos sobre pesquisa operacional e as apreciações relacionadas à programação linear, um dos principais objetivos deste trabalho. A segunda parte é relacionada às sementes nativas da Amazônia e sua coleta, ressaltando sua importância para a economia brasileira e o mercado de sementes selvagens mundial. A terceira parte refere-se simulação computacional e à programação matemática com *GAMS*, concentrando-se especificamente na otimização linear, seus conceitos e importância, abordando, assim, como integrá-la aos processos do CSNAM, desde a logística da coleta, passando pelo beneficiamento até a revenda.

Este formato de delimitação do referencial teórico dispõe-se atender as necessidades de prover o estudo com uma estrutura ampla e sólida de conhecimentos e métodos já existentes e assim atingir a obtenção dos objetivos especificados.

### 2.1 CUSTOS E MÉTODOS DE CUSTEIO

Em todas as empresas da atualidade têm-se dedicado muito empenho com o firme propósito da redução de custo e que, na maioria das vezes, dá-se na forma de otimização dos recursos dispostos, visto que são limitados. Trabalhar otimizando os custos requer elevado cuidado pois, caso seja efetuado de forma imprudente, existe grande possibilidade de se originar projetos de viabilidade econômica inexatos e se criar uma atmosfera propensa a decisões equivocadas, podendo até comprometer a liquidez da empresa.

De tal maneira Martins (2010) como Bruni e Famá (2010) apresentam os custos na contabilidade como sendo os dispêndios concernentes a um bem, produto e/ou serviço empregado para compor demais produtos e/ou serviços e que as aplicações de capital concebem dispêndios acionados em função de vida útil ou de aditamentos facultados a futuras ocasiões.

Nas organizações percebe-se o emprego dos custos diretos, que são aqueles apropriados diretamente e que naturalmente são agregáveis aos produtos manufaturados por uma empresa, sendo necessário apenas haver uma medida de dispêndio. Entretanto, também

existem os custos indiretos que, tendo um alcance muito mais universal, possuem maior complexidade de se agregar a um produto particular, são vinculados aos produtos valendo-se de determinado critério de rateio, projeção, estimativa e/ou cálculo, como por exemplo a desvalorização dos maquinários (MARTINS, 2010).

Localiza-se, do mesmo modo, nos custos diretos a oscilação entre custos fixos, variáveis e mistos. Para custos fixos não há mudança nos valores quando se modifica a intensidade de produção na companhia, podendo alterar-se no decorrer do tempo. Os custos variáveis consistem em custos nos quais as estimações estão sujeitas ao montante de produção da corporação e tais custos crescem conforme se alarga a produção. Determinados afazeres contêm custos em parte fixos e em parte variáveis, porquanto a componente de custo fixo faz referência aos custos mandatórios para usar o recurso, no mesmo momento em que a parte variável está acoplada a fatores como o tempo e/ou calibre da atividade, denotados de custos mistos (MARTEL, VIEIRA, 2010).

Para uma assertiva tomada de decisão, necessita-se considerar os custos de oportunidade que é um conceito habitual em economia para sugerir o custo de qualquer objeto/produto em termos de uma conveniência abdicada, isto é, o custo, até mesmo social, ocasionado pelo desinteresse ao ente econômico, bem como os proveitos que haveriam de ser obtidos a partir de tal oportunidade desistida ou, além disso, um alto rendimento gerado em função de alguma aplicação alternativa.

## **2.1.1 Métodos de custeio**

### **2.1.1.1 Definição**

Martins (2010) destaca que com o desenvolvimento das manufaturas no fim do século XVIII, os contadores acharam obstáculo em perceber os custos dos estoques e de concretizar os balanços das corporações, exclusivamente com a contabilidade geral e financeira, em consequência da maior complexidade do processo produtivo, surgindo assim necessidade da contabilidade de custos, proporcionando a organizações prestadoras de serviço um melhor mecanismo de auxílio à tomada de decisão baseadas nos seus custos.

O sistema e método de custo adotado na organização podem resultar em estruturas e resultados diferentes, sendo de suma importância adotar o que melhor se adapte à realidade da atividade realizada. Com isto temos já em prática métodos contábeis para organizações em geral e também que melhor se enquadram em suas atividades, como:

Custeio por Absorção - também chamado de custeio integral é o método que consiste na apropriação de todos os custos (diretos e indiretos, fixos e variáveis) da utilização de recursos da produção aos bens, implicando na utilização de uma base de rateio para o repasse dos custos aos produtos, ou seja, todos os gastos relativos ao esforço de fabricação são distribuídos para todos os produtos feitos (MARTEL, VIERIA, 2010).

Custeio Variável ou Direto – neste método só é alocado aos produtos os custos variáveis, ficando os fixos separados e considerados como despesa do período, indo diretamente para o resultado e para o estoque vão somente os custos variáveis (MARTINS, 2010).

O custeio direto ou variável não é aceito para a utilização de balanços e resultados, não o impedindo de ser utilizado internamente na empresa, pois do ponto de vista gerencial é o que melhor mostra as variações, por tratar os custos fixos como despesa, deixando os custos variáveis mais visíveis para os gestores, sendo bastante útil no apoio a decisão de curto prazo (BRUNI, FAMÁ, 2010; MARTINS, 2010).

O custeio variável apresenta algumas desvantagens: a grande dificuldade na prática da separação entre custos fixos e variáveis; limitação do custeio deve-se a erros na classificação e mudanças dos custos variáveis, principalmente na prestação de serviços. Como também a exclusão dos custos fixos indiretos para valoração dos estoques causa a subavaliação e altera o resultado do período.

Custeio por Atividade (ABC) – consiste no procedimento para determinar os custos na organização com base em uma metodologia própria, baseada no rateio de custos por atividades: o método *Activity-Based Costing (ABC)*, este método mede o valor e desempenho das atividades e dos objetos de custo. Atribui valores às atividades baseando-se na utilização de recursos por parte delas (MARTEL, VIEIRA, 2010).

Segundo Martins (2010), o custeio baseado em atividades é um método de custeio que procura reduzir sensivelmente as distorções provocadas pelo rateio arbitrário dos custos indiretos, como os observados nas metodologias apresentadas anteriormente.

O método ABC desenvolve o rateio de custos por atividades e de grande capacidade de medir o valor e desempenho destas atividades e dos objetos de custos. Um objeto de custo consiste em uma razão para se realizar uma atividade (MARTEL, VIEIRA, 2010).



Para Padoveze (2011) as atividades são as causadoras dos custos nas organizações, sendo necessário identificar as principais tarefas de cada atividade executada, pois quanto maior a necessidade do desenvolvimento das atividades, maior os custos.

Para a aplicação do método deve-se desenvolver o direcionador de custos, que consiste no fator determinante para o custo de uma atividade. Como as atividades exigem recursos para serem realizadas, deduz-se que o direcionador é a verdadeira causa dos seus custos. Para o custeio de produtos, o direcionador deve ser o fator que determina ou influência a maneira como os produtos utilizam as atividades. Assim, o direcionador de custos será a base utilizada para atribuir os custos das atividades aos produtos ou serviços (MARTINS, 2010).

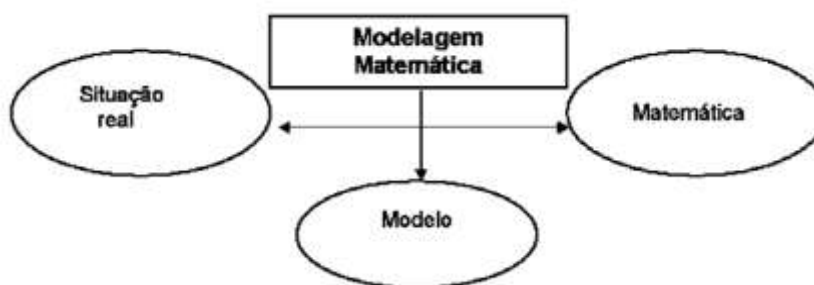
Segundo Padoveze (2011), a definição do direcionador de custo de uma atividade compreende em identificar a principal função da tarefa ou trabalho, que possa claramente ser identificada e quantitativamente mensurada e monitorada, ou seja, a quantidade desenvolvida pela atividade deve ser medida e acumulada dentro de critérios contábeis.

## 2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

O termo Modelagem não é uma singularidade, é igualmente tão ancestral como à própria Matemática e seu manuseio decorre desde os tempos iniciais, pelos povos em circunstâncias do seu dia-a-dia. Sua definição brotou no período do Renascimento, para assistir na edificação dos pensamentos que embasam a Física (BIEMBENGUT; HEIN, 2003). Presentemente, é uma metodologia da matemática aplicada, empregado em ampla multiplicidade de problemas econômicos, biológicos, geográficos, de engenharia e de outros (CHAVES, 2005).

Modelagem matemática é a metodologia de transmutar um problema da realidade em um problema matemático, solucioná-lo e adaptar as suas soluções na elocução do mundo real, isto é, assistir na resolução de problemas autênticos. (BASSANEZI, 2002). A Figura 1 ilustra o processo de modelagem.

Figura 1 – Esquema do processo da modelagem matemática



Fonte: Biembengut; Hein, 2003.

De tal modo, um modelo matemático é um conjugado de insígnias e analogias matemáticas que idealiza, com determinada configuração, a situação estudada. A seriedade de um modelo matemático incide em se possuir uma linguagem concisa que propague as ideias de forma transparente, além de harmonizar resultados e os teoremas que necessitam da aplicação de métodos computacionais para conjecturar suas soluções numéricas. Os modelos matemáticos são imperfeitos, pois, suas decorrências são paralelos com a realidade, e do mesmo modo, não devem ser acatados como definitivos, ou seja, um excelente modelo é todo aquele que proporciona a formulação de novos modelos (BASSANEZI, 2002).

De acordo com Trivelato (2003), o modelo matemático é estabelecido conforme o caráter do fenômeno ou circunstâncias consideradas e rotuladas conforme o tipo de matemática empregada. Conforme classificação a seguir, os principais modelos matemáticos podem ser:

- a) Linear e não-linear: conforme suas equações fundamentais tiverem essas características.
- b) Estático: quando concebe a configuração de um objeto, exemplo, a forma geométrica de uma célula.
- c) Dinâmico: quando representa variações de etapas do fenômeno estudado, exemplo, desenvolvimento populacional de uma cultura de bactérias.
- d) Educacional: é fundamentado em um número baixo ou simples de hipóteses, geralmente, soluções analíticas. Este modelo comumente não simula a realidade com grau apropriado para se improvisar previsões, todavia, serve para adquirir conhecimento e municiar ideias para a construção de modelos mais apropriados à realidade analisada.
- e) Estocástico ou determinístico: segundo o uso ou não de fatores aleatórios nas equações. Modelos determinísticos são um conjunto de equações e inequações matemáticas, dispostas

de modo que, ao serem imputadas as condições iniciais do sistema sob diagnóstico, torne-se razoável obter as condições em um período almejado. Modelos estocásticos são todos que delineiam a dinâmica de um sistema em marcos probabilísticos. Diversos modelos empregam este procedimento, e quase todos os processos biológicos são estabelecidos com estes modelos quando se tem aspirações de aplicabilidade.

Há diversos outros modelos, como os modelos estatísticos, de regressão linear e múltipla, exponencial, entre outros.

A modelagem se mostra como admirável instrumento de decisão para proporcionar sistemas lógicos de produção, e muitas investigações são concretizadas com o escopo de compreender as analogias entre os distintos fatores de produção. Sem o manuseio dos modelos matemáticos, muitas das pesquisas só alcançam frutos expressivos a longo prazo e com amplo consumo de recursos (HANKS; RITCHIE, 1991. Muitos trabalhos que foram concebidos empregando modelagem matemática, no desígnio de estimar a laboriosidade das lavouras, procurando altas rentabilidades, baixos custos e tentando racionalizar as analogias entres os diversos fatores de produção e tendo em vista o máximo desempenho (BEAUCLAIR, 1991; BEAUCLAIR, 1994; MATIOLI, 1998; PENATTI, 1991; SCARPARI, 2002).

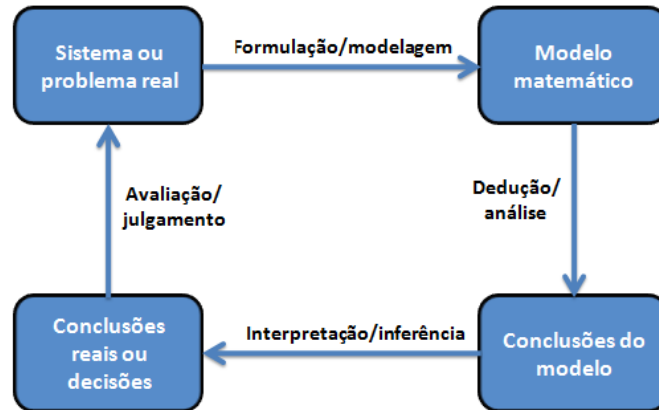
### 2.3 PESQUISA OPERACIONAL: ORIGENS E DEFINIÇÕES

A PO nasceu durante a Segunda Guerra Mundial, com o desígnio de resolver dificuldades pertinentes às operações estratégicas e táticas militares (CORRAR; GARCIA, 2001).

Em um grande número de empresas a administração ocorre de forma empírica, desprovida de teor científico, a PO é uma ciência que investiga por meio de procedimentos científicos e programação matemática, determinar as operações que ocorrem nas empresas, procurando otimizá-las.

Segundo Arenales et al (2007) “a pesquisa operacional, em particular a programação matemática tratam de problemas de decisão, faz uso de modelos matemáticos que procuram representar (em certo sentido imitar) o problema real”. A Figura 2 que segue ilustra como ocorre esse processo de entendimento e modelagem de uma realidade em estudo:

Figura 2 – Esquema do processo de percepção e modelagem quantitativa



Fonte: Adaptado de Arenales et al (2007).

Outra definição pode ser encontrada no endereço eletrônico da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO):

A Pesquisa Operacional é uma ciência aplicada, voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de outras áreas científicas para concepção, planejamento ou operação de sistemas para atingir seus objetivos. Através de desenvolvimentos de base quantitativa, a Pesquisa Operacional visa também introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão, sem descuidar, no entanto, dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas.

(<http://www.sobrapo.org.br/sitesobrapo.htm>. Acesso: 08-09-2015 06h:30m).

Qualquer profissional que adentre em uma companhia logo se encontra em circunstâncias onde carecerá de tomar determinada decisão. Conforme este profissional ascenda na empresa, as dificuldades e as deliberações irão se tornar cada vez mais complexas e exigir um alto grau de responsabilidade. Certamente, tomar decisões é uma empreitada fundamental de qualquer gestor, necessitando ser percebido que a ação de deliberar constitui fazer uma escolha dentre opções de recursos que possam ser aplicados à circunstância avaliada.

Não obstante de todo gestor ter sua maneira para avaliar e resolver problemas, consegue-se, quase sempre, constituir alguns passos que precisam ser ressaltados, sendo eles (CORRAR; GARCIA, 2001):

- a) Identificação do problema – pode-se tê-la como a etapa mais complexa, pois, é primordial compreender quais componentes inter-relacionam-se com a situação a ser ajustada. É essencial que se possua profissionais versados em diversas áreas do saber para que a situação possa ser enxergada adequadamente e isso seja incorporado na solução;
- b) Formular objetivo (s) – nesta fase da resolução devem ser identificados e matematicamente especificados quais são os objetivos a serem alcançados quando da solução do problema. Em determinados casos, tem-se múltiplos objetivos que podem ser qualitativos (exemplo: pesquisa de satisfação), quantitativos (redução de custo ou maximização dos lucros) ou ainda objetivos que possam ser conflitantes;
- c) Avaliar restrições – na continuação devemos enumerar as restrições que balizarão as soluções sugeridas. Usualmente, tais restrições referem-se à observação de tempo/prazo, dotação de capital, demandas, capacidades (transporte, produção e armazenamento), tecnologia (equipamentos e processos), inventários (matéria-prima, subconjuntos, produtos acabados), entre outros;
- d) Aferir escolhas – neste caso, o gestor, depois de verificar suas opções, precisará, empregando determinada metodologia, eleger a “solução ótima” para ser aplicada. Necessita-se verificar se a solução escolhida possui a relação custo-benefício desejada pela empresa. É durante o processo de ponderação das opções que o gestor pode valer-se de um enfoque qualitativo ou quantitativo:
  - Quando nos deparamos com problemas de pouco impacto e/ou repetitivos, podemos nos valer da abordagem qualitativa;
  - Nos casos em que tratamos de problemas complexos, envolvendo amplo volume de recursos humanos, materiais e/ou financeiros, causando elevado impacto no espaço onde se insere (empresa ou sociedade) devemos, sem sombra de dúvidas, fazer uso da abordagem quantitativa. Assim, aconselha-se o emprego do olhar científico e os métodos quantitativos, matemática discreta ou contínua, necessária a aquisição da solução.

