

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

ARNALDO ARAGÃO ANTUNES PEREIRA FILHO
ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE MIX DE COMPRA PARA UMA INDÚSTRIA
DE BENEFICIAMENTO DE CASTANHA DE CAJU UTILIZANDO
PROGRAMAÇÃO DE METAS

Fortaleza
2013

ARNALDO ARAGÃO ANTUNES PEREIRA FILHO

ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE MIX DE COMPRA PARA UMA INDÚSTRIA
DE BENEFICIAMENTO DE CASTANHA DE CAJU UTILIZANDO
PROGRAMAÇÃO DE METAS

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Engenharia de Produção Mecânica, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. João Victor Moccelin

Fortaleza

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- P489e Pereira Filho, Arnaldo Aragão Antunes.
 Elaboração de um modelo de mix de compra para uma indústria de beneficiamento de castanha de caju utilizando programação de metas. / Arnaldo Aragão Antunes Pereira Filho. – 2013.
 58 f.: il. enc.; 30 cm.
- Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Fortaleza, 2013.
 Orientação: Prof. Dr. João Victor Moccellin.
1. Pesquisa operacional. 2. Programação linear. 3. Programação de metas. 4. Castanha de caju. I.
 Título.

CDD 658.51

ARNALDO ARAGÃO ANTUNES PEREIRA FILHO

ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE MIX DE COMPRA PARA UMA INDÚSTRIA
DE BENEFICIAMENTO DE CASTANHA DE CAJU UTILIZANDO
PROGRAMAÇÃO DE METAS

Este Trabalho Final de Curso foi julgado adequado para
obtenção do título de **Bacharel em Engenharia de Produção**
Mecânica da Universidade Federal do Ceará.

Fortaleza, 20 de Dezembro de 2013

Prof. Dr. Heráclito Jaguaribe
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. João Victor Moccellin
Orientador

Prof. Ms. Anselmo Pitombeira
Avaliador

Prof. Dr. Rogério Teixeira Masih
Avaliador

“Tudo que existe é ao mesmo tempo certo e errado e, em ambos os casos, justificável.”

(Friedrich Nietzsche)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao acaso, por ter até hoje me proporcionado experiências incríveis de vida, dentre elas o ingresso e todo este tempo de aprendizado, dentro e fora de sala, na Universidade Federal do Ceará.

Gostaria de agradecer aos professores: Carlos Roberto (*in memoriam*), João Victor Moccellini, Ciro, Heráclito Jaguaribe, Anselmo Pitombeira, Maxweel Veras, Rogério Masih e Cristina Maria que contribuíram para minha formação como Engenheiro e como pessoa.

A minha família, Rebeca Nolêto e Ananda Nolêto, em especial aos meus pais, Arnaldo Aragão e Socorro Nolêto por me obrigarem a ficar na faculdade quando pensei em desistir, não estaria escrevendo hoje esses agradecimentos se não fossem eles.

Aos eternos amigos Diego Moreira, Pedro Carvalho e Rodrigo Barbosa, pelo apoio nas horas difíceis.

A Manoel Filho (Fei), Karla Bachiega, Octavio Memória, Miguel Dyna, Felipe Timbó e João Luís, amigos que fiz na faculdade e mantereí para a vida toda.

As empresas que me proporcionaram a oportunidade de executar, ou não, aquilo que aprendi durante o curso, em especial: Gomes de Matos Consultores Associados, Iracema Indústria e Comércio de Castanha de Caju, aos grupos de pesquisa SONAR e Nebraska Transportation Center

A empresa júnior do curso, Proativa Jr., um divisor de águas em minha formação.

Ao professor Jorge Soares, Dr. Jones e a amiga Karla Bachiega por me proporcionarem um experiência incrível de intercâmbio fora do país.

Aos colegas de profissão que tive o prazer de trabalhar durante esta caminhada: Antônio Carlos, Diego Barbosa, Gabriela Araújo, Maurício Sucupira, Linele Máximo, Juliana Monteiro, Hanna Pamplona, Nathanael Burret, Anuj Sharma, Walyson Soares, Raduán Melo, Petrus Petropouleas, Ronaldo Lage, Cyro Pessoa, Elisson Amaro, Germano Macêdo, Eduardo Gomes de Matos e Niel Hyde.

E, por fim, a Isabel Mello por tudo.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com objetivo de criar uma ferramenta matemática utilizando técnicas de pesquisa operacional para auxiliar a definição do mix de compra de matéria-prima em uma indústria de beneficiamento de Castanha de Caju. Para o alcance dos objetivos propostos foi desenvolvido um modelo de Programação de Metas com hierarquização utilizando os dados referente a castanhas de origem brasileira e africana, bem como as metas da empresa em estudo. Ao longo do trabalho é exposto o funcionamento de um indústria de beneficiamento de castanha de caju, mudanças recentes no cenário mundial deste mercado e as etapas do processo de compra, junto com suas dificuldades e desafios. Por ser um mercado volátil e dependente de inúmeras variáveis externas foram elaborados modelos para cinco possíveis cenários de compra desta *commodity*.

Palavras-chaves: Pesquisa Operacional, Programação de Metas, Castanha de Caju, Mix de compra

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Gráfico apenas com eixos cartesianos.....	21
FIGURA 2. Resolução gráfica PO com restrições.....	21
FIGURA 3. Resolução gráfica PO com restrições e função-objetivo.....	22
FIGURA 4. Anatomia da castanha de caju.....	27
FIGURA 5. Estrutura da castanha de caju.....	28
FIGURA 6. Etapas do processamento da castanha de caju.....	33
FIGURA 7. Classificação comercial da amêndoa de castanha de caju (inteiras e pedaços).....	36

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Produção de castanha de caju em mil toneladas	30
QUADRO 2. Dimensões das classificações de castanha de caju in natura	34
QUADRO 3. Período de safra por região do Brasil	37
QUADRO 4. Resumo dos modelos elaborados.....	48
QUADRO 5. Modelo de quadro-resumo de resultados de cada cenário	50
QUADRO 6. Resultados do modelo para cenário de safra normal	51
QUADRO 7. Resultados do modelo para cenário de compra apenas do Brasil	52
QUADRO 8. Resultados do modelo para cenário de quebra de safra no Brasil.....	53
QUADRO 9. Resultados do modelo para cenário de quebra de safra na África	54
QUADRO 10. Resultados do modelo para cenário de compra apenas do Brasil	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PO – Pesquisa Operacional

PL – Programação Linear

ACC – Amêndoa de Castanha de Caju

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	4
RESUMO	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE QUADROS	7
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	8
SUMÁRIO.....	9
1. Introdução.....	11
1.1 Contextualização	11
1.2 Justificativa	11
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo Geral.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 Metodologia	12
1.5 Estrutura do trabalho	12
2. Fundamentação teórica	14
2.1 Histórico.....	14
2.2 A Pesquisa Operacional	15
2.3 Etapas de um estudo de PO	16
2.4 Técnicas de Pesquisa Operacional.....	17
2.5 Programação Linear.....	17
2.5.1 Características de Programação Linear	18
2.5.2 Propriedades do modelo de Programação Linear	19
2.5.3 Modelo genérico.....	20
2.5.4 Resolução gráfica.....	20
2.5.5 O Método Simplex	22
2.6 Programação de Metas	23
2.6.1 Características da Programação de Metas	24
2.6.2 Formalização de um modelo de Programação de Metas	25
2.6.3 Formulação matemática de um modelo de Programação de Metas.....	25
3. A Castanha de Caju	27
3.1 Amêndoa	28

3.2 Película.....	28
3.3 Casca.....	28
3.4 Líquido da Castanha de Caju (LCC)	29
3.5 O mercado da Castanha de Caju	29
4. A empresa	32
4.1 História da IRACEMA	32
4.2 Evolução do processo produtivo	32
4.3 Etapas do processo.....	33
5. O processo de compra de Castanha de Caju.....	36
5.1 Compra de castanha no Brasil	36
5.2 Compra de castanha na África	38
5.3 O problema	39
6. Método proposto.....	40
6.1 Características analisadas.....	40
6.1.1 Especificações de qualidade	40
6.1.2 Custo de compra de matéria-prima.....	41
6.1.3 Subprodutos do processamento	41
6.2 Variáveis de decisão	42
6.3 Consulta de dados	43
6.4 Metas.....	43
6.5 Formulação do modelo.....	44
6.6 Definição dos cenários.....	45
6.7 Definição de prioridade das metas.....	46
6.8 Resumo dos modelos	47
6.9 Cálculo através do software LINDO	49
6.10 Análise dos resultados.....	49
6.10.1 Resultados cenário safra normal	50
6.10.2 Resultados comprando apenas do Brasil.....	51
6.10.3 Resultados com quebra de safra no Brasil	52
6.10.4 Resultados com quebra de safra no África	54
6.10.5 Resultados comprando apenas da África	54
7. Conclusão	56
8. Referências.....	58

INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

No atual cenário de competitividade e globalização dos mercados de *commodities*, a diferenciação em relação aos concorrentes e a busca por menores custos torna-se uma constante no dia-a-dia das empresas inseridas neste cenário.

No caso de empresas de beneficiamento de castanha de caju o custo pela compra de matéria-prima representa cerca de oitenta por cento do custo total de produção e como preço de compra é definido, em grande parte, por variáveis externas a empresa, como o mercado e a safra, resta a organização definir a melhor forma de executar essa compra, evitando erros no processo. O quanto comprar, quando comprar e de qual origem comprar são pontos que são constantemente analisados por profissionais dessas organizações.

Em um mercado onde a disponibilidade de matéria-prima pode ser reduzida pela metade de um ano para o outro e o preço de venda do produto final varia em cem por cento dentro de seis meses (CONAB, 2013), a definição de ferramentas de auxílio a decisão com resposta rápida e eficaz torna-se imprescindível para a empresa que deseja manter-se competitiva.

1.2. Justificativa

Este trabalho apresentará uma contextualização das variáveis que afetam o funcionamento de uma indústria de beneficiamento de castanha de caju no que diz respeito ao processo de compra de matéria-prima. A execução de uma compra feita de forma racional e analisando todos os dados é o primeiro passo para bons resultados financeiros e aumento da competitividade.

Será elaborado um modelo de programação de metas que levando em considerações condições do mercado e características das castanhas de diferentes regiões definirá o mix de compra que conseguirá aproximar-se mais das metas de desempenho definidas pela organização.

