



Otimização do mix de produção de uma fábrica de produtos plásticos a partir do método Branch and Bound

Leonardo da Costa Martha
leonardocmartha@gmail.com
SENAI CETIQT

Marcos dos Santos
marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br
CASNAV - UFF - IME

Carlos Francisco Simões Gomes
cfsg1@bol.com.br
UFF

Marcone Freitas dos Reis
marconefreis11@gmail.com
UFF

Luiz Frederico Horácio Teixeira
frederico.horacio@gmail.com
CASNAV - UFF

Resumo: Apesar de o setor de transformados plásticos ser um ramo extremamente promissor no Brasil, ele tem enfrentado grandes desafios devido ao atual cenário econômico nacional. A economia está em constante mudança e as indústrias buscam a sobrevivência e a permanência em um mercado cada vez mais competitivo. Para ser competitivo é importante ter domínio sobre os processos da empresa e o máximo de controle sobre os riscos e custos do negócio. Com isso, é possível aumentar a assertividade na tomada de decisão, para que ela deixe de ser algo empírico e passe a ser baseada em informação. A partir dos dados da empresa XPTO Ltda, esse trabalho tem o propósito de definir um mix de produtos, que, ao ser fabricado, gere a maximização dos lucros da empresa. Como arcabouço metodológico, utilizou-se a Programação Inteira e o Método Branch and Bound, por ser um método robusto matematicamente e por ser um método consagrado tanto na academia quanto no mercado.

Palavras Chave: Fábrica de Plásticos - Programação Inteira - Branch and Bound - Mix de Produção - Adm da Produção



1. INTRODUÇÃO

A palavra plástico – derivada do grego *plastikós*, flexível, adequado à moldagem – define qualquer material capaz de ser modelado com calor ou pressão para criar outros objetos, como o marfim, moldado desde o século XVII. O plástico que conhecemos atualmente foi evoluindo gradualmente, a partir das contribuições de vários inventores, ao redor do mundo, e originalmente surgiu dos polímeros naturais como a celulose e o látex (BRASKEM, 2012).

Apesar de ser um setor extremamente promissor, o cenário econômico brasileiro, onde a crise se estende em todas as áreas, também impactou diretamente na indústria de transformados plásticos. Dentro de todo contexto econômico crítico abordado até o momento, as Indústrias são cada vez mais pressionadas a dominarem completamente todos seus processos, e a buscar alternativas visando a maior produtividade e o aumento dos lucros com o mínimo de investimento possível para este fim.

Um processo é uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço, com um começo, um fim, inputs e outputs claramente identificados, enfim, uma estrutura para ação (DAVENPORT, 1994). Sendo assim compreender o processo é muito importante, pois representa o segredo para o sucesso em qualquer empreendimento.

É neste contexto que foi observada a oportunidade de aplicação desta importante ferramenta da Pesquisa Operacional (PO), possibilitando a sua aplicação em um ambiente de produção industrial, buscando a maximização do lucro, levando em consideração a relevância de cada produto fabricado, e, conseqüentemente, trazendo uma maior margem de lucro para a empresa estudada.

Para ser competitivo é muito importante ter domínio sobre os riscos e os custos do negócio. Tendo isso em vista, e de posse de informações confiáveis, é possível ter maior assertividade na tomada de decisão, para que ela deixe de ser algo empírico, baseada na vivência e experiências anteriores do gestor, e passe a ser baseada em informação, tornando-se mais segura e consistente. (SLACK, 2015)

Dentre as inúmeras ferramentas analíticas estão os modelos de Programação Matemática, utilizados quando se deseja analisar as variáveis dentro do processo de fabricação, visando principalmente a otimização dos mais variados tipos de cenários, para que se possa extrair o máximo de resultado, mesmo que a organização enfrente problemas, como por exemplo a escassez de recursos. (ARENALES *et al.*, 2015)

O modelo proposto aplica-se a Indústria de transformados plásticos, que é um setor da economia brasileira que contribuí significativamente com o PIB (Produto Interno Bruto) do país. Segundo a ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico), a cada R\$ 1 milhão transformado em plástico, aumenta em R\$ 1,3 milhão o PIB brasileiro. Trata-se de um setor que emprega aproximadamente 326 mil trabalhadores nos mais diversos ramos e qualificações, espalhados por todo o território nacional e gera uma produção física de 6,59 milhões de toneladas (ABIPLAST 2015)

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em um ambiente de crise, a disputa por clientes entre as empresas aumenta ainda mais, e elas a todo momento necessitam tomar decisões importantes, que definem tanto o presente quanto o futuro da organização em termos de lucro ou prejuízo. A tomada de decisão é um processo extremamente importante e ao mesmo tempo extremamente complexo, e as empresas cada vez mais utilizam métodos e ferramentas, visando auxiliar a esta tomada de decisão. (CHIAVENATO, 2004)



É crescente a necessidade de os executivos e empreendedores de organizarem e tratarem seus dados, para gerar informações cada vez mais precisas e confiáveis em seu benefício. E nesse contexto o Engenheiro de Produção possui papel fundamental em assessorar o Gestor na tomada de decisão correta.

Faz parte das competências da Engenharia de Produção, todas as atividades relacionadas aos sistemas produtivos integrados de bens e serviços, envolvendo materiais, tecnologia, informação e mão de obra. Compete também prever, especificar e analisar os resultados destes sistemas para a sociedade, recorrendo aos princípios e métodos de análise e projeto da engenharia (ABEPRO, 2018).

O processo de tomada de decisão é algo extremamente complexo dentro das organizações e está muitas vezes ligado diretamente à administração da produção. Segundo Hillier e Lieberman (2013), quanto maior se tornar a complexidade e a especialização dentro do cenário, cada vez mais difícil será a alocação dos recursos disponíveis para as atividades.