Conforme SOBRAPO (2015) a Pesquisa Operacional pode ser descrita por meio de equações (funções utilidade) que possuem estrutura simples, na forma de  $U = F(\mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_j)$ , que pode ser especificada como:

- a)  $U$  – função utilidade ou valor de desempenho;
- b)  $X_i$  – variáveis que podem ser controladas;
- c)  $Y_j$  – variáveis que não podem ser controladas;

d) F – relacionamento entre U, Xi, Yj.

Podemos definir a PO como ciência voltada ao uso de técnicas e estruturas de modelagem para problemas de decisão, utilizando métodos quantitativos e estatística aplicada; procurando sempre a solução ótima (ANDRADE, 2002). Ainda de acordo com o mesmo autor, a modelagem quantitativa de quaisquer problemas em PO envolverá três etapas:

- a) Variáveis e parâmetros: A especificação das decisões a serem tomadas por meio de variáveis de decisão correspondem as incógnitas a serem definidas pela solução do modelo. Parâmetros são estimações fixas no problema modelado;
- b) Restrições: Elucidação das limitações que envolve as decisões, especificando as fronteiras físicas do sistema. O modelo tem a obrigação de incluir restrições para as variáveis de decisão a seus valores admissíveis;
- c) Função objetivo: É a função algébrica que determina a qualidade da solução, levando em conta as variáveis de decisão e parâmetros.

Na esfera da PO o caráter das situações encontradas é excepcionalmente amplo e complexo, demandando, conseqüentemente, um enfoque que consinta distinguir os múltiplos aspectos implicados. Uma peculiaridade admirável da PO e que promove o procedimento de diagnóstico e de decisão é a emprego de modelos. Modelos comportam a demonstração da solução concebida, significando que qualquer propositura que um modelo possa ressaltar pode ser discutida e apreciada diversas vezes para que sua implementação possa ser segura e com o mínimo de impactos para o processo avaliado (LISBOA, 2002).

## 2.4 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A PL é um dos muitos procedimentos utilizados pela Pesquisa Operacional, que consiste num método quantitativo utilizado no processo de tomada de decisão. Podemos verificar a conceituação clássica de PL, segundo a ótica de Horngren (1981, p. 357):

[...] é um método matemático poderoso para a solução de uma série de problemas empresariais com muitas variáveis em interação, que envolve,

basicamente, a utilização de recursos limitados de forma a aumentar os lucros ou a diminuir o custo.

Outra definição para PL, conforme Caixeta Filho (2001, p.10):

[...] aprimoramento de uma técnica de resolução de sistema de equações lineares via inversões sucessivas de matrizes, com a vantagem de incorporar uma equação linear adicional representativa de um dado comportamento que deva ser otimizado.

O uso deste instrumento deve ser considerado, portanto, por qualquer empresa que busque ampliar seus resultados através da gestão da produção. Por este motivo, comumente há múltiplos fatores que podem ser limitantes ou recursos insuficientes que intituam restrições ou entraves das opções existentes. De acordo com Hillier e Lieberman (2010), entende-se como uma metodologia matemática com a finalidade: “encontrar a melhor solução para problemas que tenham seus modelos representados por expressões lineares”.

O domínio da PL está reservado as dificuldades cuja representação característica constitua-se no formato de linha reta em um gráfico. Empregam-se operações aritméticas básicas, tais como: adição e subtração, como também funções pré-determinadas, como: soma, convergência e previsão (WINSTON, 2004).

Em programação linear, seus modelos quantitativos são associados a solucionar problemas voltados a alocações de recursos insuficientes ou raros, para lograr estipulada finalidade. Tais problemas podem ser sumarizados em: maximizar ou minimizar as variáveis dependentes, que são funções lineares de várias variáveis independentes, sujeitas a diversificadas restrições (CORRAR; GARCIA, 2001).

Conforme Taha (2008), a modelagem quantitativa dos problemas de otimização linear pode ser expressa, conforme Figura 3 abaixo:

Figura 3 – Modelo quantitativo de programação linear

<p>Max. ou Min.  <math>Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n</math> (1)</p> <p>Sujeito a:  <math>a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n &lt; b_1</math>  <math>a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n &lt; b_2</math> (2)  <math>\dots</math>  <math>a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n &lt; b_m</math></p> <p>Onde: <math>x_i \geq 0</math> e <math>b_j \geq 0</math>, para <math>i = 1, 2, \dots, n</math> e <math>j = 1, 2, \dots, m</math>.</p> <p>(1) é a função matemática que codifica o objetivo do problema e é denominada função-objetivo.  (2) são as funções matemáticas que codificam as principais restrições identificadas.</p>
--

Fonte: Adaptado de Taha (2008).

A linguagem característica empregada na Figura 1 pode ser compreendida através da subseqüente configuração:

- $Z$  – função objetivo que deve ser minimizada ou maximizada;
- $x_i$  – variáveis de decisão que figuram as quantidades e/ou haveres que se deseja otimizar;
- $c_i$  – coeficientes de rendimento ou dispêndio que as variáveis estão habilitadas a inferir;
- $b_j$  – volume acessível de cada bem;
- $a_{ij}$  – montante de recurso consumido por cada uma das variáveis decisórias (OENNING et al., 2004).

No entendimento de Lachtermacher (2002) os modelos de programação matemática que procuram a otimização dos processos, podem ser concebidos da subseqüente forma:

Figura 4 – Modelo quantitativo de programação linear

$$\text{Otimizar: } Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{array} \right.$$

Fonte: Lachtermacher (2002).



Onde:

- $x_j$  – descreve o volume de variáveis utilizadas;
- $b_j$  - figura a quantidade acessível de delimitados recursos;
- $f(x)$  – função que representa o objetivo a ser determinado;
- $g_j(x)$  – função que representa as restrições do problema;
- $n$  – número de variáveis de decisão;
- $m$  – número de restrições do modelo.

A construção de um modelo de programação linear segue três passos básicos, os quais serão utilizados neste problema numérico do CSNAM (Silva et al., 1987):

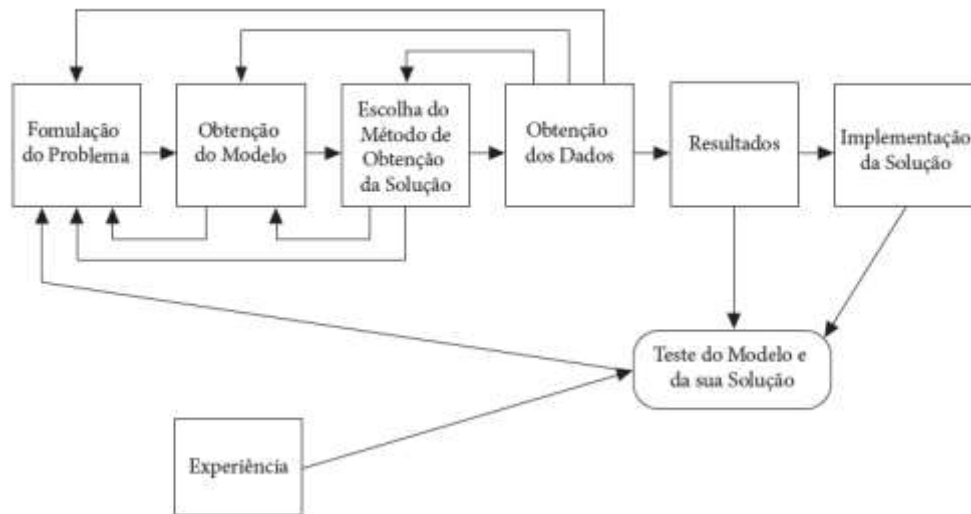
- a) **Passo I:** Identifique as variáveis desconhecidas a serem determinadas (elas são denominadas variáveis de decisão) e represente-as através de símbolos algébricos (por exemplo,  $x$  e  $y$  ou  $x_1$  e  $x_2$ ).
- b) **Passo II:** Liste todas as restrições do problema e expresse-as como equações ( $=$ ) ou inequações ( $\leq, \geq$ ) lineares em termos das variáveis de decisão definidas no passo anterior.
- c) **Passo III:** Identifique o objetivo ou critério de otimização do problema, representando-o como uma função linear das variáveis de decisão. O objetivo pode ser do tipo maximizar ou minimizar.

Pode-se, de uma forma simplificada, subdividir a resolução de um problema de pesquisa operacional em cinco etapas:

- a) Formulação do Problema (Identificação do Sistema);
- b) Construção do Modelo Matemático;
- c) Obtenção da Solução;
- d) Teste do Modelo e da Solução Obtida;
- e) Implementação.

A imagem que segue, representada na Figura 5, demonstra as fases de um estudo aplicando PO.

Figura 5 – Esquematização das fases de um estudo aplicando PO



Fonte: Federação Internacional de Pesquisa Operacional (IFORS, 2016) - ([www.ifors.org](http://www.ifors.org)).

## 2.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Conforme os autores Harrell et al. (2000) e Law e Kelton (2000) simulação é a reprodução de um sistema real, de maneira computadorizada, consistindo em uma modelagem assistida por computador, para ponderação e melhoramento de seu desempenho. Montevechi et al. (2008) aperfeiçoam descrevendo que a simulação envolve a realidade, trazendo-a para este espaço moderado de maneira que sua execução consiga ser examinada sob múltiplas condições, com total ausência de riscos ou implicação de amplos custos. Deste modo, é um ambiente de conferir conjecturas e/ou cálculos com demonstração, de verificar consequências experimentais ou de realizar experimentos que, de outro modo, seriam inabordáveis.

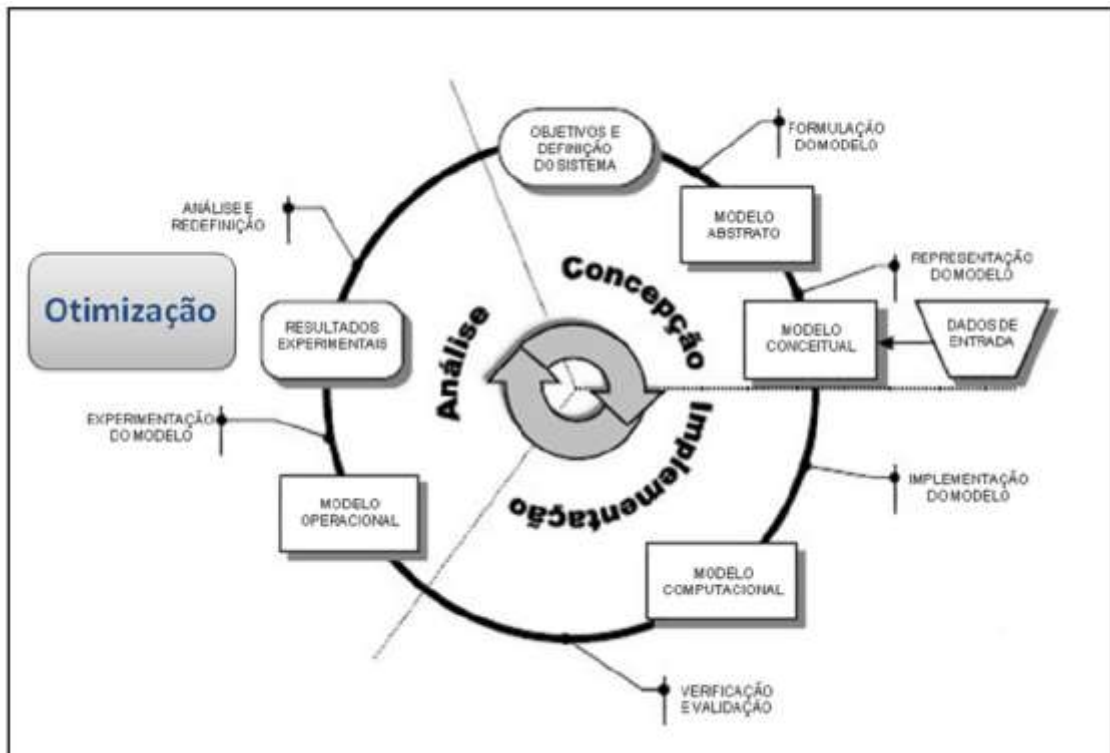
Portanto, para se conhecer o desígnio essencial de se perpetrar simulação, Freitas Filho (2008) assegura que:

A simulação permite ao analista realizar estudos sobre os correspondentes sistemas modelados para responder questões do tipo “O que aconteceria se?”.

O principal apelo ao uso dessa ferramenta, é que tais questões podem ser respondidas sem que os sistemas sob investigação sofram qualquer perturbação, uma vez que os estudos são realizados no computador (FREITAS FILHO, 2008, p.23).

Para que um projeto de simulação computacional possa considerar os diversos estudos indispensáveis para sua consumação é essencial que os pesquisadores adotem uma rigorosa metodologia. Montevechi et al. (2008) como também Chiwf e Medina (2007) recomendam uma sucessão de incumbências a serem concretizadas segundo o desenvolvimento do projeto de simulação. Cada problema modelado possui suas próprias peculiaridades, entretanto todos têm mesmo âmago, ou seja, aconselham que o estudo inicie pela etapa de compreensão, seguida de implementação e, por último, de profunda análise, tornando-se cíclica. A imagem que segue, representada na Figura 6, se destina a orientar os estudos de um projeto de simulação.

Figura 6 – Metodologia de simulação



Fonte: adaptado de Chwif e Medina (2007)

Na etapa de concepção faz-se necessário que todos os objetivos a serem estudados pela simulação sejam descritos e identificados. É de vital importância para aderência do modelo que nesta fase de concepção haja completo entendimento das entradas, processos, regras, uso de recursos e outros detalhes. Segundo Pinho et al. (2006), toda a captação dos dados referentes a fase de entrada deve ser efetuada neste momento inicial, que deve ser expressado fazendo-se uso de reconhecida metodologia de modelagem algébrica e/ou gráfica e tal artifício deve ser selecionado conforme as características dos objetivos e processos envolvidos.

No segundo passo do processo, o da implementação, Chiwf e Medina (2007) recomendam que o molde conceitual seja transformado em um modelo computacional por meio de qualquer linguagem de programação ou de um determinado simulador comercial, sendo o “GAMS IDE”® o escolhido neste trabalho de pesquisa, por sua amplitude gráfica e de animação, como também sua facilidade de uso e sua clareza estrutural; tornando-o um software de admiráveis estratégias de corroboração e comprovação dos modelos processados.

Ainda de acordo com os autores Chiwf e Medina (2007) é essencial efetuar a comparação entre a modelagem conceitual e computacional, de forma a evidenciar que sua operação afere com o que ficou designado na fase de concepção. Ao mesmo tempo nessa ocasião são gerados resultados que servirão de base para a validação do modelo computacional, fazendo-se uso de subsídios estatísticos para conferir os resultados do modelo simulado com o real, além da precaução quanto à averiguação desse modelo em termos da supressão de erros do sistema.