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo geral

- Realizar um estudo para definição de um modelo matemático para auxílio na tomada de decisão de compra de Castanha de Caju;

1.3.2. Objetivos específicos

- Elaborar um modelo de Programação de Metas para definição do mix ótimo de compra de Castanha de Caju.
- Definir o mix ideal de compra de matéria-prima para diferentes cenários de mercado;

1.4. Metodologia

O trabalho desenvolvido é um estudo de caso aplicado a indústria de beneficiamento de castanha de caju. O primeiro passo é o levantamento de dados referente a origem de compra das castanha, as características referentes a cada origem, o custo de aquisição desses produtos e as principais metas da empresa que são diretamente afetadas por esse processo.

Em seguida foi elaborado o modelo matemático contendo as características mais relevantes, os tipos de castanha com maior representatividade nos últimos anos da empresa e as metas definidas pelo corpo de gestão.

Por fim os resultados do modelo para diferentes cenários são apresentados e discutidos.

1.5. Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo do trabalho apresenta as definições gerais para pesquisa operacional, programação linear e pesquisa operacional, métodos utilizados para o desenvolvimento do modelo matemático.

O segundo apresenta dados e informações sobre a castanha de caju, suas origens e relevâncias, explica também algumas características do cenário mundial deste produto.

O terceiro capítulo apresenta a empresa estudada, sua história e as etapas de processamento da castanha de caju através do método de corte mecanizado.

O quarto especifica como ocorre o processo de compra de castanha de caju, quais pontos analisados e quais decisões tomadas tanto na compra de matéria-prima de origem brasileira quanto da africana.

O quinto apresenta o modelo formulado, os cenários que foram definidos para o estudo e os resultados gerados pelo modelo para cada situação

O sexto capítulo aborda as conclusões do trabalho, levando em consideração o modelo desenvolvido e a comparação dos resultados obtidos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Histórico

A Pesquisa Operacional é uma ciência que, como tantas outras, teve seu início através da guerra, mais precisamente na Segunda Guerra Mundial. De acordo com TAHA (2008), as primeiras aplicações de PO (Pesquisa Operacional) deram-se quando cientistas britânicos decidiram tomar decisões sobre como utilizar material de guerra através de bases científicas.

Já de acordo com HILLIER (2006), a busca por aumento de produtividade na utilização de recursos na primeira Revolução Industrial, e o início da divisão do trabalho foram ações que já mostravam a sociedade em busca de soluções melhores para os problemas que envolviam recursos escassos. Essa necessidade foi a demanda necessária para o desenvolvimento da Pesquisa Operacional. “As origens da PO podem ser remontadas muitas décadas atrás quando foram feitas tentativas iniciais no emprego de uma abordagem científica na gestão das organizações.” HILLIER (2006)

Para complementar, HILLIER (2006) também afirma que o termo Pesquisa Operacional e o início de estudos específicos nessa área datam do início da Segunda Guerra Mundial, com grupo de cientistas, tanto do exército britânico como americano, sendo criados para realizarem *pesquisas sobre operações*, com o enfoque de melhorar a alocação de recursos escassos nas ações de guerra.

Ao fim da guerra, os conhecimentos desenvolvidos na Pesquisa Operacional continuaram sendo aproveitadas. “(...) as ideias propostas para operações militares foram adaptadas para melhorar a eficiência e a produtividade no setor civil.” TAHA (2008). De acordo com HILLIER (2006), dois fatores foram de primordial importância para o rápido crescimento da PO, são eles:

- a) O progresso substancial feito em técnicas de PO após o fim da guerra, pois os cientistas continuaram seus trabalhos no desenvolvimento da ciência, e sua aplicabilidade despertou o interesse de tantos outros cientistas; e

- b) A revolução computacional da época, já que muito dos problemas de PO exigem uma complexidade de cálculos para a resolução das equações, e sua resolução a mão seria uma hipótese impraticável.

HILLIER (2006) ainda cita o aparecimento dos computadores pessoais na década de oitenta como outro grande impulso para o desenvolvimento da Pesquisa Operacional, já que agora milhares de pessoas possuíam a ferramenta necessária para elaborar e resolver problemas de PO e, conseqüentemente, desenvolver e disseminar essa ciência.

2.2. A Pesquisa Operacional

Nos livros clássicos de Pesquisa Operacional é difícil encontrar uma definição específica, já que os autores procuram explicar a PO através de suas características, etapas de desenvolvimento de um estudo e exemplo. MARINS (2011) resume assim a definição de PO:

“A PO é uma ciência aplicada que utiliza técnicas científicas conhecidas (ou as desenvolve quando necessário), tendo como ponto de referência a aplicação do método científico. A PO tem a ver, portanto, com a pesquisa científica criativa em aspectos fundamentais das operações de uma organização.” (MARINS, 2011, p. 13).

De acordo com HILLIER (2006), as principais características da PO são, a abordagem a processos e operações que acontecem em diferentes áreas do conhecimento humano; a utilização do método científico na busca de soluções para os problemas, tendo como principal ferramenta a matemática; a utilização de modelos para representar a realidade sem perder as suas características e, por fim, a busca por uma solução ótima para o problema em estudo.

“Embora os modelos de PO sejam elaborados para otimizar um critério objetivo específico sujeito a um conjunto de restrições, a qualidade da solução resultante depende de quanto o modelo representa o sistema real.” (TAHA, 2008, p. 2).

2.3. Etapas de um Estudo de PO

Como toda ciência, a Pesquisa Operacional baseia-se na aplicação de um método científico para o seu desenvolvimento. Este método pode ser descrito em alguns passos genéricos, que podem ter complexidade e duração variável de acordo com cada caso. “É difícil prescrever cursos de ação específicos (semelhantes aos determinados pela teoria exata de modelos matemáticos) para esses fatores intangíveis. Entretanto, podemos oferecer diretrizes gerais para implementação de PO na prática” TAHA (2008).

A definição das etapas de um estudo de PO, apesar de possuir pequenas divergências entre autores, segue uma linha única de raciocínio, que pode ser resumida pelas etapas descritas por HILLIER (2006), que são elas:

- a) Definir o problema de interesse e coletar dados;
- b) Formular um modelo matemático para representar o problema;
- c) Desenvolver um procedimento computacional a fim de derivar soluções para o problema a partir do modelo;
- d) Testar o modelo e aprimorá-lo conforme necessário;
- e) Preparar-se para a aplicação contínua do modelo conforme prescrito pela gerência; e
- f) Implementar.

Essas etapas são subsequentes, mas no decorrer do estudo pode haver a necessidade de voltar a etapas anteriores, seja para reformular algum erro não visto anteriormente, ou modificar parâmetros do problema devido a novas descobertas ou mudanças de cenário.

2.4. Técnicas de Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional possui diversas técnicas que podem ser aplicadas a cada problema de acordo com as características destes e a modelagem utilizada. De acordo com TAHA (2008), as principais técnicas de PO são:

- a) Programação linear – aplicado a situações onde a função objetivo e restrições são equações lineares;
- b) Programação inteira – as variáveis do problema em questão assumem apenas valores inteiros;
- c) Programação dinâmica – o problema original pode ser dividido em problemas mais fáceis e resolvidos em sequência;
- d) Otimização em redes – o problema é modelado em um sistema de redes com interligações entre as variáveis;
- e) Programação não-linear – ocorre da mesma forma que a programação linear, porém com funções não lineares.

Independente da técnica, a maioria dos problemas de PO são resolvidos com a utilização de algoritmos, que através de iterações encontram as soluções ótimas para cada problema.

2.5. Programação Linear

De acordo com HILLIER (2006), “o desenvolvimento da programação linear tem sido classificado entre os mais importantes avanços científicos dos meados do século XX”. A programação linear é uma ferramenta de PO utilizada em problemas em que as variáveis formam funções lineares, e a palavra programação, ainda segundo HILLIER (2006), advém da utilização de programas computacionais para resolução dos modelos.

2.5.1. Características da Programação Linear

Sobre os modelos de PL, TAHA (2008), nos diz que, “o modelo de PL, como qualquer modelo de PO, tem três componentes básicas:

- a) Variáveis de decisão que procuramos determinar;
- b) Objetivo (meta) que precisamos otimizar (maximizar ou minimizar);
- c) Restrições que a solução deve satisfazer.”

A determinação desses três componentes é de fundamental importância para elaboração de um modelo que consiga traduzir fielmente a realidade e propiciar soluções úteis a quem o está utilizando.

Para uma melhor identificação e elaboração desses três componentes básicos do modelo, MARINS (2011) cita algumas orientações. Para identificar as variáveis de decisão deve-se perguntar quais “itens” do problema o decisor tem autoridade para escolher sua quantidade ou valor e deve-se ter bastante atenção em relação a unidade de cada variável, para que não sejam combinadas variáveis com unidades diferentes.

O Objetivo, ou a função-objetivo é sempre o maior foco do problema de PL, é aquilo que queremos maximizar ou minimizar, geralmente podendo ser expresso em valor monetário (lucro, retorno sobre investimento, prejuízo).

Já as restrições são formadas pelas variáveis que representam o que será necessário, ou utilizado, na obtenção dos resultados da função objetivo. Exemplo mais utilizados são dinheiro, quantidade de empregados, horas, etc. Sem as restrições o valor da função objetivo seria o máximo possível, ou infinito. Deve-se assegurar sempre que na função de restrição o lado esquerdo da função possua apenas as variáveis e do lado direito apenas as constantes, e que ambos estejam na mesma unidade.

De acordo com LACHTERMACHER (2009), em um modelo de Programação Linear, solução é “qualquer especificação de valores, dentro do domínio da função-objetivo, $f(X)$, para as variáveis de decisão, independentemente de se tratar de uma escolha desejável ou permissível.” E uma solução, ainda segundo o autor, pode ser classificada em dois tipos:

- a) Solução viável: uma solução em que todas as restrições são satisfeitas.

- b) Solução ótima: uma solução viável que tem o valor mais favorável da função-objetivo, $f(X)$, isto é, maximiza ou minimiza a função-objetivo, podendo ser única ou não.

2.5.2. Propriedades do Modelo de Programação Linear

Todos os modelos de PL seguem algumas propriedades, ou hipóteses, que devem ser respeitadas para a formulação correta do modelo. O conhecimento dessas propriedades auxiliam também na identificação de problemas que possam ser resolvidos, ou não, através de Programação Linear. De acordo com HILLIER (2006), são elas:

- a) Proporcionalidade: A contribuição de cada variável (x) a função objetivo ou a restrição é proporcional ao valor da constante (c) que está multiplicando esta variável, $c_i x_j$. Com isso fica fora de escopo a utilização de qualquer expoente diferente de um para as variáveis do problema;
- b) Adição: Cada função em um modelo de programação linear é resultado da soma das contribuições individuais de cada atividade, com isso não pode existir no problema relação de multiplicação entre variáveis;
- c) Divisibilidade: Todas as variáveis de decisão em um problema de Programação Linear podem assumir valores não-inteiros, ou seja, valores fracionados;
- d) Certeza: Todos os valores dos parâmetros do modelo, tanto da função objetivo quanto das restrições, são constantes com valores conhecidos.