A grande quantidade de variáveis a serem levadas em consideração dentro de um processo de fabricação é o principal complicador no processo decisório de qualquer indústria. A todo momento é necessário analisarmos os estoques tanto de matérias primas quanto de produto acabado, os insumos necessários para o processo, disponibilidade de recursos como maquinário e mão de obra, os tempos dos processos, entre outras coisas.

Slack (2015) define a administração da produção como o ato de organizar e gerenciar os recursos de uma organização, que se transformam em produtos e serviços. Levando todo o gerenciamento em consideração, o processo decisório envolve uma grande quantidade de variáveis e parâmetros produtivos. Para que ele possa ser facilitado, é muito importante a organização ter um sistema de coleta de dados bem desenvolvido, além da expertise necessária para tratar os dados de maneira correta, gerando informações valiosas para a alta direção.

Dentre as definições sobre conceito de decisão, está a de Chiavenato (2004), que a descreve como todas as etapas de análise das várias alternativas que estão a disposição dentro do curso de ação apresentado para a escolha do tomador de decisão. Uma decisão equivocada de planejamento da produção pode acarretar em diminuição dos lucros da empresa, seja por conta de retrabalhos, aquisição em excesso de materiais, além de desperdício de recursos como mão de obra e energia.

É muito importante uma empresa conseguir extrair o máximo possível dos recursos e materiais que ela tem a sua disposição para utilização. Isto determina se a empresa opera eficientemente, buscando obter o máximo de resultado positivo de sua produção. Isto também está vinculado a uma característica desejada por todo gestor, que é possuir um negócio que seja autossuficiente. Se a Produção opera com eficiência e produtividade os seus processos, cada material será bem aproveitado, e os desperdícios são reduzidos.

Esta condição de funcionamento irá permitir ao gestor reunir as condições necessárias para que o negócio comece a se desenvolver progressivamente, e atinja um patamar de funcionamento onde não necessite de qualquer ajuda ou apoio financeiro de seus acionistas, para continuar existindo. Isto é considerado um patamar de autonomia, e empresas com esta qualidade tendem a enfrentar com maior segurança as adversidades externas, como por exemplo uma crise econômica.

Levando em consideração este cenário de tomada de decisões com maior precisão, e as diretrizes de maximização de lucros vinculada com a minimização dos custos de produção, encontra-se este estudo, que visa por meio da Programação Matemática, auxiliar uma Indústria produtora de sacos para lixo, a definir qual combinação (*mix*) e quantidades de produtos fabricar, afim de obter o lucro máximo.



Mediante a Modelagem do problema, é possível estudar os processos que envolvem a aplicação do método de Programação Matemática como uma potencial ferramenta para auxiliar a tomada de decisões corporativas, especificamente a maximização de Lucro. Isso possibilitará uma utilização mais racional dos materiais da empresa e ampliará os horizontes da administração da produção, que poderá refinar seus estudos de reposição de suprimentos.

2.1. A PESQUISA OPERACIONAL (PO)

Para Belfiore e Fávero (2013), a Pesquisa Operacional é composta da utilização de métodos de origem científica, como modelos estatísticos por exemplo, matemáticos e algoritmos computacionais, como ferramentas para auxiliar no processo decisório de um determinado cenário. Ela é amplamente aplicada em situações que requerem a alocação de recursos variados, principalmente em condições de escassez.

A origem histórica da atividade PO é geralmente vinculada pelos autores às ações militares oriundas dos primórdios da Segunda Guerra Mundial. Devido ao cenário de grande complexidade deste período, os exércitos Aliados convocaram grandes cientistas de suas respectivas nações com a finalidade de lidarem com os problemas consequentes da guerra, de natureza logística, operações táticas planos estratégicos militares. (BELFIORE e FÁVERO, 2013)

Com o término da guerra de 1945, logo houve interesse na exploração destas técnicas desenvolvidas na indústria, gerando a modernização e aperfeiçoamento dos seus processos. Aos poucos a Pesquisa Operacional foi sendo disseminada, e devido a percepção de sua versatilidade, ela passou a ser aplicada vários tipos de problemas dos setores público e privado, sendo comercial, industrial e governamental. (ARENALES *et al.*, 2015)

A PO evoluiu muito ao longo dos anos e hoje conta com inúmeras ferramentas de ampla aplicabilidade, como se pode verificar na figura 1:

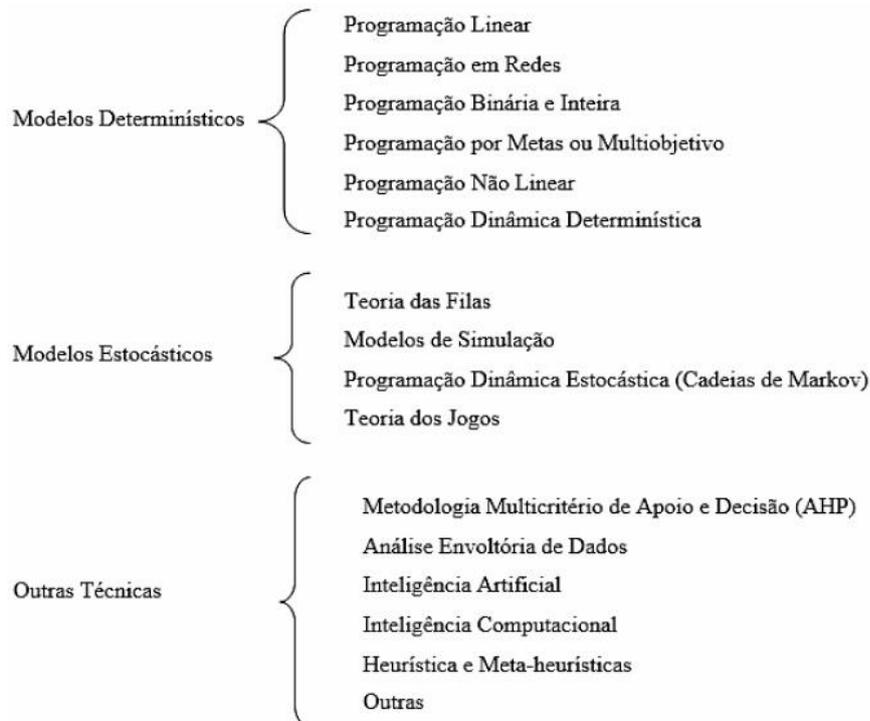


Figura 1: Ferramentas da Pesquisa Operacional.

Fonte: Belfiore e Fávero (2013) adaptada de Eom e Kim (2006)



Caixeta-Filho (2009) define os modelos como sendo representações desenvolvidas para situações do mundo real, com a finalidade de proporcionar o ganho de novos conhecimentos e facilitar as previsões e planejamento de atividades, e tendo como objetivo final a verdade.

De acordo com Longaray (2013) um modelo pode ser definido como a representação matemática, utilizando símbolos ou descrição detalhada, de um conjunto de eventos pertencentes a um cenário real, ou aspectos subjetivos, considerados importantes para determinado tomador de decisão em um contexto específico.

Os modelos determinísticos, segundo Belfiore e Fávero (2013) são aqueles onde todas as variáveis de sua formulação são constantes e conhecidas pelo pesquisador. Ele é a resultante de uma solução exata singular e geralmente são resolvidos pelo uso de sistemas de equações.

Já os modelos estocásticos utilizam pelo menos uma variável aleatória, dentre as quais ao menos uma característica operacional é definida por funções probabilísticas. Estes modelos geram mais de uma solução, buscando analisar diferentes cenários, geralmente resolvidos por meio de programas de computador. (COLIN, 2015)

Santos *et al.* (2016) afirmam que a Pesquisa Operacional atua em cinco grandes áreas que se inter-relacionam, conforme apresentado na figura 2.



Figura 2: Áreas da P.O.
Fonte: Santos *et al.* (2016)

2.2 PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

De acordo com Colin (2015), este tipo de programação é utilizada para proporcionar ao decisor o melhor resultado possível para um problema de alocação de recursos.

Belfiore, Fávero (2013) afirmam que este tipo de modelo de programação é composto pelos elementos principais: variáveis de decisão e parâmetros; função objetivo; restrições.



2.3 MÉTODO SIMPLEX

Longaray (2013) afirma que este algoritmo foi desenvolvido e aperfeiçoado por George Dantzig, matemático norte americano que participou da equipe de cientistas durante a Segunda Grande Guerra, onde nasceu a PO. Este método permite concluir se o problema possui múltiplas soluções, é ilimitado ou inviável. Sua publicação ocorreu em 1947 e Dantzig ficou conhecido como “o pai da programação linear” (AÑONA, . SCAGLIAA, TOREZZANA, 2017)

Este método é resolvido por meio de iterações e utiliza como ponto de partida uma solução inicial básica que seja factível (SBF), e busca no decorrer de cada iteração, uma nova solução factível, sendo esta adjacente, e que possua melhores valores na função objetivo, até obter o valor ótimo. (BELFIORE, FÁVERO 2013) (BARBOSA, GOMES, CHAVES, 2017)

Outra descrição do funcionamento deste algoritmo se dá pela forma de fluxograma na figura 3, onde as etapas passo a passo podem ser observadas:

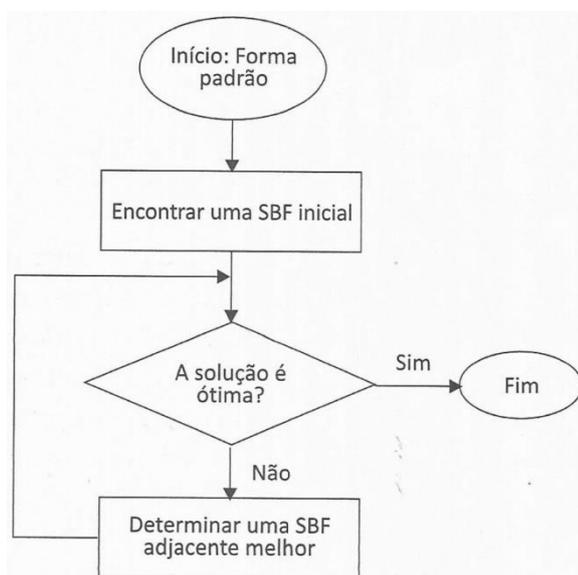


Figura 3: Fluxograma descritivo do método Simplex.

Fonte: Lachtermarcher (2009)

Araújo e Santos (2016) utilizam este tipo de modelagem para minimização dos custos de mão de obra utilizada por uma construtora, buscando a otimização da quantidade de recursos alocados no projeto para a execução do processo de construção de uma grande estrutura predial.

Lobato *et al* (2016) em seu estudo, aplicam a programação linear como potencial ferramenta para otimizar as ordens de produção mensais de uma empresa no ramo de bebidas refrigerantes, possibilitando o aumento nas receitas da organização.

2.4 PROGRAMAÇÃO INTEIRA

Colin (2015) afirma que os modelos programação linear inteira (PLI) possuem uma construção bastante similar aos modelos PL, compostos de uma função objetivo e restrições. A distinção se deve ao fato de pelo menos parte das variáveis de decisão do modelo PLI necessariamente serem números inteiros.