Na terceira e última etapa, a análise é a conjuntura em que o modelo computacional está finalizado para a efetivação dos experimentos, criando assim o modelo operacional, quando são perpetrados diversos testes com o modelo e os resultados são considerados e documentados. Também podem ser efetuados estudos mais arraigados do modelo, por exemplo, o que foi feito por Montevechi et al. (2009), empregando as metodologias isoladamente ou conjugadas para o projeto de experimentações (*Design of Experiments, DOE*), apreciação econômica de investimentos e diagnóstico de risco econômico, porém ao mesmo tempo é o momento de ser concretizada a otimização.

Otimização é um procedimento que verifica inúmeros ajustes díspares de valores para todas as variáveis controláveis, no ensaio de procurar uma solução ótima (HARREL et al. 2000). Conforme Fu (2002), a otimização necessita incidir de maneira integrante a simulação, municiando as variáveis de uma admissível solução (inputs) à simulação, e esta, aprovendo respostas (outputs) para todas as circunstâncias propostas, mesmo que tal solução não seja destacada como satisfatória. A otimização aliada à simulação vem sendo empregada e

disseminada, de acordo com Montevechi et al. (2004), com acoplamento mútuo por parte dos fabricantes de softwares de simulação e otimização.

Segundo Goldstein (2008):

Na busca destes limites, é oportuno lembrar que qualquer sistema que seja passível de modelagem está sujeito ao paradoxo de Gödel<sup>1</sup>. Originário da lógica matemática, o paradoxo embasa as asserções de Simon vistas anteriormente, afirmando que qualquer sistema ou é completo, ou é consistente, nunca sendo os dois simultaneamente (GOLDSTEIN, 2008, p.142).

## 2.6 LINGUAGEM GENERAL ALGEBRAIC MODELING SYSTEM (GAMS)

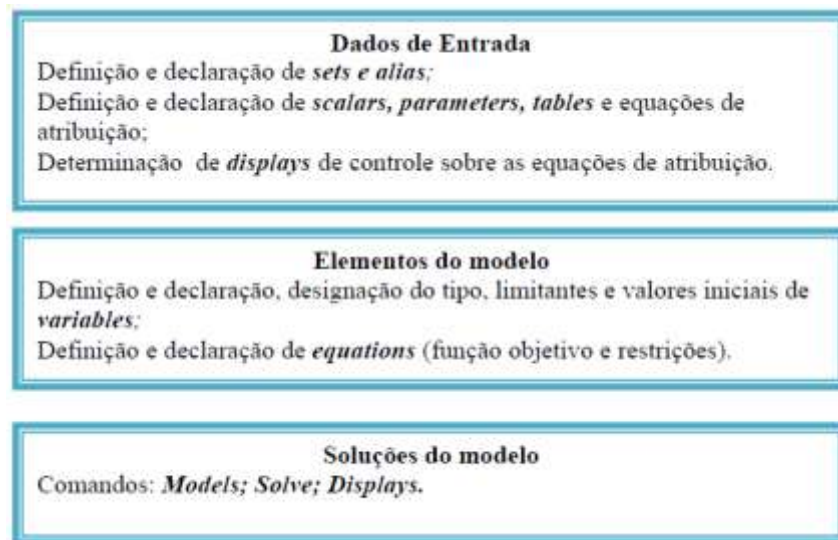
No decorrer das décadas de 50 e 60 se obteve um avanço profundo no progresso de algoritmos e programas matemático-computacionais para solucionar as inúmeras dificuldades de programação matemática. Apesar de que, na década vindoura, não apareceu uma grande massa de aplicações dos instrumentos computacionais que foram criados (PAIVA, 2000).

É perceptível que a maior parte do tempo necessário para criação e/ou aperfeiçoamento de um modelo é absorvido na etapa de organização dos dados, como também dos relatórios de saída. Por conseguinte, foram analisados os elementos para amortizar esse dispêndio de tempo, e nesse sentido foram desenvolvidos os geradores de matrizes destinados a programação linear, que efetuavam transformações dos modelos matemáticos para a configuração algorítmica demandada pelos softwares de modelagem (BROOKE et al,1997).

O predecessor para amoldamento desses desígnios foi a criação das linguagens de modelagem (LMs). Verificando-se as LMs que se sobressaíram durante a década de 80 e princípio da década de 90, menciona-se: CML(*Conversational Modeling Language*), a LPM (*System for Constructing Linear Programming System*), a LAMP (*Language for Interactive General Optimization*), LINGO (*Language for Interactive General Optimization*) e o GAMS (*General Algebraic Modeling System*). Essas LMs estão contraindo máximo significado para os profissionais de modelagem, já que as questões analisadas estão se mostrando mais complexas com o passar do tempo, e as LMs proporcionam que os profissionais de modelagem

empreguem muito tempo para resolver problemas alusivos ao modelo, e não sua elaboração computacional (BROOKE et al,1997). A imagem que segue, representada na Figura 7 abaixo, estrutura geral da linguagem GAMS:

Figura 7 – Estrutura geral da linguagem GAMS



Fonte: Adaptado de Brooke et al.,1997.

### 2.6.1 Vantagens e Desvantagens do uso de GAMS

O GAMS é uma linguagem de modelagem que foi construída para o elaboração e elucidação de complexa modelagem matemática. Suas vantagens essenciais são:

- Aprovisionar uma linguagem de altíssimo grau para desenvolvimento de modelos complexos;
- Possibilitar modificações na descrição dos modelos de maneira simples;
- Proporcionar analogias algébricas expressadas de forma não dúbia;
- Propiciar descrições de modelos autônomos dos procedimentos de solução;

- e) Facilitar a manipulação dos dados de entrada e notificações de saída e modificar de forma automática os dados para a configuração demandada pelos pacotes de programação matemática.

Exceto estas proficuidades, o *GAMS* é um compilador fundamentado na teoria de banco de dados e na teoria de programação matemática. *GAMS* ao mesmo tempo proporciona um conjugado de pacotes de programas descritos como ferramentas de teste de hipóteses (*Solvers*), que são pacotes com alternativas para uso de diversas metodologias de solução de problemas de programação matemática que podem ser empregados segundo a preferência do profissional de modelagem (BROOKE et al, 1997).

Como desvantagem principal, tem-se a curva de aprendizado que, além de íngreme, é bastante sinuosa, exigindo profunda dedicação e estudo por parte do profissional modelador (BROOKE et al, 1997).

## 2.7 SEMENTES NATIVAS DO AMAZONAS

A Floresta Amazônica é um ecossistema que está em constante mudança. Há um processo cíclico e natural de crescimento, estabilização, senescência e morte das plantas que compõe este ambiente.

Este processo, que gera transformações na composição (tipos de plantas) e na estrutura (altura das plantas) de uma vegetação ao longo do tempo, é chamado de sucessão vegetal. Ou seja, a sucessão é a sequência em que as plantas se desenvolvem num ambiente determinado. Ocorre de duas maneiras: sucessão primária e sucessão secundária (CSNAM, 2016).

A sucessão primária está relacionada com a ocupação gradativa de um terreno ao longo do tempo geológico; e a sucessão secundária ocorre devido a processos naturais como a queda de árvores e desmoronamento de encostas e por intervenções humanas, formando clareiras na mata (CSNAM, 2016).

Estas clareiras são inicialmente ocupadas por plantas que suportam alta incidência luminosa e solos pobres em nutrientes. Estas plantas que conseguem se estabelecer no primeiro momento da sucessão são chamadas de plantas pioneiras e são espécies de crescimento rápido

e ciclo de vida curto. Esta colonização inicial e jovem é chamada de capoeirinha ou capoeira baixa.

É ela que proporciona uma melhoria gradativa das condições do ambiente, permitindo o estabelecimento de outras espécies mais exigentes em nutrientes e que precisam de um pouco mais de sombra, chamadas de espécies secundárias. Esta fase da sucessão é chamada de capoeirão ou capoeira alta e nela estão presentes tanto as espécies pioneiras quanto as secundárias (CSNAM, 2016).

Aos poucos o ambiente vai ficando mais “adulto” e outras espécies vão surgindo até conformar a floresta. As espécies climáticas são as que definem o desenvolvimento final da sucessão vegetal.

### **2.7.1 Produção de Sementes Nativas do Amazonas**

Conforme (CSNAM, 2016), geralmente, as plantas florescem e frutificam periodicamente, porém, este fenômeno pode variar na época de ocorrência, na sua duração e intensidade. É comum também, haver irregularidade na produção de sementes:

- Há espécies que produzem anualmente ou em intervalos regulares grandes quantidades de sementes, como as espécies pioneiras, por exemplo;
- Há espécies que ficam por longos períodos sem produzir sementes, entre anos de produção;
- Há espécies que produzem grandes quantidades de sementes (anos de picos de produção) e logo passam por períodos com produção irregular;
- Outras espécies, por exemplo, tem a sua produção de frutos variável conforme a exposição de sua copa aos quatro pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste) e ainda variável de ano para ano;
- Cada espécie floresce em épocas diferentes do ano, dependendo do local e das condições climáticas. Por exemplo: a copaíba, floresce de março a agosto (estação chuvosa/seca).



## 2.7.2 Seleção das Árvores Matrizes

São chamadas de árvores matrizes, porta sementes ou árvores-mãe, aquelas plantas das quais são coletadas as sementes. É importante escolher bem as árvores matrizes para assegurar que as sementes tenham boa qualidade.

A escolha das árvores matrizes depende da finalidade a que se destina a semente que vai ser colhida. Por exemplo: quando o objetivo for a produção de madeira, devemos colher sementes de árvores que tenham fustes retos e cilíndricos; se for a extração de resina, a árvore deve apresentar elevado teor deste extrativo; se for a produção de frutos, devemos coletar sementes de árvores que produzam os melhores e mais gostosos frutos (CSNAM, 2016).

Na época da colheita, as árvores matrizes devem estar saudas, vigorosas e em plena maturidade.

Depois de selecionadas as árvores matrizes, elas devem ser identificadas, por meio da marcação:

- Etiquetagem: colocar uma pequena placa de alumínio (ou outro material) fixada na casca da árvore selecionada, contendo o número de cada árvore.
- Mapeamento das matrizes: fazer um croqui de cada área onde foram selecionadas as matrizes, com o seu posicionamento. Isto facilita a localização da matriz que foi etiquetada em futuras coletas.

## 2.7.3 Coleta de Sementes Nativas: Qual época é a safra?

É a época em que as sementes atingem o ponto de maturidade fisiológica, na qual possuem o máximo de poder germinativo e vigor.

Mas como sabemos se as sementes estão prontas?

Isto ocorre quando os frutos estão maduros, isto é, quando eles começam a se abrir espontaneamente, ou iniciam a queda espontânea. O ponto de maturidade dos frutos varia em função da espécie, do local e do ano, portanto, mais uma vez, precisamos observar a floresta! Normalmente reconhecemos um fruto maduro pela sua: cor, cheiro, umidade, densidade, tamanho e peso (CSNAM, 2016).

A definição da época de colheita é muito importante, porque grande número de espécies produz frutos secos que se abrem naturalmente quando amadurecem, e liberam as sementes. Por isso, se não coletarmos na época certa, acabamos perdendo de vista as sementes.

Além disso, é importante coletar as sementes logo que os frutos estão maduros, para evitar que elas permaneçam no campo, sujeitas ao ataque de predadores e expostas a condições que favoreçam o aparecimento de fungos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta como escopo revelar e interpretar os índices e os parâmetros empregues para a criação da modelagem matemática e computacional. Tal modelagem e moldura-se como um problema de otimização combinatória, constituindo esse de dificuldade não polinomial. Problemas de respectiva dificuldade têm uma particularidade única, significando assim, alta complexidade no alcance de sua solução ótima.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Autazes é um município brasileiro do interior do estado do Amazonas, Região Norte do país. Pertencente à Mesorregião do Centro Amazonense e à Microrregião de Manaus, localiza-se a sudeste de Manaus, capital do estado, distando desta cerca de 113 quilômetros.

Ocupa uma área de 7 599,282 km<sup>2</sup> e sua população, estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2015, era de 37 033 habitantes, sendo assim o décimo-sexto município mais populoso do estado do Amazonas e o quinto de sua microrregião.

Como objeto deste estudo, tem-se os respectivos custos de coleta e sua aferição como também as restrições orçamentárias da supracitada atividade de coleta. Foram investigadas cinquenta (50) variedades de espécime vegetal arbóreas nativas da Amazônia, com suas respectivas produtividades para posteriormente resolver-se, assistido por simulação computacional, o modelo proposto.

##### 3.1.1 História

Autazes era uma região bastante conhecida já no século XVIII, pela habitação dos índios Mura, famosos por resistirem ao sistema colonizador dos portugueses.

A origem do nome "Autazes" vem dos rios Autaz-Açú e Autaz-Mirim, ambos penetram e cortam o município de norte a sul. A exploração de suas terras iniciou-se por volta de 1637, através do Rio Madeira, pelos produtores de cacau e demais trabalhadores de produtos naturais. Porém, a ocupação definitiva de Autazes só aconteceu por volta de 1860. Inicialmente a cidade era chamada de Ambrósio Ayres, em homenagem ao fazendeiro bararoá que lutou contra os cabanos e desta luta teve a sua morte.

A Cabanagem também foi presenciada em suas terras, por volta de 1835 e 1840. Esse acontecimento, extraordinário na História do Brasil, envolveu índios, mestiços, negros e alguns brancos pobres que buscavam melhores condições de vida.

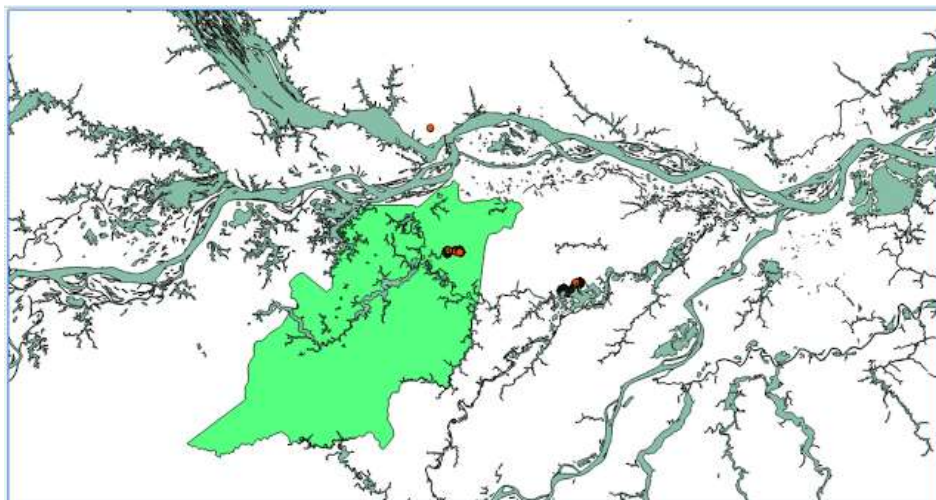
### **3.1.2 Geografia**

Sua população estimada em 2015 era de 37.033 habitantes. Sua localização é latitude  $-3,57972^{\circ}$  e longitude  $-59,13056^{\circ}$ . Tem uma área territorial de 7.599 km. Está noventa metros acima do nível do mar, e sua temperatura média é de  $26^{\circ}\text{C}$ . Fica, em média, a 108 quilômetros de Manaus.

#### **3.1.2.1 Hidrografia**

São diversos rios que cortam os arredores de Autazes, além de mais de cem lagos, sendo todos propícios à pesca e ao pouso de hidroaviões. Esses locais contam com uma forte presença de operadores de barcos para o turismo de pesca. O peixe mais cobiçado é o tucunaré, que se tornou o peixe-símbolo da pesca esportiva no Brasil. Os destaques são os rios Preto e Pantaleão, que têm por características principais as águas escuras e um lago com vinte quilômetros de área. Já o Rio Mamori atravessa a cidade e faz sua ligação com o município de Careiro Castanho. O Rio Tupana é um dos mais preservados e selvagens da região. A figura que segue ilustra o mapa da região onde ocorreu a pesquisa:

Figura 8 – Ambiente geográfico onde ocorreu coleta dos dados



Fonte: Criação própria. Dados gerados da pesquisa (2016).

