

USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NA PRODUÇÃO DO CREME DE AÇAÍ

Adriano Marinheiro Pompeu¹

João Victor de Holanda Porto Correia²

João Marcos da Silva Oliveira³

Nicole Maria da Silva Romeiro⁴

Lara Joanna Cardoso Nunes Ferreira⁵

Libel Pereira da Fonseca⁶



RESUMO

A busca incessante das empresas por métodos e ações que otimizem seus recursos, é pauta constante em reuniões e encontros empresariais, haja vista que toda empresa se preocupa com a redução de custos e maximização dos lucros. Produtos como a polpa de açaí, tem ocupado espaço no mercado alimentício, por empresas que buscam proporcionar aos clientes alimentação saudável, juntamente com doces, frutas e guloseimas. Perante a estes preceitos, a necessidade da utilização de técnicas como Pesquisa Operacional, apresenta-se como fator determinante para o sucesso em empresas que buscam redução de custos e otimização de recursos. Neste sentido, esta pesquisa analisou uma empresa de creme de açaí na cidade de Marechal Deodoro-AL com o objetivo de aplicar conceitos de Pesquisa Operacional, buscando desenvolver um modelo de programação da produção, otimizando seus recursos, por meio da melhor solução possível de redução do tempo de produção e redução de custos na utilização dos recursos. Foi realizado um estudo e caso, onde foram efetuadas coletas de dados e observação direta nos processos produtivos da empresa. Assim, foi possível determinar soluções ótimas, pois a empresa necessitava de um planejamento mais conciso relacionado ao uso dos seus recursos limitados, dos quais: matéria prima, mão de obra, tempo de operação e capacidade produtiva, por meio de modelos matemáticos, especificamente a programação linear.

PALAVRAS-CHAVE

Pesquisa Operacional. Programação da Produção. Otimização.

ABSTRACT

The incessant search of companies for methods and actions that optimize their resources, is a constant theme in business meetings and meetings, given that every company is concerned with reducing costs and maximizing profits. Products such as açai pulp, have occupied space in the food market, by companies that seek to provide customers with healthy food, along with sweets, fruits and sweets. In view of these precepts, the need to use techniques such as Operational Research is a determining factor for success in companies seeking to reduce costs and optimize resources. In this sense, this research analyzed an açai cream company in the city of Marechal Deodoro / AL with the objective of applying Operational Research concepts, seeking to develop a production scheduling model, optimizing its resources, through the best possible solution to reduce the production time and cost reduction in the use of resources. A study and case were carried out, where data were collected and direct observation in the company's production processes. Thus, it was possible to determine optimal solutions, since the company needed more concise planning related to the use of its limited resources, of which: raw material, labor, operating time and productive capacity, through mathematical models, specifically the Linear Programming.

KEYWORDS

Operational Research. Production Schedule. Optimization.

1 INTRODUÇÃO

Empresas de diversos setores almejam maneiras mais eficientes de melhorar suas atividades, logo buscam por métodos que otimizem a rotina e a tomada de decisão. Neste contexto, uma alternativa eficiente é a descrição de seus processos por meio dos modelos matemáticos ou estatísticos com a finalidade de aprofundar o conhecimento sobre comportamento do negócio.

Uma ciência que tem como definição "pesquisa sobre operações" pode auxiliar na modelagem, pois é aplicada com o intuito de resolver problemas relacionados a condução e coordenação das operações em uma organização. Com isso, a Pesquisa Operacional (PO) pode ser aplicada alinhada com os conceitos de programação da produção, visto que suas técnicas almejam o melhor direcionamento dos recursos disponíveis.

Conforme Hillier e Lieberman (2013), houve um avanço considerável da PO depois que os conceitos da Programação Linear (PL) foram inseridos. A PL é classificada como uma das descobertas mais importantes da ciência do século XX. Os autores complementam relatando que seu impacto desde 1950 é elevado. Atualmente pode

ser vista como uma ferramenta padrão em grande empreendimento e auxiliou na redução de milhares de dólares em custos.