2.5.3. Modelo genérico

Os problemas de programação linear seguem um modelo genérico, contendo a função objetivo, as restrições do problema e as equações de não-negatividade, sendo representado da seguinte forma:

$$\text{a) } \quad \textit{Maximizar } Z = \sum c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

Sujeito a

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \geq 0$$

$$\text{b) } \quad \textit{Minimizar } Z = \sum c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

Sujeito a

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \geq 0$$

Onde “x” representa as variáveis de decisão, “a” e “c” as constantes e “b” as restrições do problema.

2.5.4. Resolução gráfica

Uma forma simples de entender a resolução de problemas de Programação Linear é através de uma resolução gráfica do problema. Uma limitação deste formato é que para cada variável de decisão do problema deve ser utilizado um eixo cartesiano, e para representação gráfica, estamos limitado a três dimensões.

Utilizando como exemplo um problema de maximização com duas variáveis de decisão (x_1 e x_2), podemos verificar inicialmente o gráfico:

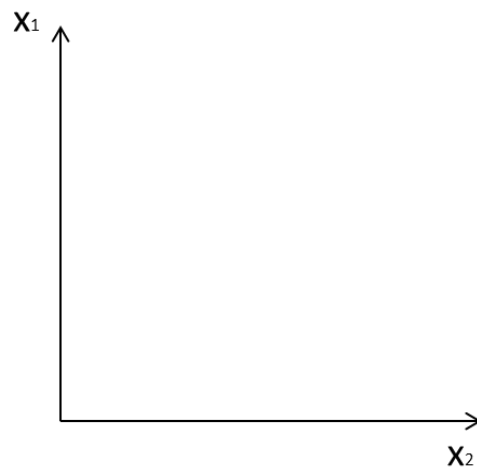


Figura 1 – Gráfico apenas com eixos cartesianos
Fonte: elaborado pelo autor

Em seguida desenha-se as retas que representem as equações de restrição, dessa forma fica definido no gráfico a área de soluções viáveis e a de soluções inviáveis, como pode ser visto na figura abaixo:

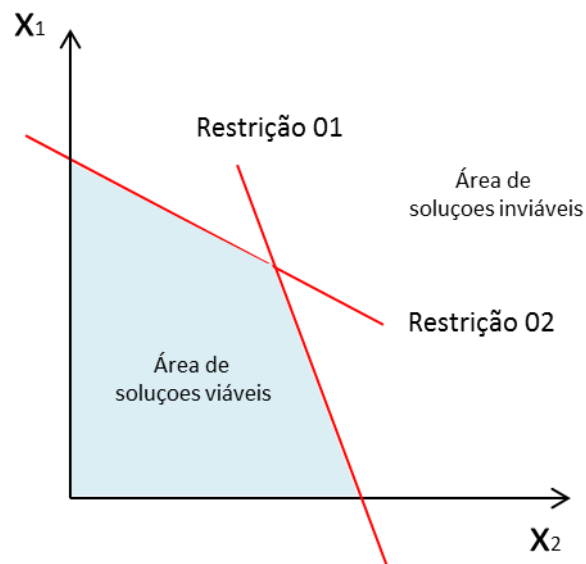


Figura 2 – Resolução gráfica PO com restrições
Fonte: elaborado pelo autor

A função-objetivo possui resultados que passam por toda a área de soluções viáveis, porém como existe apenas uma solução ótima, esta sempre estará em um dos extremos da área de soluções viáveis, sendo representando por apenas um ponto.

Nesse exemplo, temos o ponto representado pelas coordenadas X_{1i} e X_{2i} como a solução ótima do problema, que está sobre uma das retas da função objetivo, dentro da área de soluções viáveis – atendendo as restrições – e no extremo da mesma, sendo uma única solução ótima.

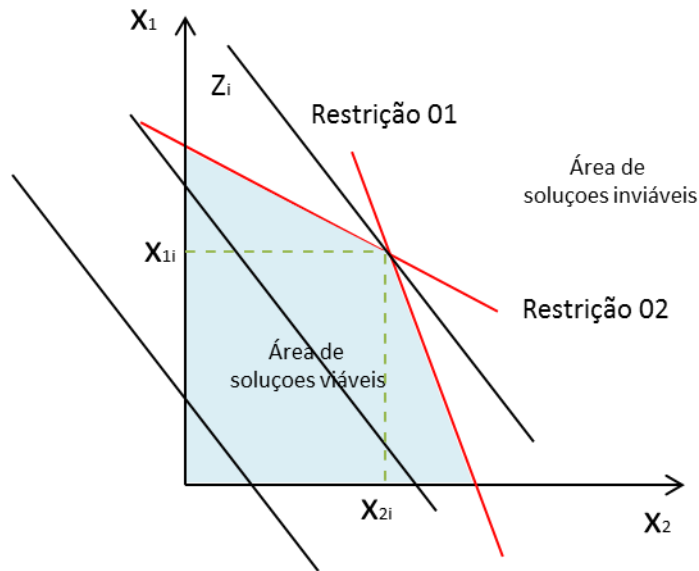


Figura 3 – Resolução gráfica PO com restrições e função -objetivo
Fonte: elaborado pelo autor

As retas paralelas representam diferentes valores para a função Z , neste caso como é um problema de maximização, o valor de Z é aumentado de acordo com a “subida” da reta até encontrar-se no extremo direito da figura, ou a solução ótima, como já explicado.

2.5.5. O Método Simplex

Como mostrado anteriormente, a resolução gráfica de problemas de programação linear, limita-se a problemas até três dimensões. Para resolução de problemas mais elaborados e com uma maior quantidade de variáveis de decisão e restrições utiliza-se o Método Simplex. Este método foi elaborado por George Dantzig em 1947 e, de acordo com HILLIER (2006), provou ser extremamente

eficiente para resolução de problemas complexos de Programação Linear através da utilização de softwares específicos.

“O Metodo Simplex e um procedimento iterativo que fornece a solução de qualquer modelo de PL em um número finito de iteracoes. Indica, tambem, se o modelo tem solução ilimitada, se nao tem solução, ou se possui infinitas soluções.” (MARINS, 2011, p. 56).

De acordo com HILLIER (2006), o algoritmo do método simplex consiste em três passos: a inicialização, onde escolhe-se os valores para uma solução inicial do problema; em seguida realizar um teste de otimalidade, onde verifica-se se a solução encontrada é a solução ótima do problema em questão. Caso seja, o algoritmo para e indica esta como solução ótima, caso contrário deve-se executar uma nova iteração para encontrar novos valores para solução do problema e repetir os passos anteriores.

2.6. Programação de Metas

Uma das premissas básicas de um modelo de Programação Linear é a existência de um único objetivo (ou meta) no problema, seja ele de maximização ou minimização. Porém sabemos que nos casos práticos as organizações possuem, muitas vezes, mais de um objetivo a ser atingido, sendo estes conflitantes.

De acordo com HILLIER (2006), estudos feitos nos EUA mostram que a maioria das empresas focam em uma gama de diferentes objetivos, dentre eles, aumentar o lucro, aumentar a participação no mercado, reduzir custos, diversificar produtos, melhorar a satisfação do colaboradores, etc.

Outro ponto que foge do escopo de Programação Linear é quando as restrições, no caso real, não são tão rígidas quanto aparece no modelo matemático, em muitos casos exceder, ou faltar, um pouco a restrição pode ser um *trade-off* aceitável para a organização e até trazer um melhor resultado do que a solução ótima proposta pelo modelo.

2.6.1. Características da Programação de Metas

A utilização da Programação de Metas faz com que possam ser incorporadas as características citadas anteriormente na resolução de problemas de Pesquisa Operacional, podendo encontrar soluções ótimas para situações com mais de um objetivo e com restrições que não sejam rígidas.

“O que a programação de metas faz é buscar uma solução de compromisso baseada na importância relativa de cada objetivo.” (TAHA, 2008, p. 149).

Ainda de acordo com TAHA (2008), existem dois métodos básicos para resolução de problemas de Programação de Metas, são eles:

- a) Método de pesos: neste caso existe a formação de uma única função objetivo no modelo, e esta consiste da soma ponderada dos objetivos do problema;
- b) Método hierárquico: onde otimiza-se uma meta por vez, iniciando da meta com maior prioridade até a de menor prioridade, sem que, durante a resolução, a meta anterior seja violada.

Existe ainda um pouco de divergência entre autores para a denominação desses métodos de programação de metas. RAMALHETE (1985), refere-se ao método de pesos como Programação Multiobjetivo e ao método hierárquico apenas como Programação de Metas.

2.6.2. Formalização de um modelo de Programação de Metas

“Pode dizer-se que o sucesso de qualquer modelo teórico reside na capacidade do analista reconhecer que o problema em questão pode ser resolvido por aplicação

desse modelo e, além disso, na capacidade de o formalizar de acordo com esse mesmo modelo.” (RAMALHETE, 1985, p. 310).

Ainda de acordo com o autor, existem três pontos importantes na formalização correta do modelo de Programação de Metas:

- a) Definição das variáveis de decisão e especificação das metas: definir claramente quais variáveis o decisor tem controle para definir seu valor e quais as metas pretende atingir;
- b) Formalização das restrições: expressar a relação existente entre as variáveis de decisão e as metas do problema;
- c) Formalização da função-objetivo: a função deve traduzir o posicionamento do decisor em relação as metas do problema, seja em termos de hierarquização ou ponderação, que irá variar de acordo com o método utilizado.

2.6.3. Formulação matemática de um modelo de Programação de Metas

De acordo com RAMALHETE (1985), podemos representar de forma genérica qualquer problema de Programação de Metas da seguinte forma:

$$\text{Minimizar } Z = \{h_1(D^-, D^+), h_2(D^-, D^+), \dots, h_k(D^-, D^+)\}$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i$$

$$x_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

Onde, “ h_k ” representa o grau de hierarquização das metas, indicando a sequência em que cada uma será priorizada, “ d ” o valor das folgas, negativas ou positivas, das metas, “ a_{ij} ” as constantes do problema, “ x_j ” as variáveis de decisão e b_i as metas.

Existem três formas de definição das metas no modelo, metas em que deve ser atingido o valor definido, metas que devem ser acima de um valor determinado e, por fim, as que devem estar abaixo de um valor determinado, nas palavras de RAMALHETE (1985), cada tipo de meta é tratada no modelo das seguintes formas:

“Se a meta consistir em atingir o valor “ b_i ”, então há que proceder à minimização de $d_i^- + d_i^+$.