### 3.1.3 Economia

#### 3.1.3.1 Produção de leite de búfala

Segundo dados do IBGE (2010), Autazes possui a maior produção de leite de búfala do Brasil, com 2,3 milhões de litros produzidos em 2010.

#### 3.1.3.2 Agropecuária

A produção agropecuária baseia-se na criação de gado leiteiro, o que valeu a Autazes o título de cidade do leite e do queijo. Também há uma grande produção de queijo

coalho, queijo manteiga e leite, bem como o cultivo de mandioca (farinha), cupuaçu, guaraná, laranja, feijão e milho; como também coleta de sementes nativas do Amazonas.

### 3.2 HISTÓRICO DO CSNAM

O CSNAM é um órgão multi e transdisciplinar de natureza técnico-científica, de caráter educativo, e de pesquisa e extensão. Foi instituído por meio da Resolução no. 19/2010/UFAM, diretamente vinculado ao Departamento de Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agrárias FCA/UFAM, a qual lhe assegura os meios para seu pleno e adequado funcionamento.

Ao CSNAM/UFAM compete realizar ensino, pesquisa e extensão como elo da cadeia produtiva florestal no Amazonas, no intuito de disponibilizar ao público em geral, material propagativo selecionado e/ou melhorado de essências florestais nativas da Amazônia. O CSNAM vem assim, desde 2010, promovendo cursos de capacitação, bem como beneficiamento e armazenamento de sementes tropicais

### 3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Toda consideração incide na explicação da realidade, ou componente desta, compondo um modelo conceitual. Nesta etapa, foram perpetradas inspeções à unidade do CSNAM, como também, a revisão da bibliografia técnica referente a métodos quantitativos aplicados à otimização de modelos lineares dinâmicos. Os conhecimentos processados foram empregados para descrever o processo de produção do CSNAM, originando parâmetros para modelar o planejamento da coleta de sementes nativas. Tal planejamento contempla decisões agrícolas e gestão econômica.

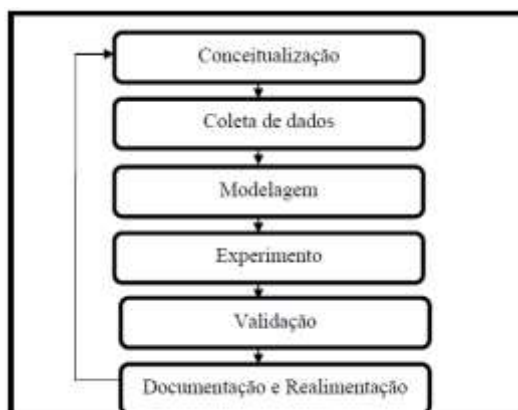
A metodologia de pesquisa aglutina todos os passos concretizados para edificação do trabalho científico, que vai desde o desígnio do processo para aquisição de dados, passando

pela assimilação das técnicas, processos, artifícios, ferramentas de análise, demarcação do espaço amostral e/ou universo da amostra, até a classificação e apreciação dos dados recolhidos.

Segundo Bertrand e Fransoo (2002), a categorização técnica seguida nesta pesquisa é a empírica normativa e de caráter aplicado com enfoque quantitativo; o processo de pesquisa é a modelagem computacional. Esse tipo de investigação dispõe-se melhorar uma conjuntura atual, e este trabalho almeja aprimorar o comportamento da tomada de decisão na idealização da produção na atividade de coleta de sementes nativas da Amazônia. A natureza desta pesquisa é aplicada, com enfoque quantitativo, tendo como método de pesquisa a modelagem computacional.

O molde recomendado por Law e Kelton (2000) sintetiza a idealização metodológica seguida para condução desta pesquisa. Constituindo um modelo peculiar de pesquisa operacional e considerado pelas consecutivas fases expostas na figura que segue:

Figura 9 – Modelo típico das fases da pesquisa operacional



Fonte: Adaptado de Law e Kelton (2000).

### 3.4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

No procedimento de coleta de dados, obtêm-se as estimações dos parâmetros que são indispensáveis para modelar os processos em estudo. Para tal, far-se-á uso de consulta documental baseada em relatórios de produção, e emprego de entrevistas semiestruturadas, um combinado entre a entrevista focada na abordagem de um tópico característico, e a entrevista

estruturada que se desenvolve "a partir de um questionário" (Vieira; Major 2009). Para o caso deste trabalho, foi selecionado como entrevistado o responsável pela área de PCP do CSNAM.

O modelo matemático foi implementado a partir dos dados supracitados para maximizar a utilização do recurso econômico disponível ao CSNAM, otimizando sua dotação orçamentária. O procedimento empregado foi a PL que representa um dos vários alicerces da PO e pode ser processada com o uso do solver *CPLEX* assistido pelo software *General Algebraic Modeling System (GAMS)*.

Os dados coletados foram avaliados com base no referencial teórico empregado, o que possibilitará uma ponderação mais concisa do processo produtivo do CSNAM, sendo trabalhados utilizando-se as funções do software *GAMS*, que é projetado para modelagem de soluções lineares, não lineares, e problemas de otimização inteira mista. O software é adaptado para aplicações de modelagem complexas de larga escala e permite que o usuário construa grandes modelos sustentáveis que podem ser adaptados a novas situações. O software está disponível para uso em várias plataformas de computadores; e os modelos são portáteis de uma plataforma computacional para outra. Todos os parâmetros contribuintes foram inseridos com um fator de proporcionalidade na modelagem matemática computacional, propondo-se sustentar o sigilo das informações empregadas, e a confidencialidade demandada pelo CSNAM. A tabela abaixo especifica detalhes do softwares e/ou versão utilizados neste trabalho de pesquisa:

Tabela 1 – Detalhamento do software de simulação computacional e/ou versão utilizada.

<b>Especificação do Simulador Computacional</b>	<b>Detalhes da especificação</b>
Criação do GAMSIDE	Identificação: 42728 / 43572
Distribuição do GAMS	Código: 24.2.1 r43572 WEX-WEI x86_64/MS Windows
Data de distribuição	Distribuído em: 09-12-2013
Data de licença	09-12-2013

Fonte: Elaboração própria. 2016.



A figura abaixo especifica detalhes das sementes nativas coletadas neste trabalho de pesquisa:

Figura 10 – Semente nativa do Amazonas – Espécie não catalogada até presente data (2016)



Fonte: Dados de campo (2016).

Figura 11 – Semente nativa do Amazonas - Babaçu



Fonte: Dados de campo (2016).

Figura 12 – Semente nativa do Amazonas – Centro de Distribuição



Fonte: Dados de campo (2016).

Figura 13 – Semente nativa do Amazonas - Andiroba



Fonte: Dados de campo (2016).

Figura 14 – Semente nativa do Amazonas – Espécie não catalogada até presente data (2016)



Fonte: Dados de campo (2016).

Figura 15 – Semente nativa do Amazonas - Jatobá



Fonte: Dados de campo (2016).

### 3.5 CONCEITUALIZAÇÃO: DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A modelagem é a reprodução do molde conceitual pelo molde científico. Posteriormente a revisão do modelo empírico utilizado no CSNAM, desenvolveu-se uma modelagem matemática focada na otimização linear dinâmica, aplicando-se métodos quantitativos; levando-se em conta um número diversificado de variáveis estocásticas e determinísticas, além de uma compreensão temporal. De tal modo, esta pesquisa contempla as estações de safra e entressafra, correspondendo a 12 meses de análise (junho de 2015 a junho

de 2016), e o emprego de um o Modelo de Programação Inteira (MIP), propondo-se alcançar distintas soluções dependendo dos desígnios estipulados pela gestão do CSNAM. Os anexos apresentam o código do modelo e de sua interface de entrada de dados desenvolvidos nesta pesquisa.

### 3.6 MODELAGEM: CONSTRUÇÃO DO MODELO DO PROBLEMA

Como descrito, o desígnio desta investigação é auxiliar na idealização de produção da atividade de coleta de sementes nativas, com aplicação de um modelo de otimização linear dinâmica que seja apropriada a amparar as fundamentais disposições envolvidas no PCP do CSNAM e sua gestão orçamentária. Acatando as restrições de disponibilidade do produto em questão – sementes nativas, saber amazônico, dificuldade de coleta, quantidade de sementes por quilograma, dificuldade de processamento, palatabilidade (ser comestível), abundância de matrizes, capacidade armazenagem, fenologia (período de safra). Tal situação pode ser caracterizada por possuir diversos estágios, produtos, processos, períodos e objetivos; ajustando disposições de dimensionamento e sequenciamento das etapas de coleta.

Faz-se necessário explanar que exclusivamente um processo deve ser empregado em cada semana, porquanto a permuta de processos em intervalos menores que uma semana irá afetar a eficiência e, por conseguinte, a otimização do modelo em estudo. Quanto à formulação, foram desconsideradas prováveis não-linearidades nos dispêndios de produção e otimização orçamentária, por exemplo, quão intensamente maior for a qualidade das sementes coletadas, menores serão os impactos da dificuldade de processamento nos resultados dos métodos de beneficiamento. Estimando-se e analisando-se estas analogias não lineares recomenda-se determinados enfoques, no entanto essas encontram-se como sugestões para futuros trabalhos. Nesta pesquisa ponderou-se que os parâmetros de modelagem e os custos de produção, extração e estocagem são lineares para a condição de diagnóstico almejada pelo CSNAM.

### 3.7 EXPERIMENTO: SOLUÇÃO DO MODELO

O ensaio é um procedimento de aquisição de uma solução para o modelo científico. Nessa etapa empregou-se o software *GAMS (General Algebraic Modeling System)* para modelar o processo de coleta de sementes nativas, utilizando-se da otimização de modelos lineares dinâmicos, com emprego de métodos quantitativos voltados à gestão orçamentária.

### 3.8 VALIDAÇÃO DO INSTRUMENTO

No processo de validação afere-se o modelo científico, averiguando se esse contempla a realidade em estudo ou seu respectivo recorte. No decorrer dessa fase, tirou-se proveito de um modelo de mínima dimensão para assessorar na constatação do funcionamento do algoritmo computacional. A validação final foi efetuada com crivo da equipe técnica, do mesmo modo para a apreciação dos resultados como no provimento dos dados reais de planejamento da coleta de sementes nativas.

### 3.9 AJUSTES: DOCUMENTAÇÃO E TESTE

Por fim, na documentação e testes de alimentação do modelo necessita-se aferir e documentar a consistência dentre a solução implementada computacionalmente e o modelo real. Abrange-se nessa fase a composição desta pesquisa e a aquisição, mapeamento e modelagem das informações advindas dos gestores do CSNAM.



### 3.10 SAFRA E ENTRESSAFRA

A deliberação do planejamento da safra foi adotada a partir do número de temporadas imprescindíveis para processar a coleta de sementes nativas numa gestão orçamentária anual, levando em estima uma coleta semanal média entre as demarcações superiores e inferiores, instituídos nos dados de entrada. Tal apreciação preliminar aprovisiona a estimação de 35 semanas para o processamento das sementes nativas disponíveis e a entressafra foi instituída em 17 semanas, pois se ponderou 52 semanas para conceber a safra e entressafra 2015/2016.

Com as informações aproximadas têm-se capacidade para criar o modelo computacional para o CSNAM retratando o período de safra e entressafra 2015/2016.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo proporciona os resultados alcançados com o emprego do modelo de decisão para a atividade de coleta de sementes nativas do CSNAM. A Utilizou-se um computador pessoal com processador *CoreI7 2.40 GHZ* com 8GB de memória *RAM* e sistema operacional *Windows 10 64 bits*. O *software* empregado foi o *GAMS 24.2* aplicando o *Solver CPLEX* para processamento do modelo e linguagem de programação *JAVA* para criação da interface de entrada de dados, cujo código e telas, estão no Anexo.

### 4.2 EXECUÇÃO DAS ETAPAS

Foram feitas consultas a literaturas disponíveis para entendimento de todo o processo de coleta de sementes nativas da Amazônia em cada área de coleta de sementes (ACS), desde o plantio de mudas até o momento de coleta, levando em consideração os fatores que influenciam o custo de coleta e programação de um modelo matemático para otimização do custo de coleta para todo o sistema de produção de sementes nativas da Amazônia.

Foram coletados os dados de custo atrelados a cada variável que compõe a fase de coleta de sementes nativas, objeto de pesquisa deste trabalho, como também os dados de recurso orçamentário que serão otimizados em conjunto com os custos de coleta. Estes dados foram organizados em tabelas, utilizando o aplicativo computacional Microsoft Excel.

Foi desenvolvido uma estrutura baseada em modelo quantitativo, criado por meio de programação linear com auxílio do software *GAMS* para cálculo dos custos de coleta, assim como otimização dos recursos orçamentários. O custo foi subdividido em suas diversas variáveis componentes que estão vinculadas a cada espécime vegetal investigada nesta pesquisa, sendo o custo total de coleta a soma destes, incidindo sobre os mesmos suas respectivas restrições.

Para aferir os respectivos custos de coleta, foram investigadas cinquenta (50) variedades de espécime vegetal com suas respectivas produtividades para posteriormente resolver-se, assistido por simulação computacional, o modelo proposto. Tal estudo ocorreu na ACS de Autazes, município brasileiro no interior do estado do Amazonas, pertencente à Mesorregião do Centro Amazonense e Microrregião de Manaus, localizado a sudeste de Manaus, capital do estado, distando desta cerca de 113 km.

Autazes ocupa uma área de 7.599.282 km<sup>2</sup> e sua população, estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2014, era uma média de trinta e sete mil habitantes (37.000), sendo assim o décimo-sexto município mais populoso do estado do Amazonas e o quinto de sua microrregião.

#### 4.3 MODELO CONCEITUAL QUANTITATIVO

O Centro de Sementes Nativas do Amazonas (CSNAM) deseja determinar a melhor programação otimizada que possa gerar o máximo de lucro para o mesmo. A solução ótima encontrada será utilizada como referência para a decisão real. Por outro lado, considerando as restrições que normalmente surgem nos empreendimentos de natureza econômica, chamadas restrições de capacidade, e tendo-se em vista a atividade fim do CSNAM, que é revenda de sementes nativas, existem restrições à capacidade produtiva e de revenda, ou seja, no processo de produção (interno) e no mercado (externo), onde o CSNAM coleta, estoca, transporta, beneficia e revende. Dessa forma, tem-se variáveis que, quando computadas, irão compor a estrutura de custos aplicáveis a atividade de coleta de sementes nativas. Sendo que o custo de coleta (CT) o somatório de todas as variáveis que o compõe, conforme tabela a seguir:

Tabela 2 – Descrição da estrutura de custos aplicáveis a atividade de coleta de sementes nativas com seus custos fixos e/ou variáveis.