Figueiredo e Pitombeira-Neto (2017) utilizam a modelagem da programação inteira em seu estudo com o objetivo de dimensionar com maior precisão as escalas de trabalho dos



colaboradores de uma empresa distribuidora de combustíveis, possibilitando a minimização dos custos de mão de obra produtiva.

Domingues *et al* (2016) em seus estudos, utilizam a programação inteira mista para o sequenciamento de fabricação em uma linha de produção de tubos de aço de uma empresa siderúrgica de grande porte e que supre demandas inclusive internacionais.

Cavalcante (2017) também utiliza este tipo de modelagem para a correta alocação de disciplinas eletivas no curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Isto evidencia a grande diversidade de aplicações que um PLI pode aderir representando um cenário real.

2.5 ALGORITMO “BRANCH AND BOUND”

Este algoritmo foi desenvolvido em 1960 por Land e Doig especificamente para a resolução de problemas de PIB e PI. A estrutura para a solução é representada por uma árvore, onde os nós são os subproblemas e os ramos sempre conectam outros dois nós, o que indica as novas restrições que serão acrescentadas ao modelo. (BELFIORE e FÁVERO, 2013) (ROBBINS, HARRISON, 2010)

Na figura 4 é possível observar o exemplo de uma árvore gerada pelo algoritmo de *branch and bound*:

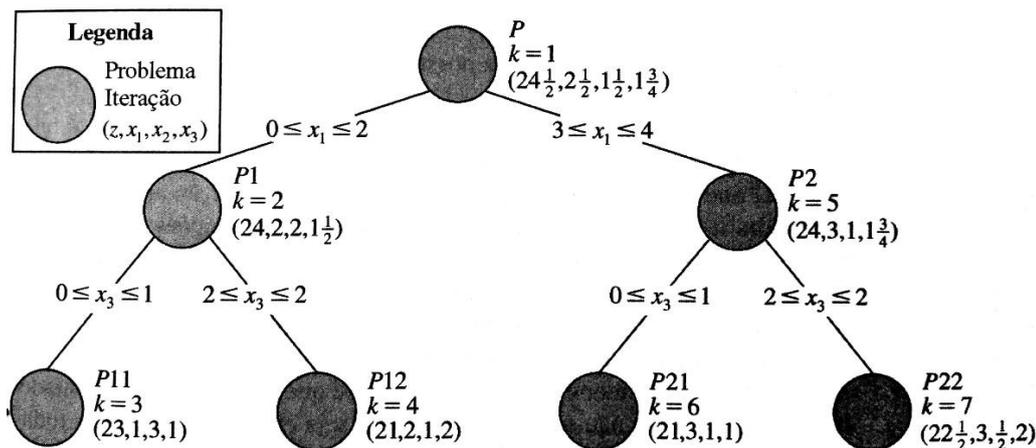


Figura 4: Árvore de “branch-and-bound”.

Fonte: Colin (2015)

2.6 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Para Oliveira *et al* (2013), o uso da pesquisa bibliométrica é essencial para transmissão da produção científica e o seu objetivo é alcançado mediante a aplicação de uma técnica capaz de medir a influência dos pesquisadores ou periódicos, permitindo traçar o perfil e suas tendências, além de evidenciar áreas temáticas.

Para análise de relevância do tema abordado por este trabalho, foi realizada uma pesquisa no Portal de Periódicos CAPES utilizando as palavras chave deste trabalho, e os dados coletados foram tratados e descritos no gráfico 1:

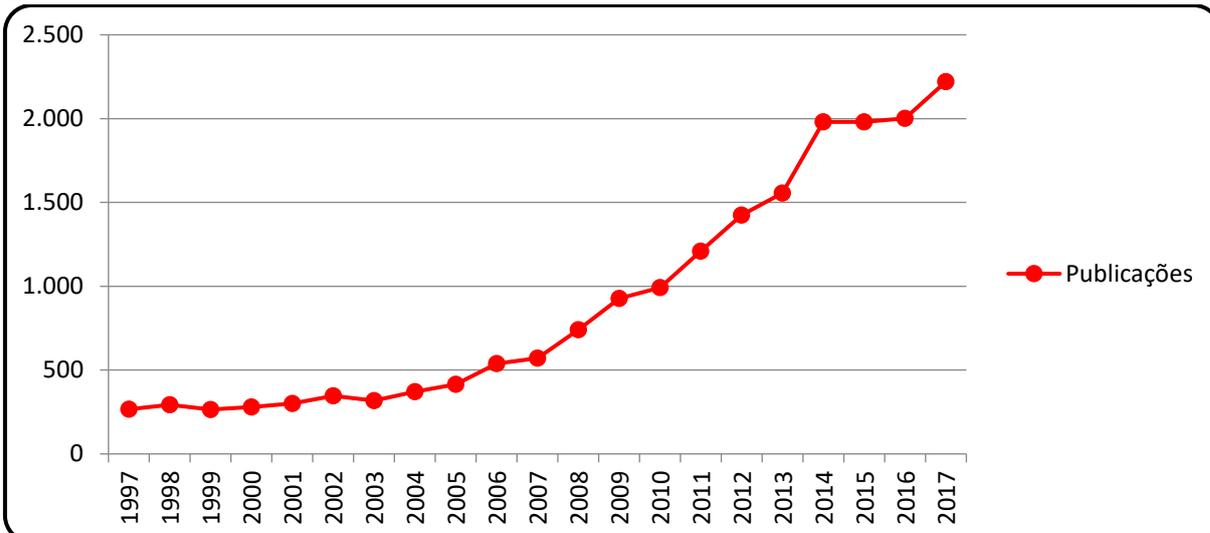


Gráfico 1: Número de artigos publicados com as palavras-chave *Integer Programming and decision-making*

Fonte: Portal de Periódicos da CAPES

No gráfico é possível verificar que as publicações com as palavras-chave *Integer Programming and decision-making* apresentam aumento a partir do ano de 2004, tendo se estendido até os últimos anos totalizando 19.275 publicações. Isso mostra que o assunto tem crescido em relevância ano a ano.

3. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Com base no contexto apresentado, o objetivo geral deste trabalho é definir mediante a programação matemática, a melhor combinação de produtos a ser fabricada para uma fábrica de sacos para lixo de médio porte, localizada no estado do Rio de Janeiro, a fim de maximizar as receitas líquidas da empresa, utilizando os estoques de matéria-prima disponíveis.

Na tentativa de compreender e estruturar o problema dentro do objetivo proposto anteriormente, foi elaborado o mapa mental – figura 5. No presente estudo, esta técnica foi utilizada para demonstração de todas as possíveis condições de contorno do problema abordado pelo estudo de caso.

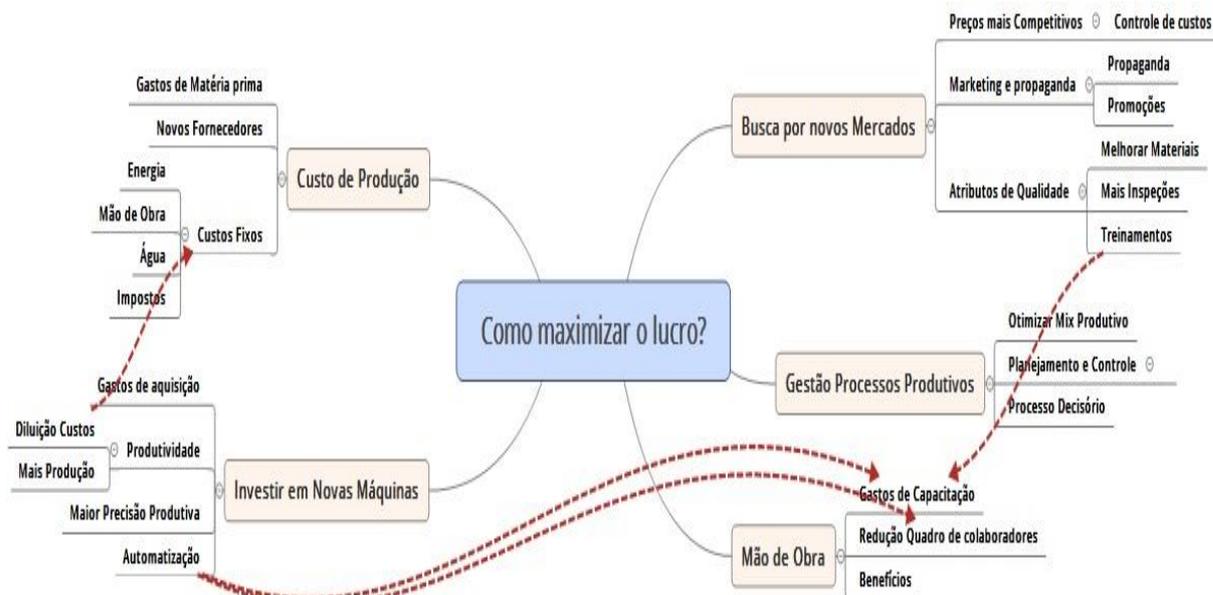


Figura 5: Mapa Mental com as condições de contorno do problema

Fonte: Autores (2018)

4. MODELO PROPOSTO

O software *Linear Interactive Discrete Optimizer* (LINDO), foi utilizado para o cálculo das iterações e da solução do problema. Para esta operação, levou-se em consideração apenas a quantidade de material utilizado na confecção das peças, sem considerar capacidade produtiva do parque industrial estudado; estudo de tempos do processo de manufatura; a disponibilidade de recursos para a fabricação; a capacidade de armazenamento dos estoques de produto acabado da empresa; os aspectos externos à organização, como demandas de mercado para consumo da produção sugerida, sazonalidades do negócio ou ainda consumos regionais.

4.1 VARIÁVEIS DE DECISÃO

Em se tratando de um portfólio de produtos bastante grande, com mais de 160 diferentes tipos de sacos para lixo, e com enorme complexidade, para a análise do estudo de caso realizado foi extraída uma amostra de 26 produtos, sendo estes os mais vendidos pela empresa, e por estes contribuírem com o equivalente a 79,69% do faturamento médio.

Como o objetivo do problema é saber a quantidade a ser produzida de cada modelo de saco plástico, as variáveis de decisão foram elaboradas da seguinte maneira:

- X₁: quantidade do produto SUPER FORTE 3X 015L C/20 ROLOS
- X₂: quantidade do produto SUPER FORTE 3X 030L C/20 ROLOS
- X₃: quantidade do produto SUPER FORTE 3X 050L C/20 ROLOS
- X₄: quantidade do produto SUPER FORTE 3X 100L C/20 ROLOS
- X₅: quantidade do produto SUPER FORTE 2X 015L C/25 ROLOS
- X₆: quantidade do produto SUPER FORTE 2X 030L C/25 ROLOS
- X₇: quantidade do produto SUPER FORTE 2X 050L C/25 ROLOS
- X₈: quantidade do produto SUPER FORTE 2X 100L C/25 ROLOS
- X₉: quantidade do produto SF RECICLADO 3X 015 C/20 ROLOS
- X₁₀: quantidade do produto SF RECICLADO 3X 030 C/20 ROLOS
- X₁₁: quantidade do produto SF RECICLADO 3X 050 C/20 ROLOS