Se a meta consistir em igualar ou exceder o valor de “ b_i ”, então a variável desvio d_i^+ não deve ser incluída na função objetivo, o que significa proceder à minimização de d_i^- .

Se a meta consistir em ficar aquém ou igualar o valor “ b_i ”, então há que proceder apenas à minimização de d_i^+ , o que se consegue com a não inclusão da variável de desvio d_i^- na função objetivo.”

3. A CASTANHA DE CAJU

O Cajueiro, *Anacardium Occidentale*, planta com origem no nordeste brasileiro, possui seus primeiros registros em meados do século XVI através de portugueses e franceses que iniciaram a exploração do litoral brasileiro. De acordo com GUIMARÃES & PECHNIK (1969), apesar de não ser comprovado, é aceito pela comunidade botânica que o cajueiro originou-se no Brasil, especificamente no litoral nordestino, pois os primeiros registros são brasileiros, a difusão do cajueiro aconteceu apenas após 1500 e encontra-se aqui a maior diversidade de espécies.

A Castanha é o fruto verdadeiro do cajueiro, *Anacardium*, cresce anexa ao pedúnculo, que muitas vezes é confundido como o fruto do cajueiro. Atualmente possui maior valor de mercado que o caju, tendo sua comercialização difundida em todo o mundo.

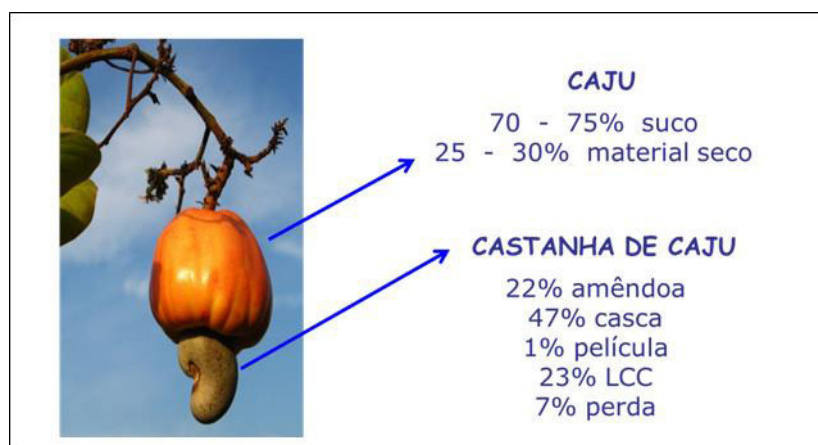


Figura 4 – Anatomia da castanha de Caju
Fonte: arquivos da empresa

Os valores citados acima são uma média para fins de controle do processamento da castanha, porém ocorrem variações, dependendo da origem da castanha e do tipo de cajueiro.

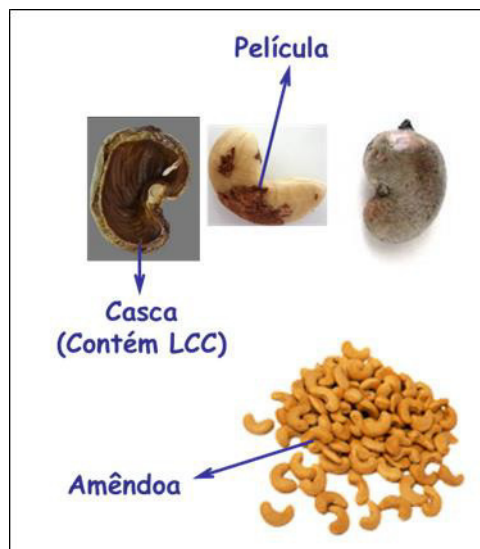


Figura 5 – Estrutura da Castanha de Caju
Fonte: arquivos da empresa

3.1. Amêndoa

É a parte comestível da castanha, possui proteínas com valor nutritivo considerável ao ser humano e elevado percentual de ácido graxos não-saturados (81,5%). “A principal proteína da castanha do caju, que de todas as proteínas vegetais estudadas, isoladamente, é a que mais se aproxima aos protídeos de origem animal e que merece a denominação de “carne vegetal.” GUIMARÃES & PECHNIK (1969).

3.2. Película

Encontra-se entre a amêndoa e a casca da castanha, segundo LIMA (1988) apesar de também possuir elevado valor nutritivo, seu gosto ácido e riqueza em taninos inviabiliza o consumo humano, porém como sub-produto da indústria de castanha pode ser utilizado na composição de rações bovinas, substituto da casca de acácia negra na indústria de curtume e em processos de fabricação de tintas.

3.3. Casca

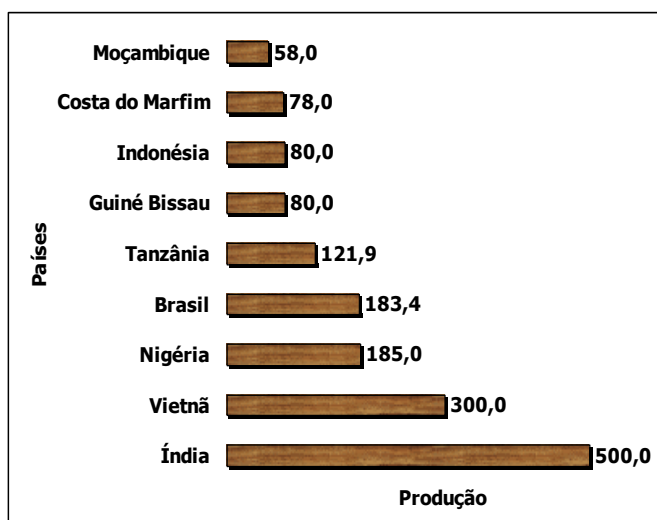
A parte mais externa da castanha, sua espessura pode variar de acordo com a região de origem e tipo do cajueiro. É constituída por um espesso mesocarpo esponjoso cujo os alvéolos armazenam um líquido viscoso, conhecido como LCC (Líquido da Castanha de Caju). A casca da castanha por ser um material inflamável e é bastante utilizado em indústria como combustível de caldeiras e fornalhas.

3.4. Líquido da Castanha de Caju (LCC)

É um líquido viscoso, de coloração escura, acre, caustico, vesicante e facilmente inflamável com inúmeras utilizações. LIMA (1988) explica que o LCC passou a ser reconhecido como uma matéria-prima com importância econômica a partir de 1941 devido aos estudo do cientista americano Dr. Moctimes T. Harvey. A visita do cientista ao Brasil resultou em negociações que permitiu à Brasil Oiticica, empresa situada na época em Fortaleza, tornar-se a primeira indústria de processamento do LCC no planeta. A Brasil Oiticica é uma das empresa, que com o desenvolvimento da Indústria de beneficiamento de castanha no Ceará, foi adquirida pelo grupo que hoje denomina-se IRACEMA Indústria e Comércio de Castanha de Caju.

3.5. O mercado da Castanha de Caju

A plantação e beneficiamento de Castanha de Caju estende-se por todo o globo, nos países que são próximos a linha do equador e possuem um clima tropical. Atualmente, os principais países produtores são: Índia, Vietnã, Nigéria e Brasil, como pode ser visto no quadro abaixo:



Quadro 1 – Produção de Castanha de Caju em mil de tonelada
Fonte: CONAB 2013

Nos anos de 2010, 2011 e 2012, devido a falta de chuvas, houve uma grande quebra na safra brasileira de Castanha de Caju ocasionando uma queda de cinquenta por cento da produção de 2010 para 2011 (CONAB 2013), prejudicando toda a cadeia produtiva e, principalmente, as indústrias de beneficiamento da Castanha.

Uma das saídas encontradas foi o início do importação de Castanha de Caju oriunda de outros países, a melhor alternativa encontrou-se na costa oeste africana (Gana, Guiné Bissau e Costa do Marfim) pois estes eram países que possuíam grandes plantações de Castanha de Caju, estavam com safra normalizada e tinha mais proximidade com o Brasil.

A cadeia produtiva de beneficiamento da Castanha de Caju está concentrada em países subdesenvolvidos, por isso não há um grande investimento na pesquisa de novas tecnologias no processo produtivo, métodos e maquinário. Por exemplo, o processo de retirada da amêndoa de dentro da castanha é o mesmo desde da década de setenta. A pouca evolução ocorre quando máquinas utilizadas em outras cadeias produtivas (café, grãos, etc.) são adaptados à indústria de Castanha de Caju.

Uma das grandes mudanças no cenário comercial do ACC (Amêndoa de Castanha de Caju) no mundo nos último anos foi a desvalorização do preço dos pedaços, amêndoas que quebram-se durante o processo e não são vendidas como

inteira. Devido ao aumento de utilização de máquina de seleção eletrônica no processo, em detrimento a mão-de-obra humana, o percentual de quebra das indústrias teve um aumento substancial. Com o aumento da oferta de pedaços em todo o mundo, o preço despencou, prejudicando o faturamento de algumas empresas e aumentando, em outros casos, o estoque desse tipo de produto.

4. A EMPRESA

4.1. História da IRACEMA

No início da história da Iracema Ind. e Com. de Castanha de Caju LTDA, a empresa tinha como finalidade explorar comercialmente o Líquido da Casca da Castanha – LCC, produto usado como base para vernizes, tintas, e matéria-prima de pastilhas de freio para veículos automotores.

Em meados do ano de 1950 a castanha de caju passou a ser o principal produto da indústria, tendo em vista o elevado valor no mercado externo.

Com a aquisição de empresas locais por um grupo internacional em 1978, a IRACEMA consolidou-se como marca de castanha de caju no mercado brasileiro. Foi adquirida pela Nabisco em 1987, iniciando um processo de modernização do parque industrial, focado na melhoria da produtividade e qualidade de seus produtos.

A IRACEMA, também pertenceu ao grupo KRAFT FOODS, e desde 2004 faz parte do grupo BOND COMMODITIES. Atualmente, possui 3 fábricas situadas em Fortaleza – CE, ocupando 142.000 metros quadrados e gerando 1.800 empregos diretos, estrutura que faz da IRACEMA a segunda maior empresa de Beneficiamento de Castanhas de Caju no mundo, com capacidade anual de processamento de mais de 70.000 toneladas de castanha in natura.

Além da produção para o mercado nacional, a IRACEMA exporta para mais de 20 países e ocupa uma posição de destaque em mercados como EUA, Europa, Japão, Ucrânia, África do Sul, Kwait, Austrália e vários outros.

4.2. Evolução do Processo Produtivo

O beneficiamento da Castanha de Caju segue um complexo processo para a quebra da casca, retirada da amêndoa e classificação por tipo, tamanho e cor.