Abreviatura	Descrição da estrutura de custos aplicáveis a atividade de coleta de sementes nativas
AT	Área total disponível para a atividade coleta de sementes – ha/ano
TR	Custo da área de terra demarcada para coleta (devendo ser considerado o custo de oportunidade e o custo de mapeamento – ex: demarcação das matrizes c/ etiquetas, georreferenciamento) – R\$/ano – [custo variável]

Abreviatura	Descrição da estrutura de custos aplicáveis a atividade de coleta de sementes nativas
BE	Custo e despesas com benfeitorias (ex: poda, limpeza das matrizes; considerando-se a depreciação, o custo de oportunidade e o custo de manutenção) – R\$/ano – [custo variável]
MQ	Custo e despesas com máquinas e equipamentos (ex: motor rabeta, tesourão, luva, facão; considerando-se a depreciação, o custo de oportunidade e o custo de manutenção) – R\$/ano – [custo variável]
CB	Custo e despesas com combustível (considerando-se o custo de oportunidade) – R\$/ano – [custo variável]
PS	Custo e despesas com pessoal (ex: coletores auxiliares; considerando-se o custo de oportunidade) – R\$/ano – [custo variável]
AL	Custo e despesas com alimentação (considerando-se o gasto com suprimentos levados durante a atividade de coleta de sementes e o custo alternativo) – R\$/ano – [custo variável]
SO	Custo e despesas com produtos farmacêuticos – saúde ocupacional (ex: repelentes e material de primeiro-socorro; considerando-se o gasto e o custo alternativo) – R\$/ano – [custo fixo]
PA	Custo e despesas com plantio artificial das mudas (considerando-se o gasto e o custo alternativo) – R\$/ano – [custo fixo]
TM	Custo e despesas com tração humana (ex: transferência de mudas; considerando-se o gasto e o custo alternativo) – R\$/ano – [custo fixo]
DA	Gastos com despesas administrativas (ex: estocagem e transporte; considerando-se também o custo alternativo) – R\$/ano – [custo fixo]
MK	Gastos com marketing e propaganda (considerando-se também o custo alternativo) – R\$/ano – [custo fixo]
MO	Custo e despesas com mão-de-obra (considerando-se o gasto efetivo, os encargos pagos e o custo alternativo) – R\$/ano – [custo variável]
RO	Recurso orçamentário disponível

Fonte: Elaboração própria, 2016.

Considerando-se o consumo efetivo de recursos financeiros e o tempo de manejo de cada espécie vegetal na ACS e para garantir a sustentabilidade econômica da atividade de coleta na ACS, foram inseridas restrições adicionais para que cada espécie vegetal possa contribuir no *mix*, isto é, na cesta de produtos; e que impactam diretamente na atividade de revenda das sementes nativas, isto é, em sua equação de precificação, conforme segue abaixo:

- a) Saber amazônico (SA) – conhecimento essencial para identificação das matrizes e sua localização;
- b) Dificuldade de coleta (DC);
- c) Quantidade de sementes por quilograma (QS);
- d) Dificuldade de processamento (DP);
- e) Palatável (comestível?) – (PT);
- f) Abundância de matrizes (árvores produtoras) – (AM);
- g) Capacidade armazenagem (CA):
  - i. Suportam grandes períodos de armazenagem – Ortodoxas;
  - ii. Não suportam longa estocagem (germinam facilmente) – Recalcitrantes;

h) Fenologia (FN) – (relativo à safra – semestral, anual, bianual, trienal ou quadrienal);

Por conseguinte, o problema inicial da determinação do lucro máximo é a identificação dos fatores que restringem a capacidade do CSNAM em produzir e vender. Na formulação do modelo quantitativo a ser ilustrado, utilizar-se-á o método do custeio variável, pois além de identificar a margem de contribuição unitária por produto, os custos de produção estão intimamente relacionados com o insumo e variam com o volume do parâmetro escolhido.

Outra prerrogativa dessa escolha é que a programação linear busca um valor ótimo em pontos extremos de um conjunto convexo, cujas relações entre as variáveis são lineares, isto é, o que importa na decisão é a relação entre as margens de contribuição advindas dos preços e os custos variáveis de produção.

#### 4.3.1 Modelagem Conceitual: Simulação para Otimização dos Custos de Coleta

Denotando que o custo de coleta de sementes nativas da Amazônia é uma composição de diversas variáveis de custo, tal modelagem matemática é calculada decompondo-se a expressão de custo em:

- a) Índices;
- b) Parâmetros;
- c) Variáveis;
- d) Equações.

Tal cálculo se dá por meio de índices, parâmetros, variáveis e equações da seguinte forma:

**a) Índices:**

i: associado às restrições por espécie vegetal,

$$i \in I, I = \{SA, DC, QS, DP, PT, AM, CA \text{ e } FN\}.$$

j: associado aos custos de coleta e recurso orçamentário,

$$j \in J, J = \{AT, TR, BE, MQ, CB, OS, AL, SO, PA, TM, DA, MK, MO, RO \}.$$

**b) Parâmetros:**

$P_j$ : associado ao índice  $j$  define os limites máximos de cada recurso.

$R_{i,j}$ : associado ao consumo unitário do recurso  $j$  por categoria de espécie vegetal  $i$ .

$D_{2i}$ : demanda mínima por categoria de espécie vegetal  $i$ .

$D_i$ : demanda máxima por categoria de espécie vegetal  $i$ .

**c) Variáveis:**

$X_i$ : Quantidade por restrição de espécie vegetal.

$Z$ : Associada ao cálculo da função objetivo ou função utilidade.

**d) Equações (Função Utilidade):**

$V_j$ : Calcula o quanto a ser utilizado do recurso  $j$  por categoria de espécie vegetal  $i$ .

Restrição por espécie vegetal define a função objetivo, maximizando sua função utilidade

$(f(x) = [Max Z = \sum_i^n X_i])$ ; sujeito a:

$$f(x) = \begin{cases} \sum_i^n (R_{i,j} * X_i) \leq P_j, & \forall j \in J, i \in I \\ X_i \leq D_i, & \forall i \in I \\ X_i \geq D_{2i}, & \forall i \in I \\ X_i \in I+, & \forall i \in I \end{cases}$$

Para simulação e otimização deste modelo quantitativo temos que, primeiramente, resolver um problema de programação inteira. Portanto, resolveremos o mesmo por meio da otimização linear contínua assistido pelo *software GAMS* e, para tal, definiremos quantidades máximas e mínimas, em unidades monetárias/ano (R\$/ano), que cada restrição por espécie vegetal deveria possuir, maximizando a quantidade de espécie vegetal, da seguinte forma:

a) maxSA(i): máximo de Saber amazônico;

b) minSA(i): mínimo de Saber amazônico;

c) maxDC(i): máximo de Dificuldade de coleta;

d) minDC(i): mínimo de Dificuldade de coleta;

e) maxQS(i): máximo de Quantidade de sementes por quilograma;

f) minQS(i): mínimo de Quantidade de sementes por quilograma;

- g)  $\max DP(i)$ : máximo de Dificuldade processamento;
- h)  $\min DP(i)$ : mínimo de Dificuldade processamento;
  
- i)  $\max PT(i)$ : máximo de Palatável;
- j)  $\min PT(i)$ : mínimo de Palatável;
  
- k)  $\max AM(i)$ : máximo de Abundância de matrizes;
- l)  $\min AM(i)$ : mínimo de Abundância de matrizes;
  
- m)  $\max CA(i)$ : máximo de Capacidade armazenagem;
- n)  $\min CA(i)$ : mínimo de Capacidade armazenagem;
  
- o)  $\max FN(i)$ : máximo de Fenologia;
- p)  $\min FN(i)$ : mínimo de Fenologia;

Tabela 3 – Restrições por espécie vegetal que agrupam os cinquenta espécimes vegetais estudados.

Descrição da Restrição	Categoria	Intervalo de valoração							
		valor	peso	valor	peso	valor	peso	valor	peso
Saber Amazônico	X1	Muito conhecida	10	Conhecida e utilizada	20	Pouco conhecida	30	Não catalogada	40
Dificuldade de Coleta	X2	Grau 1		Grau 2		Grau 3		Grau 4	
Quantidade de Sementes / kg	X3	< 1.500		1.501 até 5.000		5001 até 20.000		> 20.000	
Dificuldade Processamento	X4	Grau 1		Grau 2		Grau 3		Grau 4	
Palatável (comestível ?)	X5	Grau 1		Grau 2		Grau 3		Grau 4	
Abundância de Matrizes (árvores produtoras)	X6	Muitas		Escassas		Raras		Ameaçada de extinção	
Capacidade Armazenagem	X7	Ortodoxa		Intermediária		Recalcitrante		Recalcitrante	
Fenologia (relativo à safra)	X8	Várias vezes / ano		Anual		Bianual		Anos alternados	

Fonte: Elaboração da pesquisadora do CSNAM, finalista de doutorado e coorientadora desta pesquisa Geise de Goes Canalez, 2015.

**Legenda:**

Grau 1 = baixo;

Grau 2 = médio / moderado;

Grau 3 = alto;

Grau 4 = dificuldade extrema;

Ortodoxa = Suporta grandes períodos de armazenagem;

Recalcitrante = Não suporta longa estocagem (germina facilmente);



### 4.3.2 Desenvolvimento do Simulador: Implementação em Java

Segue abaixo, descrito passo a passo, a implementação computacional do modelo conceitual. Tal implementação deu-se em Java, possibilitando a criação do arquivo de otimização do modelo linear dinâmico da atividade coleta de sementes nativas do CSNAM. Todo programa em Java passa por cinco fases que são: edição, compilação, carga, verificação e execução.

#### 4.3.2.1 Primeira fase: Edição

A edição é o processo de escrever seu código-fonte em um programa editor normalmente como o software Eclipse ou Netbeans, citando as mais conhecidas. Mas nada impede que você possa também escrever seus programas no bloco de notas do sistema operacional Windows, só que neste caso você terá que ter maior atenção principalmente com a sintaxe da linguagem que se tratando de Java é bem espartana pode-se dizer. Ao escrever seu código-fonte em um editor de sua preferência e depois de ter feito as devidas correções e de achar que não há mais nada para ser feito será preciso salvar o arquivo no disco rígido. Todo arquivo fonte de um programa Java precisa ser salvo com a extensão .java e deve ter o mesmo nome da classe.

#### 4.3.2.2 Segunda fase: Compilação

O programador deverá submeter seu código ao compilador do JDK (Java Development Kit) que via linha de comando é invocado pelo comando `javac` mais parâmetros. Para quem utiliza Windows 7 pode utilizar esse comando da seguinte forma "`javac -cp . XXX.java`".

Se não houver nenhum erro em seu programa o compilador irá gerar um arquivo com a extensão “.class” que é o arquivo que contém os bytecodes. Os bytecodes são instruções que são interpretadas pela máquina virtual. Esses bytecodes podem ser lidos ou interpretados por qualquer máquina virtual independentemente da plataforma: Windows, Linux ou Mac OS. Ou seja, seus bytecodes é portátil. Para visualizar os bytecodes do seu programa utilize o comando "javap -c XXX".

#### 4.3.2.3 Terceira fase: Carga

Nesta fase o programa precisa ser carregado na memória. A máquina virtual aloca espaço necessário para o arquivo “.class” que contém os bytecodes. Entra em cena o carregador de classe que é o encarregado dessa tarefa. O carregador então transfere os arquivos “.class” para a memória principal.

#### 4.3.2.4 Quarta fase: Verificação

Enquanto as classes são carregadas na memória principal o verificador de bytecode examina cada instrução para assegurar que não violem as restrições de segurança da linguagem Java. Nesta fase são verificadas instruções que sejam potencialmente perigosas ao sistema.

#### 4.3.2.5 Quinta fase: Execução

Na fase 5, a máquina virtual executa os bytecodes, ou melhor dizendo as instruções que estão contidas nele, ver segunda captura de tela acima em fase 2. A execução se dá pelo seguinte modo: A máquina virtual realiza uma execução combinando interpretação e compilação em tempo real. Nesse processo a *Java Virtual Machine* analisa cada instrução

conforme são interpretadas para identificar pontos no código que precisam ser otimizados, como por exemplo instruções que executam com frequência. Ao identificar esses pontos chamados “hot spots” o compilador *Java HotSpot* traduz esses trechos de instruções para linguagem de máquina nativa da plataforma onde esteja rodando o programa em Java. Desta forma ao ser executada novamente essas mesmas instruções a *Java Virtual Machine* substitui pelo código de máquina nativo para ganhar performance.

Portanto os programas Java passam por duas etapas de compilação – a primeira em que o código-fonte é traduzido para bytecodes e a segunda enquanto os bytecodes são interpretados para serem executados no computador onde procura-se otimizar trechos de código que são mais executados convertendo-os em linguagem de máquina nativa.

### 4.3.3 Modelo Computacional em GAMS

Segue abaixo a implementação computacional do algoritmo que realiza a otimização do modelo linear dinâmico da atividade coleta de sementes nativas do CSNAM.

Tabela 4 – Implementação computacional em GAMS do algoritmo que realiza a otimização do modelo linear dinâmico da atividade coleta de sementes nativas do CSNAM.

---

#### Sets

I Categoria / SA, DC, QS, DP, PT, AM, CA, FN /

J Recurso (custo) / AT, TR, BE, MQ, CB, PS, AL, SO, PA, TM, DA, MK, MO, RO / ;

**option** decimals=2, limrow=100, optcr=0.000;

#### Parameters

**P(J)** quantidade disponível de cada recurso (custo) J

/ AT 250000

TR 250000

BE 250000

MQ 250000

CB 250000

PS 250000

AL 250000

SO 250000

PA 250000

TM 250000

DA 250000

MK 250000

MO 250000

RO 5000000 /

---

**D(I)** impacto mínima de cada restrição por espécie vegetal I

/ SA 39  
 DC 53  
 QS 60  
 DP 100  
 PT 7  
 AM 40  
 CA 40  
 FN 3 /

**D2(I)** impacto máximo de cada restrição por espécie vegetal I

/ SA 3900  
 DC 5300  
 QS 6000  
 DP 10000  
 PT 700  
 AM 4000  
 CA 4000  
 FN 300 / ;

**TableR(J, I)** disponibilidade financeira de recurso (custo) j para cada restrição i

	SA	DC	QS	DP	PT	AM	CA	FN
AT	0.9	0.9	0.25	0.35	0.42	0.9	0.9	0.25
TR	43.37	32.81	66.12	88.78	1535.85	43.37	32.81	66.12
BE	4.07	3.08	3.16	68.26	10.99	4.07	3.08	3.16
MQ	70.83	53.59	45.25	276.01	57.34	70.83	53.59	45.25
CB	3.73	2.83	2.17	99.14	15.12	3.73	2.83	2.17
PS	10.35	7.83	6.59	0.94	0	10.35	7.83	6.59
AL	161.32	122.07	393.56	1239.1	261.18	161.32	122.07	393.56
SO	42.26	31.98	27.62	73.1	21.38	42.26	31.98	27.62
PA	16.69	12.63	10.64	1.52	0	16.69	12.63	10.64
TM	30.81	23.31	19.63	2.81	0	30.81	23.31	19.63
DA	34.14	25.83	19.83	214.86	78.97	34.14	25.83	19.83
MK	69.52	52.6	51.92	5.61	80.4	69.52	52.6	51.92
MO	42.60	32.23	28.87	316.79	114.95	42.60	32.23	28.87
RO	529.72	400.49	675.36	2386.92	2177.08	529.72	400.49	675.36 ;

**Variables****X(I)** Quantidade de restrição i por recurso j

**Z** Determinar o número ótimo - valor da restrição ;  
**integervariable X;**

**Equations****restricoes** define a equação associado ao cálculo da função utilidade ou objetivo**Alocacao(J)** define quanto a categoria I consome do Recurso (custo) J**baixa(i)** demanda no nível baixo de cada restrição I**alta(I)** demanda na alta de cada restrição I;restricoes..  $Z=e=\text{sum}((I), X(I));$ Alocacao(J)..  $\text{sum}((I), R(J,I)*X(I))=l=P(J);$ baixa(I)..  $x(I)=g=D(I);$ alta(I)..  $X(I)=l=D2(I);$ **model** sementes /all/**solve** sementes using MIQCP maxmizing Z;

---

**display Z.I, Z.LO, Z.UP, Z.M, X.I, Alocacao.m, Alocacao.I;**

---

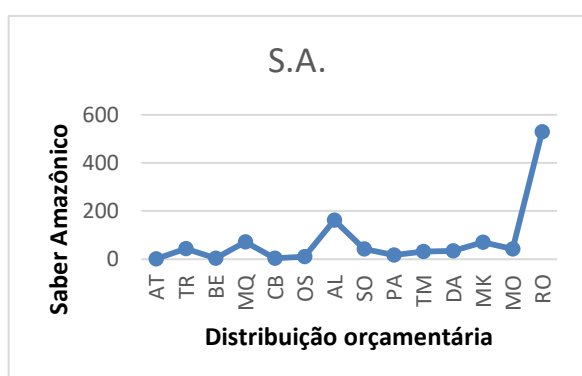
Fonte: Elaboração e implementação própria. Dados são hipotéticos, 2016.