- X₁₂: quantidade do produto SF RECICLADO 3X 100 C/20 ROLOS
- X₁₃: quantidade do produto SF RECICLADO PRETO 2X 015 C/25 ROLOS
- X₁₄: quantidade do produto SF RECICLADO PRETO 2X 030 C/25 ROLOS
- X₁₅: quantidade do produto SF RECICLADO PRETO 2X 050 C/25 ROLOS
- X₁₆: quantidade do produto SF RECICLADO PRETO 2X 100 C/25 ROLOS
- X₁₇: quantidade do produto REFORÇADO RECICLADO 2X 050 C/25 ROLOS
- X₁₈: quantidade do produto REFORÇADO RECICLADO 2X 100 C/25 ROLOS
- X₁₉: quantidade do produto REFORÇADO RECICLADO 5X 050 C/10 ROLOS
- X₂₀: quantidade do produto REFORÇADO RECICLADO 5X 100 C/10 ROLOS
- X₂₁: quantidade do produto FREEZER-ROLL 2 LITROS C/24 ROLOS
- X₂₂: quantidade do produto FREEZER-ROLL 3 LITROS C/24 ROLOS
- X₂₃: quantidade do produto FREEZER-ROLL 5 LITROS C/24 ROLOS
- X₂₄: quantidade do produto FREEZER-ROLL 02 LITROS PACK C/3 - C/24 ROLOS
- X₂₅: quantidade do produto FREEZER-ROLL 03 LITROS PACK C/3 - C/24 ROLOS
- X₂₆: quantidade do produto FREEZER-ROLL 05 LITROS PACK C/2 - C/24 ROLOS

4.2 RESTRIÇÕES DO MODELO

4.2.1 RESTRIÇÕES DE NÃO NEGATIVIDADE

Considera-se X_i a quantidade de cada peça a ser produzida, X_i ≥ 0 para todo i = {1,2,3,4, 5, 6...26}.

4.2.2 RESTRIÇÕES TÉCNICAS

Considerando os insumos disponíveis no estoque, verificou-se 19 tipos diferentes de matéria prima compondo os produtos em concentrações específicas, o que gerou 19 restrições técnicas, e cada uma delas equivale a disponibilidade de tipo de material que poderá ser usado em algum dos 26 diferentes tipos de fardos de produto, gerando por fim uma equação linear para cada matéria prima.

4.3 FUNÇÃO OBJETIVO

Com a finalidade de proporcionar o lucro mediante a maximização da receitas da empresa, por meio do mix produtivo, a função objetivo fica definida pelo somatório das receitas líquidas geradas pela venda de cada um dos produtos. Assim, tem-se:

$$\text{F.O.} = \text{Max} \{14,79X_1 + 14,06X_2 + 23,06X_3 + 20,84X_4 + 12,51X_5 + 12,07X_6 + 19,37X_7 + 17,47X_8 + 15,61X_9 + 13,69X_{10} + 22,07X_{11} + 21,05X_{12} + 13,4X_{13} + 11,95X_{14} + 18,83X_{15} + 17,65X_{16} + 18,43X_{17} + 17,3X_{18} + 18,11X_{19} + 18,15X_{20} + 7,15X_{21} + 8,71X_{22} + 11,45X_{23} + 7,42X_{24} + 9,08X_{25} + 11,88X_{26}\}$$

4.4 A SOLUÇÃO DO MODELO

Após a definição da função objetivo e de todas as restrições do problema, as equações foram inseridas no LINDO 6.1, e a modelagem pode ser vista na figura 6:



Figura 6: Interface do software LINDO com a modelagem matemática do problema

Fonte: Autores (2018)

Acerca da utilização do software LINDO 6.1, o modelo criado para o estudo de caso funcionou satisfatoriamente, gerando uma solução ótima para o problema da pesquisa, conforme a figura 7:

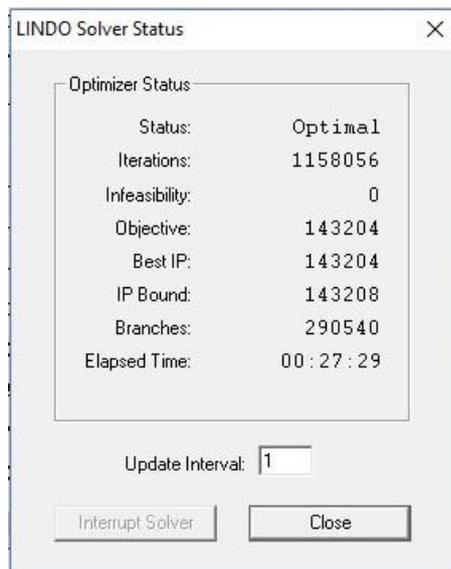


Figura 7: Resultado da execução no LINDO.

Fonte: Autores (2018)

Observa-se na figura 6 que para obter a solução ótima houve 1.158.056 iterações no método simplex utilizado no modelo, e o software encontrou uma solução ótima após aproximadamente 27 minutos de processamento computacional, e um total de 290.540 branches. A solução ótima do modelo PLI encontrada é $X_3 = 3$ fardos, $X_7 = 2.106$ fardos, $X_{10} = 2$ fardos, $X_{12} = 4$ fardos, $X_{13} = 74$ fardos, $X_{14} = 2.518$ fardos, $X_{15} = 851$ fardos, $X_{16} = 737$ fardos, $X_{21} = 5.883$ fardos e $X_{22} = 6$ fardos. A produção sugerida pela solução ótima geraria o retorno de R\$143.204,00 reais de lucro.