Inicialmente o processo era artesanal, onde a castanha era cortada manualmente por pessoas com ferramentas rúnicas. A industrialização iniciou-se com o processo de autoclavagem até a evolução para o corte mecanizado, o qual atualmente é adotado pelas maiores fábricas de beneficiamento de castanha de caju. O processo ocorre da forma que está descrito na imagem abaixo:

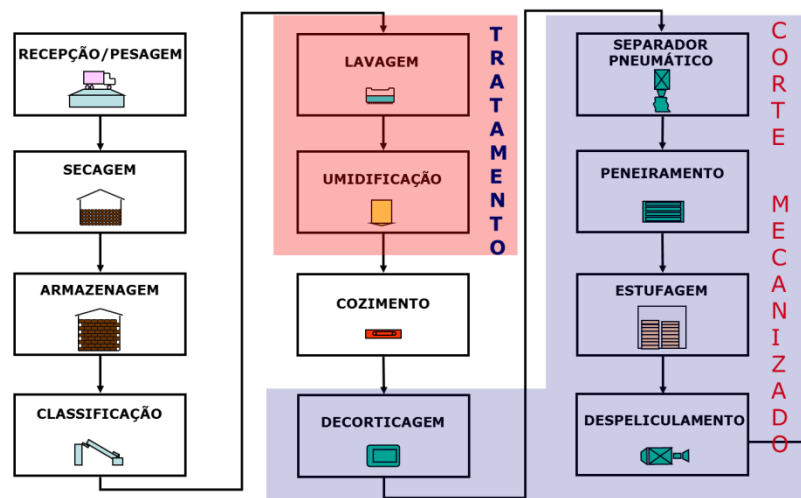


Figura 6 – Etapas do processamento da castanha de caju
Fonte: arquivos da empresa

4.3. Etapas do Processo:

- Recepção/Pesagem:** o início do processo ocorre com o recebimento da castanha na fábrica, caso seja de origem africana o caminhão é apenas pesado e a matéria-prima descarregada. No caso de castanhas compradas no Brasil, primeiro é feita uma análise de qualidade da castanha, onde rendimento, umidade e outras características são analisadas. De acordo com o resultado, é definido se será aceito ou não o recebimento;
- Secagem:** após o recebimento, as castanhas são dispostas nos secadores, grandes áreas cobertas com telha de fibra de vidro, que funcionam como uma estufa que mantém o calor no seu interior. O Objetivo dessa etapa do

processo é fazer com que castanhas de diferente origens fiquem todas na umidade ideal para o seu processamento (em média 8% de água);

- c) Armazenagem: as castanha são armezanadas e vão sendo liberadas para o processamento de acordo com a necessidade e programação da produção;
- d) Classificação: as castanhas nessa etapa são classificadas de acordo com o tamanho (Graúda, Média 02, Média 01, Pequena e Cajuí). Cada tamanho de castanha possui um tratamento e um processo mais adequado, por isso necessária essa classificação. A castanha cajuí, devido a suas dimensões, é considerada imprópria para o processamento. Os tamanhos são definidos de acordo com a tabela abaixo:

CAJUÍ	PEQUENA	MÉDIA 1	MÉDIA 2	GRAÚDA
< 14 mm	14 a 19,05 mm	19,05 a 22,22 mm	2,22 a 25 mm	>25mm

Quadro 2 – Dimensões das classificações de castanha de caju in natura
Fonte: arquivos da empresa

- e) Lavagem: devido a sua origem campesina, a castanha chega as fábricas de processamento com uma grande quantidade de sujeiras oriundas do campo, do armazenamento e do transporte. Por isso, para garantia uma higiene mínima no processo inicial faz-se necessária a existência de uma etapa de lavagem das castanhas. A castanha é “bombeada” através de um tanque com água corrente, evitando com que materiais impróprios entrem no processamento do produto;
- f) Umidificação: para que haja um aumento no rendimento do processo de corte mecanizado da castanha é necessário que a casca torne-se o mais quebradiça possível. O primeiro passo, a umidificação, tem o objetivo de transferir água para o interior da casca da castanha e da amêndoa. A água que entra na casca da castanha facilita a decorticagem, o que será explicado nas etapas a seguir. Já e amêndoa umidecida fica menos quebradiça, o que é interessante para o processo, pois a amêndoa inteira tem maior valor de mercado. A castanha é coloca em um silo com capacidade para cerca de sete toneladas, em seguida é preenchido com água, passando um tempo imerso e, após a drenagem, um determinado tempo em repouso. O tempo de imersão e repouso é definido de acordo com o tamanho da castanha, origem e umidade;

- g) Cozimento: a castanha é imersa em LCC à 210° celsius, nesse processo os alveolos são rompidos e liberam o LCC que está na casca da castanha e este se une ao utilizado no cozimento. Nesse processo, a água que foi inserida na casca através do processo de umidificação evapora-se rapidamente, auxiliando a quebra dos alvéolos e tornando as estruturas da casca mais frágeis;
- h) Decorticagem: nessa etapa ocorre a quebra da casca com o impacto da castanha na parede dos decortidores. O processo não quebra todas as castanhas, e algumas não são quebradas por inteiro, por isso a necessidade do processo de retorno, onde as castanhas repetem o processo;
- i) Separador Pneumático: após a decorticagem, a amêndoa precisa ser separada da casca. Através de máquinas pneumáticas a casca quebrada é separada da amêndoa e do retorno, a amêndoa que ainda está dentro da casca e volta para o processo de decorticagem;
- j) Peneiramento: possui o mesmo objetivo do processo anterior porém é feito através de inúmeras peneiras que separam a casca da amêndoa;
- k) Estufagem: devido a etapa inicial de umidificação a amêndoa encontra-se ainda com muita água, e para seguir o processo e facilitar que a película seja retirada ela precisa ter sua umidade reduzida de cerca de 8,5% para 5%. Esse processo ocorre através de estufas industriais;
- l) Despeliculamento: após a saída das estufas as amêndoas são “arremessadas” através de uma pequena passagem com superfícies rugosas, que através do atrito retiram parte da película que cobre as amêndoas. As películas que continuarem anexas as amêndoas serão retiradas em um processo final de raspagem manual;
- m) Seleção de Inteiras: nesta etapa final, as amêndoas inteiras passaram por um processo de seleção de cor e tamanho através de máquinas eletrônicas e/ou seleção manual e seguem para embalagem. A definição de cada especificação é requisito dos clientes e segue a normal internacional AFI (International Food Association);

- n) Seleção de Pedacos: os pedaços são selecionados por tipos básicos: Butts (B), amêndoas com até um oitavo quebrada, Split (S) são as bandas laterais da amêndoa e Pieces (P), são amêndoas quebradas e disforme, que não se encaixam na classificação B nem S. Os pedaços podem ser elaborados também de acordo com especificações granulométricas dos clientes, que as utilizam para inúmeros fins (cobertura de sorvetes, elaboração de massas, chocolates, etc.), esses são os tipos Small Pieces (SP);



Figura 7 – Classificação comercial da amêndoa de castanha de caju (interias e pedaços)

Fonte: arquivos da empresa

5. O PROCESSO DE COMPRA DE CASTANHA DE CAJU

5.1. Compra de Castanha no Brasil

A compra de castanha de origem brasileira inicia-se com um trabalho proativo de conscientização dos agricultores, a empresa dispõe de técnicos agrícolas que, divididos nas principais áreas produtoras, distribuem cartilhas com as melhores

práticas para a colheita e armazenamento da castanha de caju. Esses técnicos analisam a safra de castanha da região, a quantidade de matéria-prima comercializada, o preço que está sendo praticado entre outras informações importantes que possam subsidiar o planejamento de compras.

Com essas informações, o planejamento é feito, definido a quantidade que será comprada por mês e por semana. Também é definido pela diretoria qual preço será pago o quilo da castanha. O planejamento de compra deve seguir a tabelas das safras, pois ocorrem em diferente épocas nas regiões brasileiras. Durante a realização da compra é também verificado a atual capacidade da empresa e o nível de estoque.

Região:	Período:
Piauí/Maranhão	Junho à Setembro
Ceará	Outubro à Dezembro
Rio Grande do Norte/Paraíba	Novembro à Fevereiro
Bahia, Sergipe, Alagoas e Pernambuco	Dezembro a Fevereiro

Quadro 3 – Período de safra por região do Brasil
Fonte: arquivos da empresa

Essas datas podem sofrer variação de acordo com a distribuição de chuvas de cada ano.

As compras são realizadas através de contato telefônico, onde são acordados preço por quilo e condições de compra. O fornecedor também é informado que a matéria-prima, ao chegar na fábrica, passará por um teste de qualidade e, dependendo do resultado, poderá ter seu preço alterado.

Este teste consiste em análise da qualidade da matéria-prima, com foco no rendimento – percentual de amêndoa boa em relação ao peso total. Nesse caso é analisada a quantidade de amêndoas estragadas, chocas e a umidade média das mesmas, dependendo deste resultado o preço do quilo pode sofrer variações de até nove centavos para mais ou para menos.

5.2. Compra de Castanha na África

Quando houve a quebra de safra em 2010, foram iniciadas as tentativas de importação de castanha da africana. Primeiro tentou-se a importação através de containers, o que mostrou-se ineficaz pois devido aos containers não possuírem armazenagem adequada à castanha e a demora da viagem no navio. Com essas condições muitas castanhas chegavam estragadas, devido ao aumento de umidade, algumas já brotando, e além da existência de contaminação do produto, pois os containers eram transportados juntos com outros materiais.

Verificou-se que forma mais adequada seria a importação através de um navio exclusivo, com viagem direta, para o transporte da matéria-prima. Com isso cria-se a restrição de ser importado um navio totalmente carregado com castanha, o que fica em torno de quatro a cinco mil toneladas por navio. Nesse formato, as castanhas podiam vir em sacos de junta, e passar apenas 9 dias no navio, tempo de viagem entre África e Brasil.

A compra de castanha iniciou-se com a contratação de uma empresa responsável por comprar e entregar, em um armazém, a quantidade de castanha necessária para o carregamento total de um navio. Esta empresa era responsável por comprar a castanha, transportá-la até o armazem, realizar o descarregamento, limpeza e armazenagem em sacos de junta. A IRACEMA fica responsável por enviar representantes para acompanhar e fiscalizar se todos os procedimentos estão sendo feitos corretamente para garantir a qualidade da matéria-prima e o atendimento as normas de importação da Receita Federal no Brasil. Ao finalizar-se a compra da castanha, é feito o contato com o navio, programado o carregamento no porto e realizada a viagem até o Brasil. Quando o navio chega ao porto, é feito o descarregamento em caminhões roll-on roll-off, e a castanha é descarregada nos secadores da fábrica e estão prontas para entrar no processo.