No intuito de justificar a representatividade da PL no cenário da manufatura e de empresas que prestam serviços. Um problema padrão nos negócios é a destinação correta, isto é, de maneira ótima, dos recursos disponíveis para a funcionalidade da organização, visto que existem processos que competem internamente por estes recursos. A PL utiliza de modelagem matemática para descrever o problema da melhor destinação dos recursos limitados.

Conforme Carneiro (2017), os modelos matemáticos, criados por meio de conceitos da PL, são fundamentais para tomada de decisão dentro das organizações, no que se refere à utilização de técnicas e conceitos eficientes com a premissa de garantir melhores rotas, destinação de recursos escassos e melhores práticas operacionais.

Neste contexto, a utilização da PO em processos produtivos auxilia na gestão e facilita a tomada de decisão, uma vez que permite que as alterações sejam testadas previamente, por meio da modelagem, com margem de erro pequena ou dentro dos limites, desta forma o padrão de decisões que, normalmente, são tomadas por meio das experiências anteriores torna-se obsoleto (PASSOS, 2008).

A empresa analisada está localizada no município de Marechal Deodoro-AL e produz um creme derivado do açaí. O processo produtivo inclui a quantificação da matéria prima, trituração, pasteurização, mistura, envase e estocagem. A empresa produz cinco tipos de produtos, sendo distinguidos por tamanhos, a organização dispõe 9 horas de trabalho diários e suas matérias primas são: polpa de açaí, o xarope de guaraná e banana.

Portanto, o propósito desse trabalho é aplicar a Pesquisa Operacional em uma empresa de açaí localizada no município de Marechal Deodoro-AL, com o intuito de desenvolver um modelo de Programação Linear direcionado a produção. Essa aplicação pretende otimizar as demandas diárias de cada produto, prezando pelo menor tempo possível de produção, reduzindo custos ao destinar da melhor forma os recursos disponíveis. Além disso, o estudo busca tornar mais fácil a tomada de decisão do processo produtivo.

2 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Para programar uma produção é necessário visualizar o processo de forma sistêmica, uma vez que todas as variáveis precisam ser consideradas. O grau de complexidade do planejamento e programação da produção variam de acordo com o tipo de sistema produtivo que a empresa segue, que podem ser do tipo: puxado, onde a empresa produz conforme a demanda, ou empurrado no qual a produção é voltada para estocar (LOZADA, 2017).

A Programação da Produção (PP) está encarregada em definir quanto e quando comprar, fabricar ou montar de cada item necessário à composição dos produtos acabados propostos pelo plano mestre de produção. Neste sentido, como resultado da programação da produção, são emitidas ordens de compra para itens comprados,

ordens de fabricação para itens fabricados internamente e ordens de montagem para submontagens intermediárias e montagem final dos produtos definidos no plano mestre de produção (TUBINO, 2017).

As atividades da programação da produção, apesar de serem desenvolvidas em paralelo, podem ser divididas, pois a PP é responsável em cuidar da gestão dos estoques, do sequenciamento e da emissão e liberação das ordens. Sendo assim, as questões que podem ser resolvidas ao se aplicar uma PP são: a quantidade necessária de produção, com o intuito de atender as demandas diárias e a quantidade que o estoque precisa suportar sem que haja perda de produtos, ou seja, definição do tamanho do lote de reposição para que assim, a empresa garanta uma maior organização produtiva (LOZADA, 2017).

Dentro destas atividades são visualizadas situações em que podem ser usados os conceitos de PO, pois nessa realidade empresarial, as atividades envolvidas podem ser relatadas ou transcritas em equações e inequações, visando sempre maximizar ou minimizar, respectivamente, lucros e custos (LAGE JÚNIOR, 2019).