5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A solução ótima apresentada restringe o processo de fabricação aos produtos X_i ; $i \in \{3, 7, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 21, 22\}$. Por se tratar de apenas 10 produtos em um portfólio de aproximadamente 160 tipos diferentes de sacos para lixo, esta solução remete à hipótese uma possível redução da diversidade de produtos que a empresa oferece em suas linhas no mercado.

Tal redução possibilitaria a diminuição das trocas de programação de produtos nas máquinas da fábrica, o que traria uma série de benefícios. Dentre eles temos que a redução das trocas consequentemente acarretará no aumento do tempo disponível para produção em cada uma das máquinas, pois ao invés de estarem paradas durante as trocas de produto, as mesmas estarão rodando normalmente.

Outro benefício da decisão de redução de portfólio seria o fato de que os lotes de produção poderiam crescer de tamanho, devido à disponibilidade das máquinas, aumentando assim a permanência dos produtos em linha. Como os produtos ficariam mais tempo no recurso, o que gera a diminuição de ajustes no processo produtivo, possivelmente haveria a redução da quantidade de perda gerada tanto durante a produção (devido à estabilidade de processo) quanto as ocasionadas pelo processo de troca.

Seria possível também a criação de uma estratégia para a utilização de máquinas reservas, que somente entraria em linha em caso de emergências ocasionadas por quebra de componentes ou manutenções planejadas. Não seria necessário manter um estoque de peças de reposição, o que evitaria o capital parado, e as quebras deixam de gerar prejuízo pelo tempo do recurso indisponível e a urgência de retorno a produção deixa de ser um complicador.

Outro aspecto relevante acerca da solução do modelo, é o de que sobraria ainda 49 toneladas de matéria prima nos estoques da empresa, o que sugere um ponto importante de melhoria quanto ao redimensionamento dos estoques de matéria prima. A redução deste excedente de insumos, se traduzirá em economia de capital, que pode ser investido em outros setores.

O modelo possui, entretanto, algumas limitações quanto a solução ótima, como por exemplo o fato de não considerar as demandas do mercado, que é uma situação considerada natural qualquer tipo de negócio. Os produtos X_7 , X_{14} e X_{21} se produzidos na programação sugerida pela solução ótima, ficariam no estoque por mais tempo do que o desejado, pois as quantidades desta solução são bem maiores do que as médias de faturamento destes produtos pela empresa.

Outros produtos da solução ótima como X_3 , X_{10} , X_{12} e X_{22} estão sugeridos em quantidades muito pequenas para um lote produtivo que justifique a entrada deles em linha. Estas quantidades certamente gerariam prejuízo se fossem colocadas em produção, pois as perdas e demais custos de fabricação não serão diluídos. Por fim, o portfólio seria ainda mais reduzido.

A redução dos tipos de produtos que a empresa oferece geraria uma ruptura no fornecimento dos produtos que forem descontinuados, e a demanda por eles continuaria. A reação do mercado consumidor à esta mudança é imprevisível, podendo gerar insatisfação dos clientes e em último caso a opção por outra marca de produtos.

Alguns modelos de sacos para lixo do portfólio da empresa são fornecidos com um forte cunho estratégico, e os motivos estão aquém da priorização do lucro. São produtos que não possuem uma margem de lucro tão satisfatória quanto os sugeridos pela solução ótima, mas



desempenham o papel de fidelização de clientes. Para casos específicos como estes produtos, o modelo proposto não contempla restrições dessa natureza.

O software LINDO mostra-se uma ferramenta satisfatória para o segmento de pesquisa do estudo de caso realizado, e obteve sucesso ao encontrar uma solução ótima para o modelo proposto. O LINDO não encontrou dificuldades durante a execução do modelo, o que sugere possíveis que incrementos de variáveis no problema ou ainda o acréscimo de outros tipos de restrições, no futuro, não serão problema para sua precisa execução.

Observou-se também que o modelo adotado foi capaz de atender as restrições de estoque de materiais. Desta maneira, mediante as análises realizadas durante o estudo de caso, pode-se afirmar que o estudo alcançou o seu objetivo geral, e configura-se em oportunidade para a aplicação das teorias da programação matemática e da pesquisa operacional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de obtenção de um mix produtivo que possibilitasse o lucro máximo, pelo uso das matérias primas disponíveis no estoque. Para este fim, a ferramenta da PO conhecida como programação inteira, adotada devido à natureza do problema, onde as variáveis de decisão são fardos fechados de produto e há necessidade de valores inteiros para a solução ótima.

O modelo proposto é capaz de sugerir a fabricação de produtos baseada nos parâmetros da função objetivo, e mediante a alocação das matérias primas com eficácia. Verifica-se que o modelo matemático abordado possui potencial para estudos em outros setores produtivos da empresa, pois trata-se de uma ferramenta confiável, quando modelada de forma consciente, e que possibilita a rapidez nas análises decisórias.

A organização poderá utilizar esta ferramenta, como um facilitador para o processo de tomada de decisão, principalmente dentro do contexto de escassez de matéria prima onde o máximo retorno é ainda mais necessário para a empresa e estratégias paralelas de portfólio, comentadas no item 3.4 do estudo, são abandonadas. Independente da aceitação do modelo pela organização, esta pesquisa também possui um viés de ampliar os horizontes acerca da busca por soluções inovadoras e de incentivar as lideranças dos setores produtivos da empresa.

A solução proposta possui algumas ressalvas. Por exemplo, a redução do portfólio de produtos, que possuem faturamento relevante, e a sugestão da produção de pequenos lotes de determinados tipos de sacos para lixo. O lucro alcançado por meio do modelamento matemático não se traduz fielmente a um lucro global, pois a pesquisa somente contabilizou os insumos para a fabricação dos produtos que são ou não viáveis com o estoque disponível, excluindo os demais.