5.3. O problema

Como já citado anteriormente, as consequentes quebras de safra da Castanha de Caju e abertura e viabilidade da compra da matéria-prima da África, teve como consequência um novo cenário para a tomada de decisão de compra. Novas variáveis foram adicionadas ao processo, tornando o mais complicado de ser definido intuitivamente.

Nas empresas que trabalham com beneficiamento de *commodities*, nesse caso aplicado a castanha de caju, geralmente o maior custo é o relativo a compra de matéria-prima. No caso da empresa estudada é cerca de oitenta por cento do CMV (Custo de Mercadoria Vendida), ou seja, ferramentas, definições ou métodos que consigam reduzir um pequeno percentual nesse número resultará em uma grande diferença no resultado financeiro da organização.

Sendo assim, foi verificado pela empresa a necessidade de formulação de um modelo que definisse as diretrizes de compra de Matéria-prima de acordo com a época do ano, mudanças climáticas, políticas entre outras variáveis que afetassem o cenário do setor.

6. MÉTODO PROPOSTO

6.1. Características analisadas

No beneficiamento de Castanha de Caju, parte dos resultados de desempenho do processamento são definidos mesmo antes deste iniciar, pois estão atrelados as características da matéria-prima. Uma produção de qualidade irá influenciar os resultados finais, mas a predominância será pelas especificações da castanha comprada.

6.1.1. Especificações de Qualidade

Para cada compra de Castanha é colhida uma amostra e realizado um teste de qualidade, no qual as seguintes especificações são analisadas:

- a) Tamanho: referente as dimensões da castanha que são classificados como graúda, média 02, média 01 e pequena;
- b) Rendimento: define o percentual de amêndoa, parte comestível, presente na castanha;
- c) Umidade: percentual de água na castanha;
- d) Estragadas: peso total de amêndoas estragadas em relação ao peso total das amêndoas. Essas amêndoas são processadas porém descartadas durante a seleção manual;
- e) Brocadas: são amêndoas com pequenos pontos pretos, possuem uma classificação diferenciada no final da produção mas são próprias para o consumo;
- f) Chochas: castanhas "vazias" que não possuem amêndoa dentro da casca;

De todas essas especificações, os dados referentes a tamanho e rendimento foram considerados na elaboração do modelo. O rendimento, no seu cálculo, leva em consideração a umidade, estragadas e chochas, com isso a não utilização direta desses critérios não prejudicará o modelo elaborado.

6.1.2. Custo de compra de Matéria-prima

O custo de compra de matéria-prima é sempre o primeiro fator a ser analisado no processo de decisão, por isso foi incluído no modelo. Para o problema foi considerado o preço do quilo “na porta da empresa”, ou seja incluindo os custos diretos e indiretos da compra, tanto para castanhas compradas no Brasil ou importadas da África. Não foram considerados possíveis gastos financeiros com recursos de terceiros para compras de maior volume.

6.1.3. Subprodutos do processamento

O beneficiamento da castanha tem o objetivo de beneficiar e, em seguida, comercializar a amêndoa, porém existem alguns subprodutos provenientes do processo, como já mostrado, são eles: casca, LCC e película.

Estes subprodutos possuem uma comercialização já estabelecida. No caso da casca, sua maior utilização é como combustível para caldeiras e fornalhas, sofrendo concorrência de outros produtos e tendo uma variação grande de preço de mercado. Somado a isso o fato de ser gerada em grande quantidade, pois representa em média 50% do peso de toda castanha processada.

Um dos problemas enfrentados pela empresa é a disponibilidade de espaço para armazenagem da casca, pois é necessário grandes galpões arejados e utilizados exclusivamente para este fim. Essa restrição faz com que seja necessário a venda de casca por um preço baixo ou aluguel de galpões de terceiros para armazenagem.

Com isso foi adicionado ao modelo a restrição da quantidade de casca gerada pelo beneficiamento para que mantenha-se de acordo com a capacidade de armazenagem da empresa.

O LCC e a película não foram considerados no modelo pois os problemas citados são específicos da casca.

6.2. Variáveis de decisão

A decisão a ser tomada na compra de castanha é qual quantidade comprar de cada origem. Analisando os dados da empresa, foi verificado que, nos últimos cinco anos, foram adquiridas matéria-prima dos seguintes estados do Brasil: Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Pará e Tocantins. E de três países do continente africano: Guiné-bissau, Gana e Costa do Marfim.

Porém nem todos os estados possuem uma produção constante e significativa de castanha e não são fornecedores recorrentes da empresa. Com isso foram adicionados ao modelo apenas os estados que tiveram um percentual maior que cinco por cento no volume de compras dos último cinco anos, sendo eles, Ceará, Bahia e Piauí.

Os três países africanos também foram incluídos no modelo por representarem uma alternativa recente da empresa na importação de matéria-prima e também por possuírem uma estrutura *in loco* montada pela empresa para a compra, tratamento e embarcação da castanha.

Em resumo, as variáveis de decisão do modelo são:

- x_1 : Quantidade de Castanhas compradas do Ceará;
- x_2 : Quantidade de Castanhas compradas do Piauí;
- x_3 : Quantidade de Castanhas compradas da Bahia;
- x_4 : Quantidade de Castanhas compradas de Gana;

- x_5 : Quantidade de Castanhas compradas da Costa do Marfim;
- x_6 : Quantidade de Castanhas compradas de Guiné Bissau.

6.3. Consulta de dados

Os dados utilizados no modelo foram retirados do banco de dados do ERP da empresa em estudo, e foram considerados os dados dos últimos três anos. Para cada uma das especificações atribuídas a cada tipo de castanha foi definido um valor para o modelo.

Para o custo foi analisado o custo médio de compra dos períodos de safra normal tanto no Brasil quanto na África. A questão de possíveis quebras de safra serão consideradas posteriormente em outros cenários. Já para o percentual de castanhas pequenas, rendimento e quantidade de casca foram obtidos através da média dos recebimentos de todo o período estudado.

6.4. Metas

Na empresa estudada, não havia metas definidas para a compra de Castanha, mas sim para os resultados finais do processamento. Porém como muito do resultado final depende do que “entrou” no processo, foi sugerido estabelecer metas para o início da cadeia de produção, ou seja, para o processo de compra de castanha.

Para definição das metas foram analisados os dados históricos de produção dos últimos três anos, junto com as metas já estabelecidas para a produção. Dessa forma, caso estes números estabelecidos sejam atingidas todo o processo seguinte será facilitado e poderá encontrar os resultados buscados pela empresa.

Em análise com a diretoria e a gestão industrial da empresa, foram definidas as seguintes metas, todas com valores mensais:

- a) Quantidade total de Castanha compradas deverá ser igual à 6.000 toneladas;
- b) O Custo Total de compra não poderá ultrapassar R\$ 13.380.000,00;
- c) O percentual de Castanhas pequenas deverá ser igual a 10% (ou 600 toneladas);
- d) O Rendimento deverá proporcionar 1.620 toneladas de Amêndoas;
- e) A quantidade de casca proveniente da produção não deverá ultrapassar a quantidade de 2.900 toneladas.

6.5. Formulação do modelo

Inicialmente, após verificada as características do problema e realizado um levantamento inicial dos dados e metas da empresa, ficou claro que um modelo de programação linear seria o mais adequado a resolução do problema. Com isso, foi elaborado um modelo de programação linear simples, tendo as metas, que serão citadas posteriormente, como restrição e o custo como função-objetivo a ser minimizada, pois está, a priori, é a meta mais importante.

Porém quando o modelo foi escrito e resolvido, não foi possível o software encontrar um resultado que conseguisse atender todas as restrições. Um dos possíveis motivos é de que o problema apresenta restrições com igualdade, o que inviabiliza o modelo encontrar uma solução ótima com PL simples. Com isso, para não dar-se por encerrado e encontrar um valor que conseguisse se aproximar o mais perto possível de cada meta, decidiu-se utilizar programação de metas para resolução do problema.

De forma geral, as restrições, com suas devidas folgas, serão as seguintes:

- i. $2.03x_1 + 2.23x_2 + 2.17x_3 + 2.1x_4 + 2.1x_5 + 2.1x_6 - a + b = 13380$
- ii. $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 - c + d = 6000$

$$\text{iii. } 0.25x_1 + 0.26x_2 + 0.29x_3 + 0.25x_4 + 0.26x_5 + 0.28x_6 - e + f = 1620$$

$$\text{iv. } 0.12x_1 + 0.14x_2 + 0.08x_3 + 0.51x_4 + 0.45x_5 + 0.24x_6 - g + h = 600$$

$$\text{v. } 0.51x_1 + 0.507x_2 + 0.464x_3 + 0.497x_4 + 0.471x_5 + 0.494x_6 - i + j = 2900$$

As letras a, b, c, d, e, f, g, h, i, j representam as variáveis de folga positivas e negativas para cada meta. Em relação s metas ii, iii, quando estas forem para a função-objetivo, as duas variáveis de folga serão minimizadas, já as metas i e v apenas o valor de folga negativo, “a” e “i”, serão minimizados na função-objetivo.

Para cada meta que tiver a sua folga minimizada, na iteração seguinte ela continuará sendo restrição, porém com uma nova variável de folga, “Xart” no lugar das variáveis, representadas por letra, que foram minimizadas. Essa variável também fará parte das próximas funções-objetivos, sendo multiplicado por uma constante M com valor elevado para que seja prioritariamente minimizado e garanta que a meta anterior não seja violada.

A meta também será modificada caso o valor de uma das variáveis de folga que foram minimizadas, possuírem valor diferente de zero. Esse passo-a-passo é executada a cada nova meta que é priorizada até que seja finalizada a iteração de todas as metas ou o sistema não encontre uma solução viável.

6.6. Definição dos cenários

Para o estudo, foram definidos cinco cenários na elaboração do modelo, porém essas possibilidade não esgotam a variedade de situações que podem surgir. Caso ocorram outras mudanças significativas no preço, na disponibilidade de matéria-prima ou na estratégia da empresa é possível adequar o modelo a essas mudanças e realizar toda uma nova análise.

Os cenários abordados no trabalho foram escolhidos em conjunto com a gestão industrial da empresa levando em consideração as situações que ocorreram recentemente com a empresa, ou que poderiam vir a ocorrer. Para que dessa forma os resultados do trabalho fossem utilizados diretamente na prática.