#### 4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os seguintes gráficos e tabelas abaixo apresentam a complexidade do modelo de tomada de decisão atrelado a atividade de coleta de sementes nativas do CSNAM. Tal atividade é complexa e com um elevado número de variáveis expressivas, e a mesma considera múltiplos objetivos, demandando elevado esforço computacional para a aquisição de uma solução ótima; pois mostram a contribuição percentual para um cenário ao longo de um intervalo de tempo (safra). Exibem ainda, o percentual de contribuição de cada valor ao longo do intervalo de tempo.

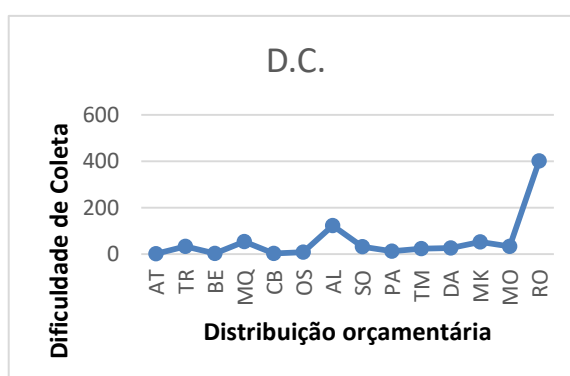
Tabela 5 – Restrições por espécie vegetal que aglutinam os 50 espécimes vegetais estudados e impactam no conjunto de variáveis que compõe a atividade de coleta de sementes nativas.

**Gráfico 1** – Comportamento da restrição Saber Amazônico (SA).



Fonte: Elaboração própria. 2016.

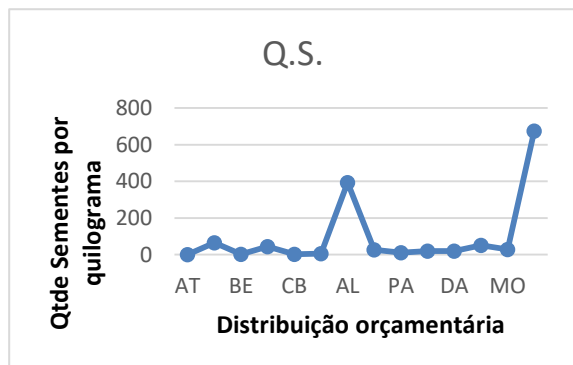
**Gráfico 2** – Comportamento da restrição Dificuldade de Coleta (DC).



Fonte: Elaboração própria. 2016.

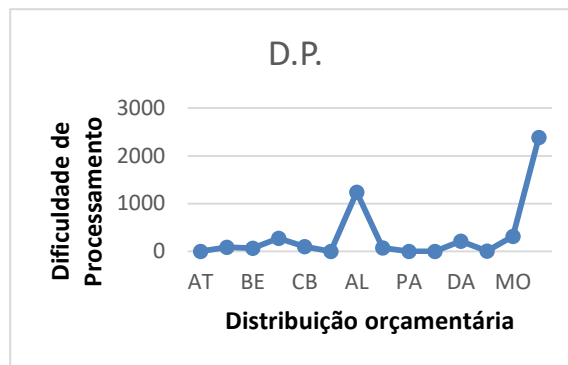
---

**Gráfico 3** – Comportamento da restrição Quantidade de Sementes por quilograma (QS).



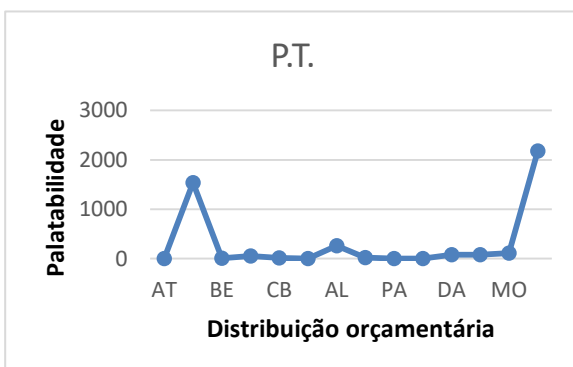
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 4** – Comportamento da restrição Dificuldade de Processamento (DP).



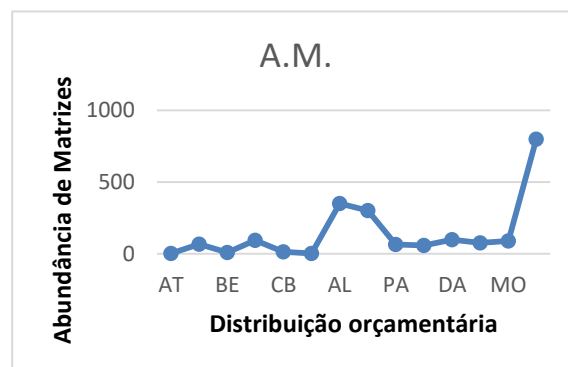
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 5** – Comportamento da restrição Palatabilidade [ser comestível] (PT).



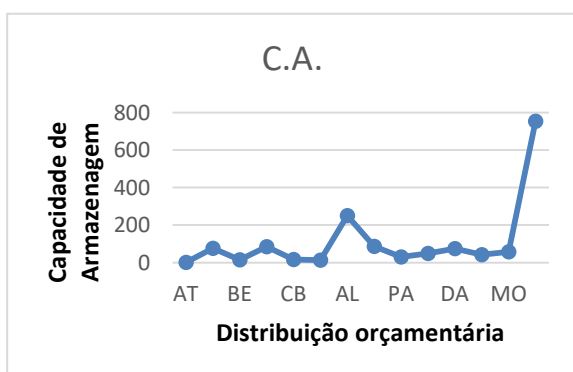
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 6** – Comportamento da restrição Abundância de matrizes [árvores produtoras](AM).



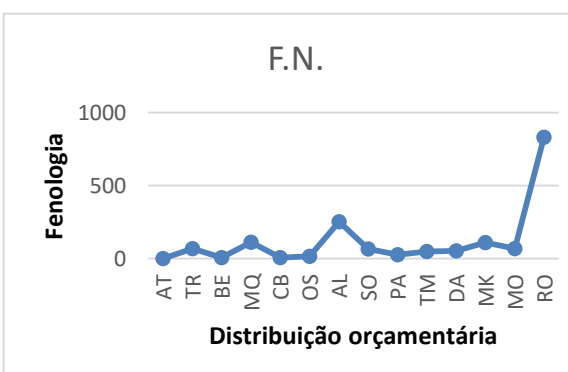
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 7** – Comportamento da restrição Capacidade de Armazenagem (CA).



Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 8** – Comportamento da restrição Fenologia (FN).

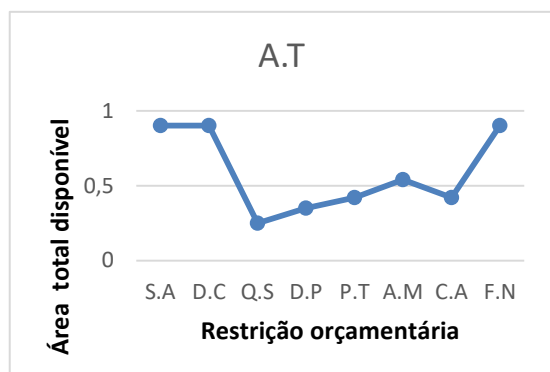


Fonte: Elaboração própria. 2016.

Fonte: Elaboração e implementação própria. Dados são hipotéticos (simulados) e advindos da TableR(J, I) - disponibilidade financeira de recurso (custo) j para cada restrição i na Tabela 5. 2016.

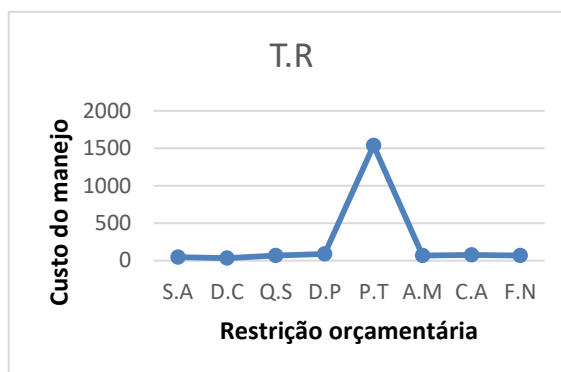
Tabela 6 – Comportamento da estrutura dos custos de coleta sobre as restrições por espécie vegetal que compõe a atividade de coleta de sementes nativas.

**Gráfico 9** – Área total disponível para a atividade de coleta de sementes – ha/ano (A.T.).



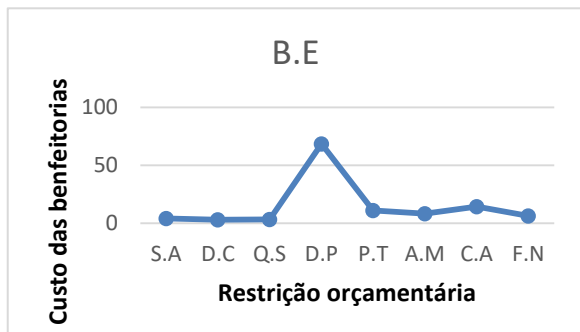
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 10** – Custo da área de terra demarcada para coleta – R\$/ano (T.R.).



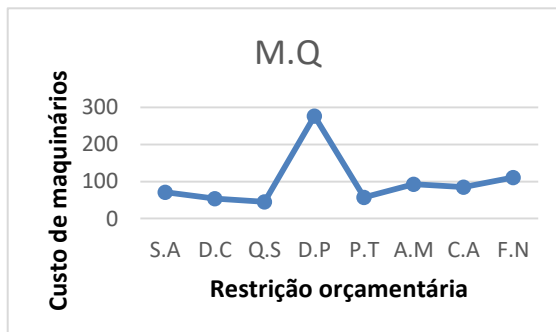
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 11** – Custo e despesas com benfeitorias – R\$/ano (B.E.).



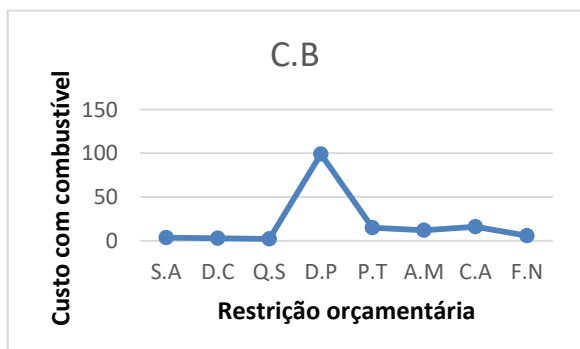
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 12** – Custo e despesas com máquinas e equipamentos – R\$/ano (M.Q.).

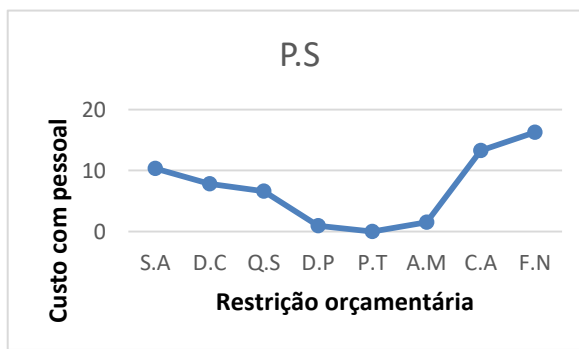


Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 13** – Custo e despesas com combustível – R\$/ano (C.B.).

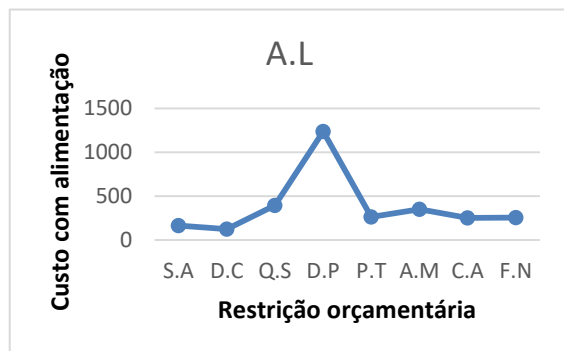


**Gráfico 14** – Custo e despesas com pessoal – R\$/ano (P.S.).



Fonte: Elaboração própria. 2016.

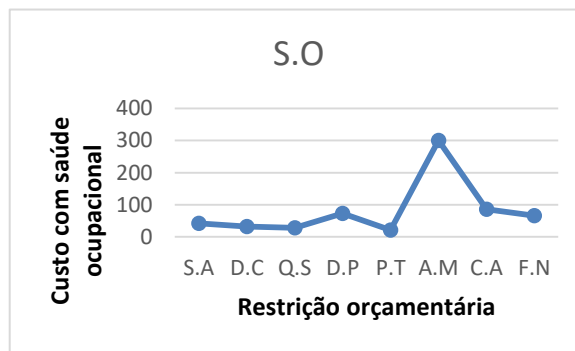
**Gráfico 15** – Custo e despesas com alimentação – R\$/ano (A.L.).



Fonte: Elaboração própria. 2016.

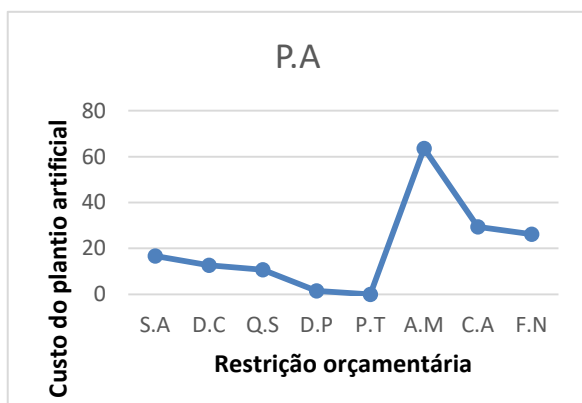
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 16** – Custo e despesas com saúde ocupacional – R\$/ano (S.O.).



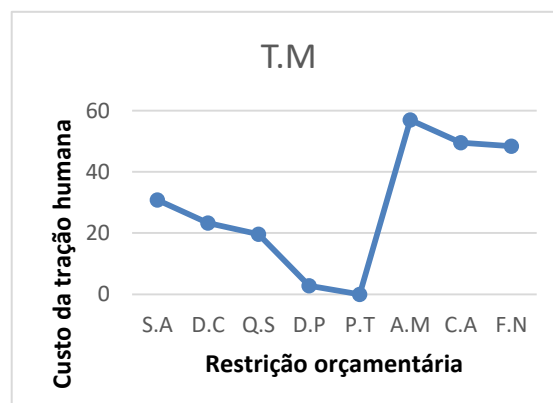
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 17** – Custo e despesas com plantio artificial das mudas – R\$/ano (P.A.).



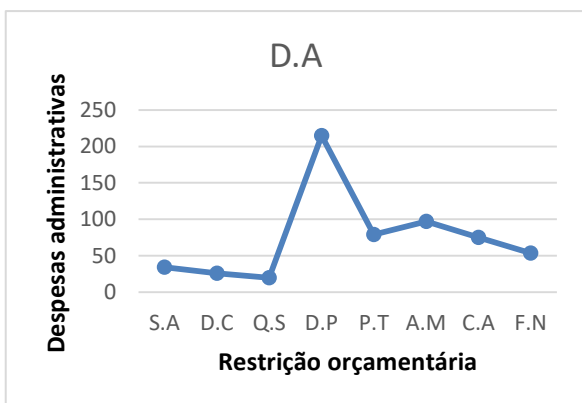
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 18** – Custo e despesas com tração humana – R\$/ano (T.M.).