Para futuros trabalhos, podem ser sugeridos:

- Realizar a modelagem utilizando o portfólio completo de produtos, o que certamente irá gerar resultados diferentes, devido à margem de lucro de cada um dos tipos de saco para lixo.
- Realizar a modelagem com o mesmo portfólio de produtos, com o objetivo de minimização de custos produtivos.
- Realizar nova pesquisa adotando a modelagem multicritério ao problema, o que possibilitará utilizar mais de um tipo de objetivo, como por exemplo o lucro e o tempo de fabricação.



7. REFERÊNCIAS

- AÑONA, I. C., SCAGLIAA, A. J., TOREZZANA, C.** Um Modelo de Programação Linear Inteira para Otimização de Recursos na Designação de Árbitros para o Campeonato Brasileiro de Futebol. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, Vol. 9, n. 1, p. 10-17, 2017
- ABEPRO.** A Profissão. Portal ABEPRO, 2018. Disponível em: <<http://portalabepro.educacao.ws/a-profissao/>>. Acesso em: 25 fev. 2018.
- ABIPLAST.** RELATÓRIO. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/estatisticas>>. Acesso em: 30 mar. 2017.
- ALMEIDA, A. T. de.** Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério. São Paulo, Atlas, 2013.
- ARAUJO, R. R.; SANTOS, Y. B.** Utilização da pesquisa operacional para a minimização de custos de mão de obra em uma construtora localizada na região metropolitana de Belém. Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa/PB, 2016.
- ARENALES, M., [et al.].** Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia. 2ª Ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2015.
- BARBOSA, L. H. S.; GOMES, C. F. S. ; CHAVES, M. C. C.** Scheduling of agents in inbound multilingual call centers. *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, v. 14, p. 228-237, 2017
- BELFIORE, P. / FÁVERO, L.** Pesquisa Operacional Para cursos de Engenharia – Rio de Janeiro-RJ: Elsevier (2013)
- BRASKEM.** Downloads. BRASKEM, 2012. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/download/Principal/21103?file=Cartilha_Braskem.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2017.
- CAIXETA-FILHO, J. V.** Pesquisa Operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- CAVALCANTE, E. M. C.** Um estudo de caso sobre a alocação de disciplinas eletivas no curso de Engenharia de Produção da UFPE-CAA aplicando a programação inteira: Uso do Solver na busca pela solução ótima. Anais do XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Joinville/SC, 2017.
- CHIAVENATO, I.** Introdução à Teoria Geral da Administração. – Rio de Janeiro-RJ: Elsevier (2004)
- COLINS, E. C.** Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas – Rio de Janeiro: LTC (2015)
- DAVENPORT, T. H.** Reengenharia de processos. - Rio de Janeiro: Campus, p. 6-8, (1994).
- DOMINGUES, M. A.; MAPA, S. M.; BUENO, R. O.; GONÇALVES, R. C.; PAIVA, A. A.** Otimização do sequenciamento de produção com abordagem just-in-time e tempos de setup dependentes da sequência em uma usina siderúrgica. Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa/PB, 2016.
- DOVER-ROLL.** Empresa e Marca. Dover Roll, 2018. Disponível em: <<http://www.dover-roll.com.br/empresa-e-marca/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- FIGUEIREDO, C. C., PITOMBEIRA-NETO, A. R.** Desenvolvimento de um modelo de programação linear inteira para a determinação de escalas de trabalho em uma empresa distribuidora de combustíveis. Anais do XXIV Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru/SP, 2017.
- HILLIER, F. S., LIBERMAN, G. J.** Introdução a Pesquisa Operacional. 9ª Ed. – Porto Alegre-RS: AMGH, 2013.
- LACHTERMANCHER, G.** Pesquisa Operacional na tomada de decisões. 4ª Ed. – São Paulo: Prentice Hall do Brasil (2009)
- LOBATO, B. C.; PINHO, A. P.; RIBEIRO, M. Y.; CARMO, E. P.; MARTINS, H. dos Santos.** Utilização da programação linear para tomada de decisão na produção mensal em uma empresa de refrigerantes de pequeno porte. Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa/PB, 2016.
- LONGARAY, A. A.** Introdução à Pesquisa Operacional. 1ª Ed. – São Paulo: Saraiva, 2013.
- OLIVEIRA, Sheila Cristina Macário; et al.** Bibliometria em artigos de contabilidade aplicada ao setor público. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 20., 2013, Uberlândia. Anais.... São Leopoldo: Associação Brasileira de Custos, 2013.



SANTOS, Marcos dos; LIMA, I. C.; CARVALHO, F. B.; REIS, M. F.; SOUZA JUNIOR, Paulo Roberto. O uso da Programação Linear Inteira (PLI) no Apoio à Decisão e a Otimização do Mix de Produção. Anais do XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Joinville/SC, 2017.

SANTOS, Marcos dos; SILVA, A. M. T.; LIMA, I. C.; DIAS, F. C.; MARTINS, E. R. Application of AHP Method in the formation of a Performance Indicator for Operational Level Professionals. *International Journal of Development Research*, v. 06, issue 12, p. 10610-10615, 2016.

SLACK, N. Administração da Produção. 4ª Ed. – São Paulo-SP: Editora Atlas (2015)

ROBBINS, T. R., HARRISON, T. P. A Stochastic Programming Model For Scheduling Call Centers With Global Service Level. *European Journal of Operational Research*, Volume 207, Issue 3, 16 December 2010, Pages 1608-1619