Os cinco cenários abordados no estudo são:

- a) Safra normal no Brasil e na África, sem alteração no preço ou disponibilidade da castanha;
- b) Compra de castanha apenas do Brasil, que pode ocorrer devido a incentivos governamentais ou dificuldade em acarretar recursos para importação;
- c) Quebra de safra no Brasil, tendo como consequência um aumento de preço na matéria-prima de origem brasileira;
- d) Quebra de safra na África, tendo como consequência um aumento de preço na matéria-prima de origem africana;
- e) Compra de castanha apenas da África, que pode ocorrer através de parceria com empresas locais.

6.7. Definição de prioridade das metas

Nos problemas de Programação de Metas com hierarquização a sequência em que as metas são priorizadas pode alterar os valores finais do modelo, quando definido um meta e rodado o modelo, as próximas metas poderão variar de forma restrita à anterior.

No modelo existem três metas prioritárias:

- a) Meta do custo total de compra;
- b) Meta de quantidade total de matéria-prima adquirida; e
- c) Meta de total de amêndoa produzida devido ao rendimento.

Com isso, em cada cenário estudado foram elaborados seis modelos diferentes, advindos do arranjo dessas três metas, na seguinte sequência:

- a) Custo, quantidade e rendimento;

- b) Custo, rendimento e quantidade;
- c) Quantidade, custo e rendimento;
- d) Quantidade, rendimento e custo;
- e) Rendimento, custo e quantidade; e
- f) Rendimento, quantidade e custo.

Em relação as outras duas metas, em todos os problemas elas permaneceram como as duas últimas, por não serem prioritárias e seguiram a sequência: quantidade de castanhas pequenas e depois quantidade de casca produzida.

6.8. Resumo dos modelos

Ao todo, serão elaborados cinco cenários, cada um com seis sequenciamentos de metas diferentes, dando um total de trinta modelos. Cada modelo será executado seis vezes no sistema, um para cada meta que será priorizada, totalizando cento e oitenta iterações.

Cenário	Sequência de Metas
Safra normal	Custo, quantidade, rendimento, pequenas e casca.
	Custo, rendimento e quantidade, pequenas e casca.
	Quantidade, custo e rendimento, pequenas e casca.
	Quantidade, rendimento e custo, pequenas e casca.
	Rendimento, custo e quantidade, pequenas e casca.
	Rendimento, quantidade e custo, pequenas e casca.
Compra apenas do Brasil	Custo, quantidade, rendimento, pequenas e casca.
	Custo, rendimento e quantidade, pequenas e casca.
	Quantidade, custo e rendimento, pequenas e casca.
	Quantidade, rendimento e custo, pequenas e casca.
	Rendimento, custo e quantidade, pequenas e casca.
	Rendimento, quantidade e custo, pequenas e casca.
Quebra de safra no Brasil	Custo, quantidade, rendimento, pequenas e casca.
	Custo, rendimento e quantidade, pequenas e casca.
	Quantidade, custo e rendimento, pequenas e casca.
	Quantidade, rendimento e custo, pequenas e casca.
	Rendimento, custo e quantidade, pequenas e casca.
	Rendimento, quantidade e custo, pequenas e casca.
Quebra de safra na África	Custo, quantidade, rendimento, pequenas e casca.
	Custo, rendimento e quantidade, pequenas e casca.
	Quantidade, custo e rendimento, pequenas e casca.
	Quantidade, rendimento e custo, pequenas e casca.
	Rendimento, custo e quantidade, pequenas e casca.
Compra apenas da África	Custo, quantidade, rendimento, pequenas e casca.
	Custo, rendimento e quantidade, pequenas e casca.
	Quantidade, custo e rendimento, pequenas e casca.
	Quantidade, rendimento e custo, pequenas e casca.
	Rendimento, custo e quantidade, pequenas e casca.
	Rendimento, quantidade e custo, pequenas e casca.

Quadro 4 – Resumo dos modelos elaborados
 Fonte: elaborado pelo autor

6.9. Cálculo através do *Software* LINDO

Para a resolução do modelo foi utilizado o *software* LINDO da empresa LINDO Systems que pode ser obtido gratuitamente para uso estudantil em seu site.

De acordo com o site da empresa, o *software* pode ser utilizado para resolução de problemas de otimização dos tipos de Programação Linear, Programação Inteira, Programação Quadrática e Programação não-linear. Como o modelo em questão é uma adaptação da programação linear o programa adequa-se ao uso.

Para cada modelo rodado no programa, com cenário e sequência de meta definido, foi realizado o seguinte passo-a-passo:

- a) Primeira resolução do modelo, com a minimização das folgas da primeira meta colocando-a na função objetivo;
- b) Verifica-se o valor das folgas dada pelo programa e as substitui na variável de folga da meta que foi resolvida. Em seguida passa-se o valor para o lado direito da função somando ou subtraindo com o valor numérico da meta.
- c) No lado esquerdo da função da meta que foi resolvida, soma-se uma variável de folga, neste problema chamada de $Xart_i$;
- d) Com isso, passa-se para a minimização da folga da próxima meta. Cria-se a nova função objetivo reduzindo as folgas da meta, porém agora somada a variável $Xart_i$ multiplicado por um valor muito alto, para garantir que ela seja zerada e a meta anterior não violada. Lembrando que deverá ser criada uma variável de folga $Xart_i$ para cada meta resolvida, e somada ao lado esquerdo da meta e acrescentada na função objetivo. No problema multiplicou-se por 99.999;
- e) Por fim, repete todos os passos até que todas as metas sejam resolvidas, ou o programa não consiga encontrar um resultado sem que os valores de $Xart_i$ sejam iguais a zero.

6.10. Análise dos resultados

Após rodar os modelos no programa, analisar e tabular os resultados obtidos para as variáveis de decisão e para as metas, nesse capítulo será apresentado os resultados obtidos em cada cenário e seus respectivos comentários.

Para facilitar o entendimento e a visualização, os resultados finais foram agrupados em um quadro, onde será representado o valor das variáveis de decisão, as folgas – positivas ou negativas - de cada meta, e por fim o desvio relativo de cada meta, como pode ser visto no Quadro 5.

Cenário X -		Sequências de prioridade					
		1	2	3	4	5	6
		C, Q, R, G, CS	C, R, Q, G, CS	Q, C, R, G, CS	Q, R, C, G, CS	R, C, Q, G, CS	R, Q, C, G, CS
Variáveis de decisão	x1						
	x2						
	x3						
	x4						
	x5						
	x6						
Desvios da Meta	Custo						
	Rendimento						
	Quantidade						
	Graúdas						
	Casca						
Desvios da Meta (Percentual)	Custo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Rendimento	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Quantidade	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Graúdas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Casca	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	MÉDIA	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Quadro 5 – Modelo de quadro-resumo de resultados de cada cenário

Fonte: elaborado pelo autor

Na primeira linha, a sequência em que as metas foram priorizadas encontra-se apenas com as iniciais de cada meta (C, Q, R, P, CS), sendo elas respectivamente, custo, quantidade, rendimento, pequenas e casca.

Foram colocados no quadro apenas os resultados finais de cada sequência, não sendo especificados os valores intermediários das variáveis de decisão, que podem variar quando a meta seguinte é incluída no problema.

6.10.1. Resultados cenário safra normal

Pela análise dos resultados, percebe-se que no caso de safra normal, independente do sequenciamento das metas, não é válido a compra de castanhas da África.

Cenário 01 - Safra normal		Sequências de prioridade					
		1	2	3	4	5	6
		C, Q, R, P, CS	C, R, Q, P, CS	Q, C, R, P, CS	Q, R, C, P, CS	R, C, Q, P, CS	R, Q, C, P, CS
Variáveis de decisão	x1				3000,00		3000,00
	x2	6000,00	4421,82	6000,00		4421,82	
	x3		1621,82		3000,00	1621,82	3000,00
	x4						
	x5						
	x6						
Desvios da Meta	Custo				-780,00		-780,00
	Rendimento	-60,00		-60,00			
	Quantidade		43,64			43,64	
	Pequenas	240,00	148,80	240,00		148,80	
	Casca	142,00	94,39	142,00	21,99	94,39	21,99
Desvios da Meta (Percentual)	Custo	0,00%	0,00%	0,00%	5,83%	0,00%	5,83%
	Rendimento	3,70%	0,00%	3,70%	0,00%	0,00%	0,00%
	Quantidade	0,00%	0,73%	0,00%	0,00%	0,73%	0,00%
	Pequenas	40,00%	24,80%	40,00%	0,00%	24,80%	0,00%
	Casca	4,90%	3,25%	4,90%	0,76%	3,25%	0,76%
	MÉDIA	9,72%	5,76%	9,72%	1,32%	5,76%	1,32%

Quadro 6 – Resultados do modelo para cenário de safra normal
Fonte: elaborado pelo autor

Os melhores resultados foram encontrados na sequência 4 e 6, pois excedendo apenas 0,76% da meta menos prioritária, quantidade de casca produzida, conseguimos atingir as metas de rendimento, quantidade e pequenas e ainda uma redução de 5,83% na meta de custo, ou seja, abaixo do valor definido.

Pode ser verificado também que para a sequência 1 e 3 a mudança na ordem das prioridades não alterou os valores das variáveis de decisão nem do desvio das metas. O mesmo ocorreu para as sequências 2 e 5, e para as duas já citadas, 4 e 6.

Na resolução dos modelos, as sequências 1 e 3 foram as únicas em que conseguiu-se rodar o modelo até a última meta. Nos outros casos, quando realizada

a iteração incluindo a terceira meta, o software não encontrou nenhuma solução viável para o problema.

6.10.2. Resultados comprando apenas do Brasil

Nesse cenário teremos os mesmos resultados já encontrados na simulação com safra normal, pois como foi definido pelo modelo apenas compra de castanha do Brasil os valores finais não serão modificados, o que reitera o fato de ser melhor, caso haja disponibilidade, comprar castanha do Brasil.