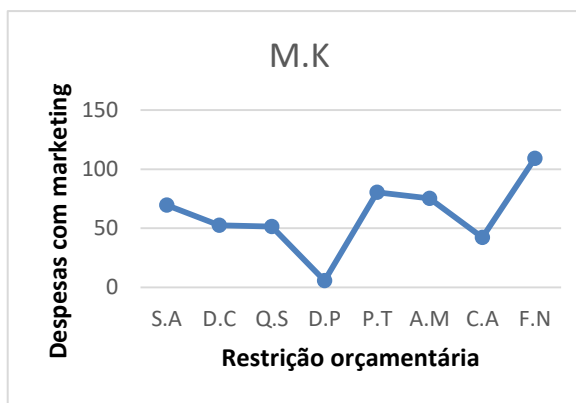


Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 19** – Gastos com despesas administrativas – R\$/ano (D.A.).



**Gráfico 20** – Gastos com marketing e propaganda – R\$/ano (M.K.).

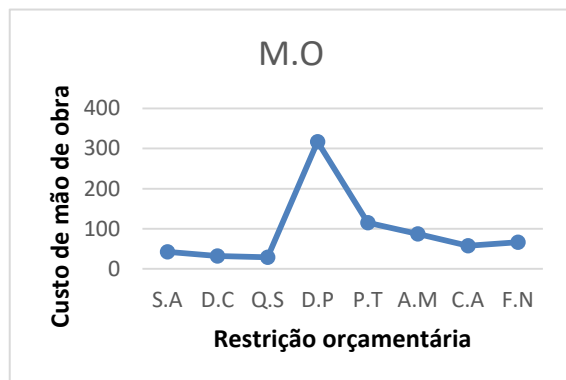


Fonte: Elaboração própria. 2016.



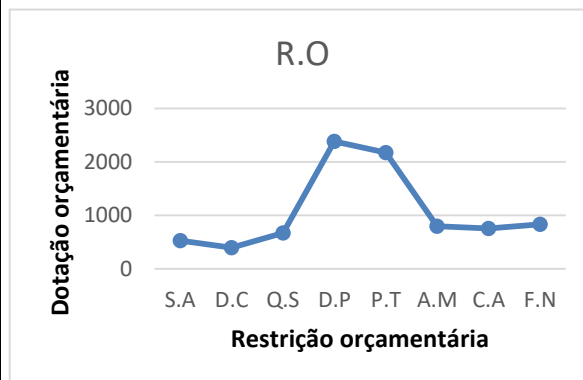
Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 21** – Custo e despesas com mão-de-obra – R\$/ano (M.O.).



Fonte: Elaboração própria. 2016.

**Gráfico 22** – Recurso orçamentário disponível – R\$/ano (R.O.).



Fonte: Elaboração própria. 2016.

Fonte: Elaboração e implementação própria. Dados são hipotéticos (simulados) e advindos da TableR(J, I) - disponibilidade financeira de recurso (custo) j para cada restrição i na Tabela 5, 2016.

Conforme tabela 7 abaixo, segue a complexidade do modelo computacional por variável e por restrição da espécie:

Tabela 7 – Complexidade do modelo computacional por variável e por restrição da espécie.

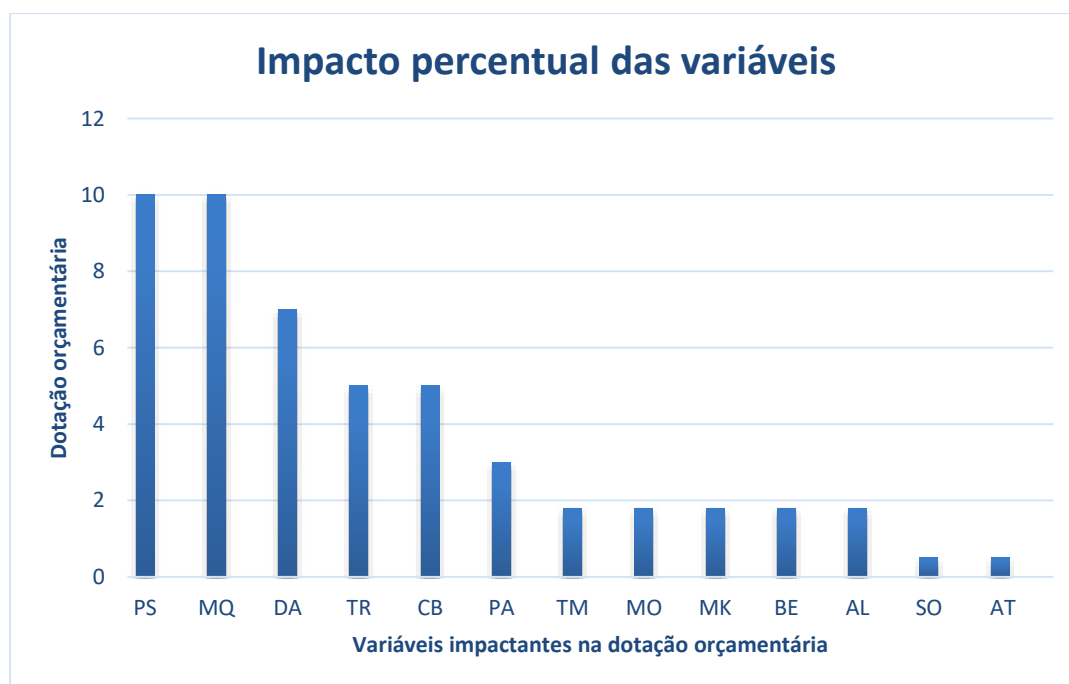
Variáveis que compõem o Custo de Coleta	Percentual de impacto (%)	Restrições por espécie vegetal que impactam na atividade de coleta: Impacto de realização orçamentária na atividade (%)							
		SA	DC	QS	DP	PT	AM	CA	FN
AT	0,5	50	2,50	10	2,5	2,5	20	2,5	10
TR	5,0								
BE	1,8								
MQ	10,0								
CB	5,0								
PS	10,0								
AL	1,8								
SO	0,5								
PA	3,0								
TM	1,8								

Variáveis que compõem o Custo de Coleta	Percentual de impacto ( % )	Restrições por espécie vegetal que impactam na atividade de coleta: Impacto de realização orçamentária na atividade (%)							
		SA	DC	QS	DP	PT	AM	CA	FN
DA	7,0								
MK	1,8								
MO	1,8								

Fonte: Elaboração própria. Dados coletados durante pesquisas no CSNAM, 2016.

Conforme gráfico 23 abaixo, segue o impacto percentual das variáveis na atividade de coleta de sementes:

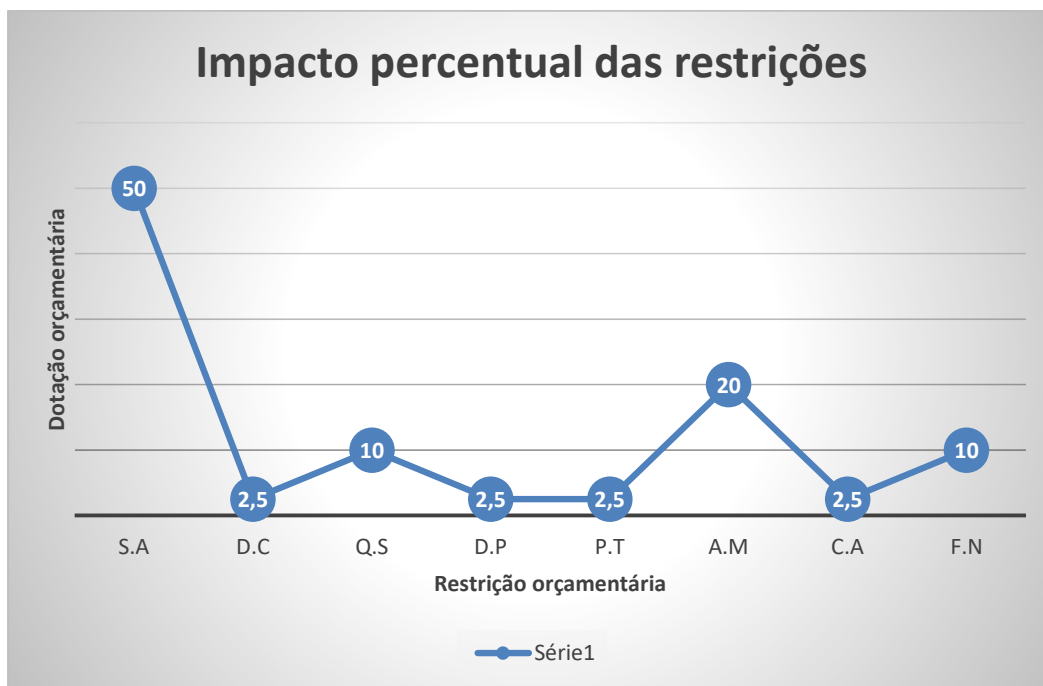
**Gráfico 23** – Impacto percentual das variáveis na atividade de coleta de sementes.



Fonte: Elaboração própria. Dados advindos da Tabela 8, 2016.

Conforme gráfico 24 abaixo, segue o impacto percentual das restrições na atividade de coleta de sementes:

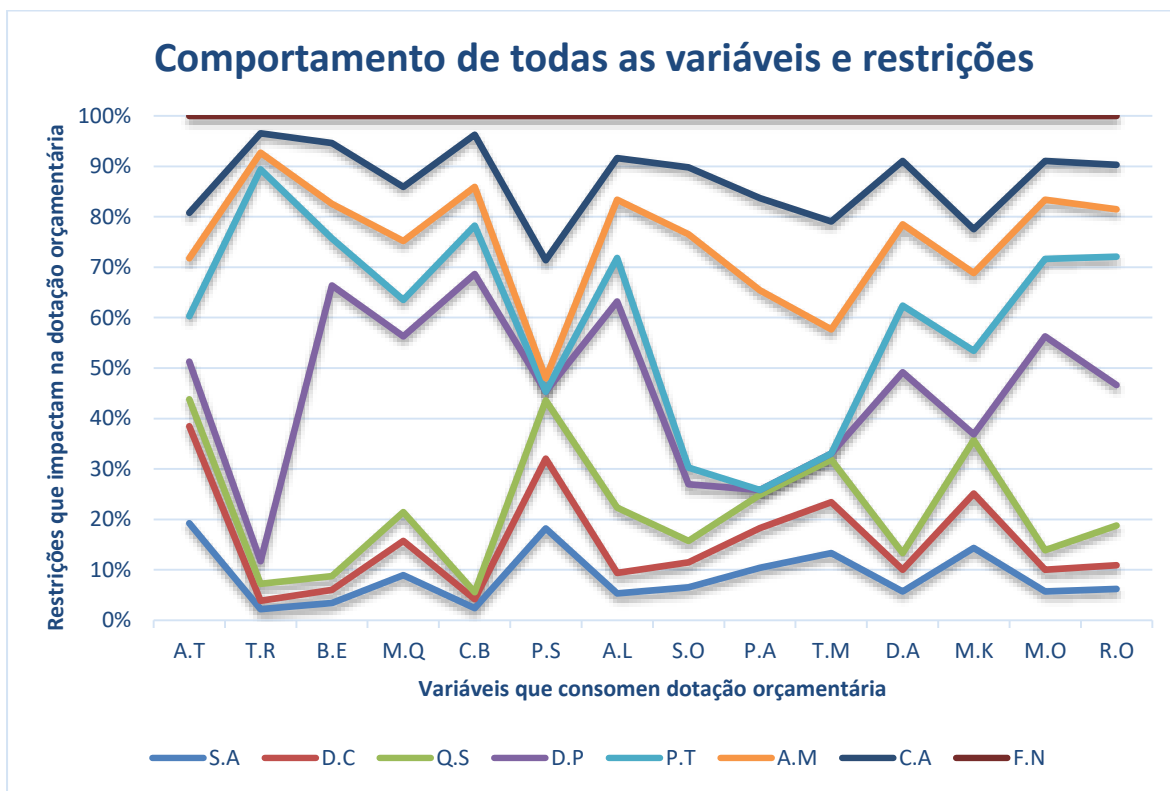
**Gráfico 24** – Impacto percentual das restrições na atividade de coleta de sementes.



Fonte: Elaboração própria. Dados advindos da Tabela 8, 2016.

Conforme gráfico 25 abaixo, segue o comportamento da todas as variáveis e restrições na atividade de coleta de sementes:

**Gráfico 25** – Comportamento da todas as variáveis e restrições na atividade de coleta de sementes.



Fonte: Elaboração própria. Dados simulados e advindos da TableR(J, I) - disponibilidade financeira de recurso (custo) j para cada restrição i na Tabela 5, 2016.

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, é possível assegurar que o CSNAM recebeu do modelo de simulação, uma contribuição respeitável para sua melhor gestão, a partir das indicações numéricas do simulador. Proporcionando clareza e credibilidade nas apreciações efetuadas e, desta forma, contemplando o mais perfeito entrosamento das variáveis intrínsecas ao problema estudado, aperfeiçoando ainda, os resultados das análises de gestão do CSNAM. Analogamente, deve-se dar destaque nessa pesquisa para o emprego do processo *Goal Programming* (GP), acima de tudo a função *Lexicographic Goal Programming*.

Além disto, o processo de simulação, GP, empregado na pesquisa possibilitou máximo intercâmbio entre a modelagem e os gestores, permitindo com isto, implantar coeficientes intangíveis (saber amazônico, entre outros) na composição algébrica da modelagem, tal como, apreciações dos gestores a respeito de quais funções utilidades carecem de ser levadas em consideração e, ao mesmo tempo, propondo-se a alcançar subsídios que permitam uma adequada tomada de decisão. Em concordância com Cohon (2004), a GP é uma extraordinária metodologia para ser empregada em todo processo de gestão. Nesta pesquisa, considera-se que seja conveniente valer-se da modelagem computacional para melhorar estes processos, uma vez que essa programação matemática torna menos rígido determinados recursos, comporta um julgamento bem mais analítico das atividades e/ou processos, como também as restrições cruciais, existentes em cada etapa considerada neste estudo (COHON, 2004).

Durante a efetivação dos resultados da pesquisa, identificou-se que dentre vários benefícios do emprego desta modelagem destacam-se os seguintes:

- a) Converter em usualidade as variáveis ressaltantes no processo de tomada de decisão, suprimindo ponderações subjetivas e/ou inacabadas;
- b) Categorizar as funções utilidades em seu grau correspondente;
- c) Retificar e simular em passo acelerado os desacertos de previsão e as estimações que estiveram instituídas ao tratar os dados de entrada;
- d) Máxima inclusão dos gestores com a atividade e com sua respectiva modelagem matemática computacional;
- e) Aperfeiçoar o método de tomada de decisão através de procedimentos de otimização e análise computacional dos inúmeros objetivos;

- f) Consentir uma interpretação ampla sobre a programação linear aplicada ao planejamento da produção para a atividade em estudo.

Conclui-se ainda, que os objetivos considerados na pesquisa foram respectivamente alcançados, levando em consideração que provaram que a modelagem matemático computacional evidencia sua aplicabilidade em problemas reais, de alta complexidade e ampla dimensão. Para tal, designou-se o cerne desta pesquisa que foi pulverizado em seus objetivos específicos:

- a. Assegurar a coerência das fases agrícolas e econômicas em uma singular modelagem matemático computacional para apoiar tomadas de decisão (gestão) de safra e entressafra para atividade de coleta de sementes nativas;
- b. Aperfeiçoar o processo de gestão de tomada de decisão por intermédio de programação matemática, decompondo e ponderando múltiplos objetivos, tanto agrícolas quanto econômicos.

É importante frisar que a pesquisa respondeu aos objetivos específicos, pois:

- a. Constatou-se que o *mix* de produção do CSNAM era aderente e originário da tabela 3 (Restrições por espécie vegetal que agrupam os cinquenta espécimes vegetais estudados);
- b. Sobre a formulação do modelo quantitativo, este é demonstrado no item 4.3.1 (Modelagem Conceitual); evidenciando conceitos matemáticos implícitos, pois os programas de computação são capazes de realizar cálculos em uma fração de segundo, o que manualmente levariam horas para o ser humano resolver.