Cenário 02 - Comprando apenas do Brasil		Sequências de prioridade					
		1	2	3	4	5	6
		C, Q, R, P, CS	C, R, Q, P, CS	Q, C, R, P, CS	Q, R, C, P, CS	R, C, Q, P, CS	R, Q, C, P, CS
Variáveis de decisão	x1				3000,00		3000,00
	x2	6000,00	4421,82	6000,00		4421,82	
	x3		1621,82		3000,00	1621,82	3000,00
	x4						
	x5						
	x6						
Desvios da Meta	Custo				-780,00		-780,00
	Rendimento	-60,00		-60,00			
	Quantidade		43,64			43,64	
	Pequenas	240,00	148,80	240,00		148,80	
	Casca	142,00	94,39	142,00	21,99	94,39	21,99
Desvios da Meta (Percentual)	Custo	0,00%	0,00%	0,00%	5,83%	0,00%	5,83%
	Rendimento	3,70%	0,00%	3,70%	0,00%	0,00%	0,00%
	Quantidade	0,00%	0,73%	0,00%	0,00%	0,73%	0,00%
	Pequenas	40,00%	24,80%	40,00%	0,00%	24,80%	0,00%
	Casca	4,90%	3,25%	4,90%	0,76%	3,25%	0,76%
	MÉDIA	9,72%	5,76%	9,72%	1,32%	5,76%	1,32%

Quadro 7 – Resultados do modelo para cenário de compra apenas do Brasil
Fonte: elaborado pelo autor

6.10.3. Resultados com quebra de safra no Brasil

Com a quebra de safra no Brasil, a disponibilidade de castanha para a indústria diminui e o preço do quilo da castanha em todos os estados sobem. No

início de 2013 os preços do quilo de castanha no Brasil chegaram ao patamar de R\$ 3,20 por quilo de castanha.

Para a simulação deste cenário foi definido o custo de castanha do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte como sendo três reais por quilo. Como o mercado é bastante volátil e a variação de preço pode ocorrer em um curto espaço de tempo, este modelo deverá ser rodada quase que diariamente a medida que essas mudanças de preço são verificadas, para que o setor de compra de matéria-prima tenha informações condizentes com a realidade.

Cenário 03 - Quebra de safra no Brasil		Sequências de prioridade					
		1	2	3	4	5	6
		C, Q, R, P, CS	C, R, Q, P, CS	Q, C, R, P, CS	Q, R, C, P, CS	R, C, Q, P, CS	R, Q, C, P, CS
Variáveis de decisão	x1	866,67	866,67	866,67	866,67	866,67	
	x2						
	x3						866,67
	x4	1133,33	1133,33	1133,33	1133,33	1133,33	
	x5						3433,33
	x6	4000,00	4000,00	4000,00	4000,00	4000,00	1700,00
Desvios da Meta	Custo						
	Rendimento						
	Quantidade						
	Pequenas	1042,00	1042,00	1042,00	1042,00	1042,00	1422,33
Desvios da Meta (Percentual)	Casca	81,27	81,27	81,27	81,27	81,27	-40,97
	Custo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Rendimento	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Quantidade	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Pequenas	173,67%	173,67%	173,67%	173,67%	173,67%	237,06%
	Casca	2,80%	2,80%	2,80%	2,80%	2,80%	1,41%
	MÉDIA	35,29%	35,29%	35,29%	35,29%	35,29%	47,69%

Quadro 8 – Resultados do modelo para cenário de quebra de safra no Brasil
Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados das sequências de 1 a 5 foram todos iguais, independente da hierarquização das metas, porém em todos a meta para castanhas pequenas foi excedida em 173,67%. Esse grande desvio em relação a meta é explicado devido as seguintes fatores:

- As castanhas pequenas são obtidas em maior quantidade na compra de matéria-prima de origem africana;
- A meta de custo é, em todos os casos, prioritárias em relação a meta de castanhas pequenas;

- c) Com a elevação do preço de castanha brasileira o modelo propõe compra em maior quantidade de castanha africana.

Ou seja, para o atingimento da meta de custos é necessária essa violação brusca da meta de castanhas pequenas.

6.10.4. Resultados com quebra de safra na África

Nesta cenários os resultados foram iguais ao do cenário 01 e 02. Como, mesmo com preços similares, é mais interessante a compra de castanha do Brasil, podemos concluir que, caso haja uma manutenção ou elevação no custo de compra de castanhas africanas e nenhuma outra característica seja alterada, teremos o mesmo resultado, compra apenas de castanhas do Brasil.

Novamente, a compra de castanha africana seria justificada apenas no caso de um aumento de preço na castanha do Brasil ou parcerias e incentivos entre a empresa e os países africanos.

Cenário 04 - Quebra de safra na África		Sequências de prioridade					
		1	2	3	4	5	6
		C, Q, R, P, CS	C, R, Q, P, CS	Q, C, R, P, CS	Q, R, C, P, CS	R, C, Q, P, CS	R, Q, C, P, CS
Variáveis de decisão	x1				3000,00		3000,00
	x2	6000,00	4421,82	6000,00		4421,82	
	x3		1621,82		3000,00	1621,82	3000,00
	x4						
	x5						
	x6						
Desvios da Meta	Custo				-780,00		-780,00
	Rendimento	-60,00		-60,00			
	Quantidade		43,64			43,64	
	Pequenas	240,00	148,80	240,00		148,80	
	Casca	142,00	94,39	142,00	21,99	94,39	21,99
Desvios da Meta (Percentual)	Custo	0,00%	0,00%	0,00%	5,83%	0,00%	5,83%
	Rendimento	3,70%	0,00%	3,70%	0,00%	0,00%	0,00%
	Quantidade	0,00%	0,73%	0,00%	0,00%	0,73%	0,00%
	Pequenas	40,00%	24,80%	40,00%	0,00%	24,80%	0,00%
	Casca	4,90%	3,25%	4,90%	0,76%	3,25%	0,76%
	MÉDIA	9,72%	5,76%	9,72%	1,32%	5,76%	1,32%

Quadro 9 – Resultados do modelo para cenário de quebra de safra na África
Fonte: elaborado pelo autor

6.10.5. Resultados comprando apenas da África

Simulando o modelo realizando compra de castanha apenas da África, tivemos o cenários em que as metas possuíram maior desvio relativo, principalmente em relação a quantidade de castanhas pequenas.

Cenário 05 - Comprando apenas da África		Sequências de prioridade					
		1	2	3	4	5	6
		C, Q, R, P, CS	C, R, Q, P, CS	Q, C, R, P, CS	Q, R, C, P, CS	R, C, Q, P, CS	R, Q, C, P, CS
Variáveis de decisão	x1						
	x2						
	x3						
	x4		3657,14			3657,14	
	x5	6371,43	2714,29	2782,60	3000,00	2714,29	3000,00
	x6			3217,40	3000,00		3000,00
Desvios da Meta	Custo						
	Rendimento	36,57		4,35			
	Quantidade	371,43	371,43			371,43	
	Pequenas	2267,14	2486,57	1424,35	1470,00	2486,57	1470,00
	Casca	100,94	196,03			196,03	
Desvios da Meta (Percentual)	Custo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Rendimento	2,26%	0,00%	0,27%	0,00%	0,00%	0,00%
	Quantidade	6,19%	6,19%	0,00%	0,00%	6,19%	0,00%
	Pequenas	377,86%	414,43%	237,39%	245,00%	414,43%	245,00%
	Casca	3,48%	6,76%	0,00%	0,00%	6,76%	0,00%
	MÉDIA	77,96%	85,48%	47,53%	49,00%	85,48%	49,00%

Quadro 10 – Resultados do modelo para cenário de compra apenas da África
Fonte: elaborado pelo autor

Este número deve-se ao fato de que as castanhas da africa possuem um percentual maior de castanhas pequenas do que as do Brasil , caso seja realizada a compra apenas no continente africano esta meta não conseguirá ser atingida

As sequências 1 e 3 tiveram solução viável apenas até a priorização da segunda meta, e as outras, sequência 2, 4 e 5 apenas até a terceira meta.

7. CONCLUSÃO

O objetivo geral do trabalho era de elaborar um modelo matemático para definição de um mix ideal de compra de castanha de caju. Com a elaboração do trabalho e as características do problema, percebeu-se que o modelo que mais se aplica para este tipo de problema é a ferramenta de Pesquisa Operacional conhecida como Programação de Metas.

Nos primeiros capítulos foi explicada a teoria por trás da Pesquisa Operacional e as principais características da Programação Linear, que é base para a programação de metas. Em seguida conceituou-se todo o cenário que acerca o estudo de caso analisado pelo trabalho e o processo de compra de castanha de caju por uma empresa brasileira de beneficiamento desta matéria-prima.

O modelo elaborado pelo trabalho consiste em um modelo matemático de programação linear adaptado para resolver problemas em que existe mais de um objetivo a ser alcançado, modelo que é academicamente conhecido como programação de metas. Para resolução deste modelo o algoritmo elaborado foi escrito e resolvido através *software* LINDO, comumente utilizado para problemas de programação linear.

Com os resultados obtidos percebe-se que o modelo adequa-se aos objetivos do estudo de caso.

Em relação a análise dos diferentes cenários elaborados pelo estudo de caso, os resultados mostraram que, em condições normais de disponibilidade de matéria-prima, o objetivos serão mais alcançados quando compra-se castanha de origem brasileira. Mas em caso de um aumento de preço significativo deste, ou de possibilidade de contratos de parceria com fornecedores africanos, essa região pode ser explorada como um potencial fornecedor. Porém este segundo caso apresentará desvio percentual maior em relação as metas estabelecidas.

O trabalho não se esgota nos cenários propostos. Como o mercado de castanha de caju é bastante volátil e suscetível a diferentes variáveis externas, as mudança são rápidas e constantes, por isso aconselha-se a elaboração e análise

diária de diferentes situações para o modelo de programação de metas. Análise com a modificação dos preços, das características das castanhas, de parceriais que modifiquem alguma variável do problema, de novos cenários que possam auxiliar algum planejamento estratégico e financeiro, entre outros.

Propões-se também para trabalhos futuros a elaboração de um estudo de análise de sensibilidade ao modelo, principalmente com relação as variáveis de preço, já que essas são as mais mutáveis no problema. Com isso, poderá ser verificado qual o intervalo de variação dos preços da castanha não irá alterar as indicações de compra do modelo.

O modelo criado é apenas uma base para que a criatividade, percepção de mercado e intuitividade do analista possam ser transformados em dados concretos que auxiliem a tomada de decisão no dia-a-dia da empresa.

8. REFERÊNCIAS

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste do Brasil. **Cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza, 1988.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Castanha de Caju Outubro de 2013**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/detalhe.php?c=31910&t=2#this>. Acessado em 25 nov. 2013

GUIMARÃES, L. R; PECHNIK, E. **Contribuição ao estudo do valor alimentício da castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.)**. Arquivos Brasileiros de Nutrição: 31-43, 1969.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Trad. De Ariovaldo Griesi. 8.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões**. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LIMA, V. P. M. S. (Org.) **A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ETENE, 1988. p. 63-79. (BNB. Estudos Econômicos e Sociais, 35).

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 1.ed. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.

RAMALHETE, Manuel; MAGALHÃES, Alípio; GUERREIRO, Jorge. **Pesquisa Operacional**, Volume II. 1. Ed. Lisboa: McGraw-Hill, 1985.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. 8.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.