Quanto aos benefícios entre a proposta originária do CSNAM, demonstrado no item 4.3.1 (Modelagem Conceitual) e a modelagem computacional, destacaram-se:

- a. Contribuição para o construto teórico sobre a utilização de métodos quantitativos dentro de um processo decisório, complementando o saber contido na tabela 3 (Restrições por espécie vegetal que agrupam os cinquenta espécimes vegetais estudados);
- b. As informações utilizadas pela administração do CSNAM abrangem diversos aspectos sobre questões relacionadas ao mix de produtos a serem fabricados e vendidos, ao processo de identificação das margens de contribuição das diversas atividades econômicas e ao controle do comportamento dos diversos elementos componentes dos custos;
- c. Na tomada de decisão, as informações sobre custos devem ser utilizadas como parâmetro, melhorando a precisão em sua apuração e controle da qualidade das decisões tomadas;

- d. A aplicação de um modelo de otimização sobre o comportamento dos custos de coleta, principalmente sobre as restrições da atividade em questão geram previsões sobre tais custos e tem-se informações sobre o comportamento das vendas futuras, bem como o comportamento anterior dos dispêndios envolvidos;
- e. A análise das diferenças encontradas entre os custos representados pelas variáveis e os custos das restrições é fundamental para que sejam identificados os grupos de sementes que causam as maiores diferenças entre os custos das variáveis e as restrições apuradas. O modelo proposto, através de sua configuração, incorpora a cada período as variações ocorridas entre os valores orçados e os valores apurados posteriormente.

E, por conseguinte, espera-se que o CSNAM use o objeto alcançado por essa pesquisa em sua gestão orçamentária futura e que possa agregar valor à sociedade, no contexto ambiental e ao negócio da Universidade Federal do Amazonas.

## 5.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

Ao término dos trabalhos desta pesquisa e, especialmente, na consumação do método de validação do modelo computacional gerado, faz-se plausível assegurar que esta modelagem computacional apresenta potencialidade para apoiar as decisões do planejamento de produção do CSNAM para a atividade em questão – coleta de sementes nativas, favorecendo de tal modo, celeridade, desenvoltura e credibilidade nas análises perpetradas. De tal modo, propicia um entendimento da abrangência das variáveis e restrições intrínsecas ao problema e uma melhoria nos processos de gestão. Vê-se sobressair diversos benefícios, tais como, a organização do planejamento da produção do CSNAM, trazendo consigo um melhor entendimento da atividade estudada.

## 5.2 PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos alicerçam investigações futuras tendo como princípio o aprimoramento da performance da modelagem computacional sugerida, otimizando suas variáveis e restrições. Posteriormente, mostrar-se um conjugado de propostas derivadas das diversas reuniões com os gestores no decorrer do procedimento de validação, e ao mesmo tempo, por deficiências de pesquisas peculiares em algumas etapas. O fundamental desígnio dessas propostas é de aperfeiçoar e apurar todo ajustamento da modelagem computacional a realidade da atividade de coleta de sementes nativas da Amazônia, a saber:

- a. Evoluir o simulador desenvolvido para um aplicativo móvel (APP);
- b. Redesenhar a modelagem proposta para considerar e acomodar o planejamento de safra e entressafra de cento e cinquenta tipos de espécimes vegetais distintos, incluindo diversas variáveis e restrições climáticas que, por serem demasiadamente complexas, ficaram de fora desta pesquisa (dados das chuvas e secas), tais como:
  - i. Armazenamento hídrico (mm);
  - ii. Déficit hídrico (mm);
  - iii. Excesso hídrico (mm);
  - iv. Evapotranspiração potencial (mm);
  - v. Evapotranspiração real (mm);
  - vi. Insolação total (horas);
  - vii. Chuva (dias);
  - viii. Chuva acumulada total (mm);
  - ix. Pressão atmosférica média (hPa);
  - x. Temperatura mínima média (°C);
  - xi. Temperatura máxima média (°C);
  - xii. Temperatura média compensada (°C);
  - xiii. Umidade relativa do ar média (%);
  - xiv. Nebulosidade;
  - xv. Desvio - temperatura mínima média mensal (°C);
  - xvi. Desvio - temperatura máxima média mensal (°C);
  - xvii. Desvio - chuva acumulada total mensal (mm);
  - xviii. Desvio - temperatura média compensada mensal (°C);



- c. Fazer uso de uma modelagem computacional não linear por objetivos (*Nonlinear goal programming*);
- d. Incorporar análise de incertezas com uso de restrição de chance (*chance constraint*) e otimização robusta.

Por fim, outro aspecto relevante se refere à confecção de relatórios periódicos sobre o comportamento dos custos das diversas atividades econômicas. Esta prática proporcionará análises temporais sobre sua evolução, possibilitará avaliações fundamentadas e mudanças eventuais, se for necessário. É imprescindível que se elabore e se implantem procedimentos específicos para a gestão de seus custos, facilitando o acompanhamento das alterações patrimoniais ocorridas. Isto somente ocorrerá quando os gestores destas empresas compreenderem a importância do entendimento dos custos envolvidos.

## REFERÊNCIAS

- ACKOFF, Russell; SASIENI, Maurice. Pesquisa operacional. Rio de Janeiro: USP, 1971.
- BASSANEZI, R. C. Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia. São Paulo: Contexto, 2002.
- BECCENERI, J. C.; YANASSE, H. H.; SOMA, N. Y. A method for solving the minimisation of the maximum number of open stacks problem within a cutting process. *Computers and Operations Research*, v. 31, n. 14, p. 2315-2332, 2006.
- BERTRAND, J.W.M. & FRANSOO, J.C. Modelling and simulations: operations management research methodologies using quantitative modelling. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, p.241-264, 2002.
- BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. Modelagem matemática no ensino. São Paulo: Contexto, 2003.
- BITTENCOURT, V.C.; CLARET, A.C.; CARMELLO, Q.A. de C.; CARVALHO, A.J.L. Produtividade da cana-de-açúcar e fertilidade do solo. STAB: açúcar, álcool e subprodutos, v.8, n.20, p. 41-45. Nov/dez. 1989.
- BREGALDA, Paulo Fábio; OLIVEIRA, Antonio A. F. de; BORNSTEIN, Cláudio T. Introdução à programação linear. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1988.
- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; RAMAN, R. GAMS-A user's guide Washington: GAMS Development Corporation 276p, 1998.
- BROOKE, A.; KENDRICK, D. & MEERAUS, A. GAMS: Sistema geral de modelagem algébrica. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.
- BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. Gestão de custos e formação de preços. São Paulo: Atlas, 2010.
- CHAVES, M. I. A. Modelagem Matemática: Elaboração de Atividades. I Encontro Regional das Sociedades. Dezembro de 2005. Belém – PA
- CAIXETA-FILHO, José Vicente. Pesquisa Operacional. São Paulo: Atlas, 2001.
- COHON, J.L. Multiobjective Programming and Planning. Dover Publications, 2004.
- CORRAR, Luis João; GARCIA, Editinete A. da Rocha. Programação linear: uma aplicação à contabilidade de custos no processo de tomada de decisão. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 7, 2001, León. Disponível em <http://www.intercostos.org/documentos/Trabajo066.pdf> acesso em 07/09/2015.
- CHWIF, L.; MEDINA, A.C. Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações. 2ª Edição. São Paulo, Editora dos Autores, 2007.

- FU, M.C. Optimization for simulation: Theory VS. Practice. Journal on Computing, vol. 14, n 3, 2002. Nutrição e Produção Animal. Pirassununga: Editora 5D, 2010.
- GAMS - General Algebraic Modeling System (2015). <<http://www.gams.com>>.
- GAMEIRO, A.H.; CAIXETA FILHO, J.V.; BARROS, C.S. Modelagem matemática para o planejamento, otimização e avaliação da produção agropecuária. In: Novos Desafios para a Pesquisa em FREITAS FILHO, P. J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em ARENA, 2ª ed. Florianópolis: Visualbooks, 2008.
- GUIMARÃES, V.P.; RODRIGUES, M.T.; SARMENTO, J.L.R.; ROCHA, D.T. Utilização de funções matemáticas no estudo da curva de lactação em caprinos. Revista Brasileira de Zootecnia, v.35, p.35-43, 2006.
- GOLDMEYER, D. B. Construção de uma Estrutura de Governança para o Uso Continuado de Modelos de Simulação Computacional por Intermédio do Processo de Pensamento da Teoria das Restrições. Dissertação de Mestrado. São Leopoldo-RS, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2012. Disponível em <http://biblioteca.asav.org.br/vinculos/000000/000000F2.pdf>. Acesso em 09/09/2015.
- GOLDSTEIN, R. Incompleteness: A proof and the paradox of Gödel. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.
- GULDMANN, J.M. e Wang, F. Optimizing the natural gas supply mix of local distribution utilities. European Journal of Operational Research v.112, p.598-612, 1999.
- HANKS, R.J.; RITCHIE, J.T. Modeling plants and soil systems. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, 1991. 387p. (Agronomy, 31).
- HARREL, C.R.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R. Simulation using Promodel. McGraw-Hill, 2000.
- HORNGREN, Charles T. Introdução à contabilidade gerencial. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1981.
- HILLER, F.S. & Lieberman, G.J. (2006). Introdução a pesquisa operacional. São paulo: 8ª Edição.  
Editora McGraw-Hill;
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 26-04-2010. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=2172](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=2172)>. Acesso em: 11-09-2015.
- JONES, C.A.; KINIRY, J.R. CERES-MAIZ Model: a simulation model of maize growth and development. Texas: A & M University Press, 1986. 194 p.

- LACHTERMACHER, Gerson. Pesquisa operacional na tomada de decisões. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- LAW, A.M.; KELTON, W. D. Simulation modeling and analysis, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 2000.
- LISBOA, Erico, Apostila de Pesquisa Operacional, 2002. Disponível em:  
<<http://www.ericolisboa.eng.br/cursos/apostilas/po/po.pdf>>  
Acesso em: 11-09-2015
- MARTINS, E. Contabilidade de Custos - Livro Texto. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MARTEL, A.; VIEIRA, D. R. Análise e projeto de redes logísticas. São Paulo: Saraiva, 2008.
- MATIOLI, C.S. Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o estado de São Paulo. Piracicaba, 1998. 122p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MEDEIROS, H. R.; GUIMARÃES, V. P.; HOLANDA JÚNIOR, E. V. The use of linear programming to evaluate the impact of credit for investments in small goat farms. Tropical and Subtropical Agroecosystems, v.11, p.7-11, 2009.
- MONTEVECHI, J.A.B.; COSTA, R.F. da S.; LEAL, F.; PINHO, A.F. de; MARINS, F.A.S. Combined use of modeling techniques for the development of the conceptual model in simulation. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, Miami, FL, USA, 2008.
- MONTEVECHI, J.A.B.; COSTA, R.F.S.; LEAL, F.; PINHO, A.F.; JESUS, J.T. Economic evaluation of the increase in production capacity of a high technology products manufacturing cell using discrete event simulation. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, Austin.
- NOSSA, Valcemiro; CHAGAS, José Ferreira. Usando programação linear na contabilidade decisória. Revista Custos y Gestion. Buenos Aires, n. 27, mar. 1998.
- OENNING, Vilmar et al. Teoria das restrições e programação linear. Uma análise sobre o enfoque de otimização da produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP. 24, 2004, Florianópolis. Disponível em:  
[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004\\_Enegep0101\\_1441.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0101_1441.pdf)  
Acesso em: 07/09/2015.
- PAIVA, F. C. Eficiência produtiva de programas de ensino de pós-graduação em engenharias: uma aplicação do método Análise Envoltória de Dados-DEA. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000, 79p. Dissertação de Mestrado.

- PENATTI, C.P. Uso do ácido fosfórico ou superfosfato triplo como fonte de fósforo para a cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba, 1991. 105p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- RAGSDALE, C. T. Spreadsheet Modeling and Decision Analysis. 2ª ed. Cincinnati, Ohio, South-Western College Publishing, 1998.
- RAVINDRAN, A., Phillips, D.T. & Solberg, J.J. (1987). Operations Research, Principles and Practice, 2nd Ed.. New York: John Wiley.
- ROCCO, C.D. e Morabito, R. Um modelo de otimização para o gerenciamento de insumos na operação de caldeiras industriais. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2009.
- SOBRAPO. Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional. Disponível em:  
<<http://www.sobrapo.org.br/sitesobrapo.htm>>  
Acesso em: Setembro/2015
- SCARPARI, M.S. Modelo para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (Saccharum spp) através de parâmetros climáticos. Piracicaba, 2002. 79p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- TAVARES L.V. et al (1996). Investigação operacional. Lisboa: Editora McGraw-Hill;
- TREFETHEN, F.N. (1954). “A History of Operations Research”, in Operations Research for Management, J.F. McCloskey & F.N. Trefethen (Eds.). Baltimore: Johns Hopkins Press.
- TRIVELATO, G. C. Técnicas De Modelagem E Simulação De Sistemas Dinâmicos. INPE. São José dos Campos. 2003.
- VACCARO, G. L. R.; RODRIGUES, L. H.; MENEZES, F. M. Um estudo da implantação de um otimizador de mix para o setor agropecuário. Gestão & Produção, 13, n. 2, p. 283-295, maio/ago. 2006.

# ANEXOS

## ANEXO A – Interface inicial do gerador de código para simulação com GAMS



**ANEXO B – Interface de input de dados (Variáveis) do gerador de código para simulação com GAMS**

Nova Simulação com GAMS

Simulações Gráficos

Matriz das Restrições por espécie vegetal que impactam na composição dos custos de coleta

(R\$)	SA (%)	DC (%)	QS (%)	DP (%)	PT (%)	AM (%)	CA (%)	FN (%)
AT	0	0	0	0	0	0	0	0
TR	0	0	0	0	0	0	0	0
BE	0	0	0	0	0	0	0	0
MQ	0	0	0	0	0	0	0	0
CB	0	0	0	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0	0	0
AL	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	0	0	0	0	0
TM	0	0	0	0	0	0	0	0
DA	0	0	0	0	0	0	0	0
MK	0	0	0	0	0	0	0	0
MO	0	0	0	0	0	0	0	0

Carregar Dados Simular Gerar Gráfico Cancelar



## ANEXO C – Interface de input de dados (Restrições) do gerador de código para simulação com GAMS

Restrição por Espécie Vegetal ( R\$ )
×

<p>Máx. Saber Amazônico (SA):</p> <p>Máx. Dificuldade de Coleta (DC):</p> <p>Máx. Qtde Sementes/Kg (QS):</p> <p>Máx. Dificuldade de Processamento (DP):</p> <p>Máx. Palatável (PT):</p> <p>Máx. Abundância de Matrizes (AM):</p> <p>Máx. Capacidade de Armazenagem (CA):</p> <p>Máx. Fenologia (FN):</p> <p><b>Recurso Orçamentário (RO):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Área Total (AT):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Benfeitorias (BE):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Combustível (CB):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Alimentação (AL):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Plantio Artificial (PA):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Despesas Administrativas (DA):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Mão-de-Obra (MO):</b></p>	<p>Min. Saber Amazônico (SA):</p> <p>Min. Dificuldade de Coleta (DC):</p> <p>Min. Qtde Sementes/Kg (QS):</p> <p>Min. Dificuldade de Processamento (DP):</p> <p>Min. Palatável (PT):</p> <p>Min. Abundância de Matrizes (AM):</p> <p>Min. Capacidade de Armazenagem (CA):</p> <p>Min. Fenologia (FN):</p> <p>Escolha o formato [R\$] ou [%]:</p> <p><b>RD – Custo c/ Terra Demarcada (TR):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Maq. e Equipamentos (MQ):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Pessoal (PS):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Saúde Ocupacional (SO):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Tração Humana (TM):</b></p> <p><b>RD – Custo c/ Marketing e Propaganda (MK):</b></p>
---	--

Dinheiro (R\$)
  Percentual (%)

Processar Simulação
Salvar Restrições em Disco
Ler Restrições do Disco
Cancelar