2.1 PROGRAMAÇÃO LINEAR

Programação Linear (PL) é uma técnica descrita por meio de sistemas de equações (ou inequações) lineares que mostra um modelo previamente elaborado. Um problema comum em PL é a maximização ou minimização de uma função linear, seguindo algumas restrições de caráter linear com o objetivo de chegar ao melhor resultado possível (SANTOS *et al.*, 2016).

Dentre as técnicas gerenciais, a PL trata do problema de alocação ótima de recursos escassos para a realização de atividades, ou seja, por ótimo entendemos que não haja outra solução que seja melhor do que a oferecida. Dessa maneira Colin (2019) descreve que as atividades se relacionam com algum interesse que tenhamos na fabricação de produtos, na mistura de substâncias, no atendimento ao público, no transporte e armazenagem de mercadorias.

Pode-se entender de forma mais sucinta que o modelo de Programação Linear tem como objetivo exemplificar uma situação real, por meio algébrico. Esse modelo induz a prever e explicar os fenômenos que ocorrem nas ciências e têm por finalidade auxiliar na tomada de decisão (PASSOS, 2008).

A função objetivo, as variáveis têm a possibilidade de assumirem outros valores no mesmo espaço factível, os valores variaram a uma taxa constante dos recursos utilizados (linearidade das restrições e da função objetivo); os valores assumidos pelas variáveis serão nulos ou positivos (ARENALES *et al.*, 2015).

A função objetivo ou função de eficiência representa o principal objetivo do tomador de decisão, que mede o desempenho do sistema, no caso, a capacidade de maximizar ou minimizar. Seu objetivo reflete o critério de otimização das variáveis de decisão e deve ser escrita em forma matemática, analogamente aos modelos de simulação, trata-se do indicador avaliação da solução obtida (ANDRADE, 2015).

As variáveis são utilizadas no modelo que podem ser controladas pelo tomador de decisão, compõem tanto a função objetivo como as restrições e em geral são designadas por letras ou por uma letra indexada com um número. A solução do problema é encontrada testando-se diversos valores das variáveis de decisão. Para Caixeta Filho (2011), tais variáveis podem estar sujeitas a uma série de limitações também conhecidas como restrições do problema, normalmente representadas por inequações.

No desenvolvimento de um modelo de programação linear, algumas características devem ser levadas em consideração, desse modo todo o problema pode ser descrito por meio de uma função objetivo e de um conjunto de restrições, todas lineares. De fato, para Hillier e Lieberman (2013) qualquer problema cujo modelo matemático se encaixe no formato bem genérico para o modelo de programação linear, é um problema de programação linear. Assim, a Figura 1 apresenta o modelo genérico da programação linear.

Figura 1 – Modelo geral de problemas de programação linear

$$\begin{aligned} &\{\text{Max, Min}\} Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\ &\text{sujeito a} \\ &a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \{=, \leq, \geq\} b_1 \\ &a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \{=, \leq, \geq\} b_2 \\ &\dots \\ &a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \{=, \leq, \geq\} b_m \\ &x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{aligned}$$

Fonte: Adaptado de Loesch e Hein (2009).

Onde:

- x_1, x_2, \dots, x_n = conjunto de variáveis estruturais do problema;
- c_1, c_2, \dots, c_n = coeficientes da função objetivo;
- a_{ij} e b_j = coeficientes das restrições. Os coeficientes da mão direita serão considerados não negativos, uma exigência imposta pela teoria do método Simplex;
- A representação $\{=, \leq, \geq\}$ significa a presença de uma dessas três relações em cada restrição;
- A função objetivo expressa a meta que se deseja atender. Essa meta ou será de maximização ($\text{Max } Z = \dots$) ou de minimização ($\text{Min } Z = \dots$).

As restrições expressam limites a serem respeitados, pois algoritmo de resolução procura a solução ótima no espaço de soluções compatíveis com o problema de PL, assim o espaço de pontos cujos componentes são valores das variáveis que atendem ao conjunto de restrições. Os valores de todos os coeficientes são conhecidos durante a modelagem do problema, as variáveis são calculadas pelo algoritmo de resolução, além disso na PL, todas as variáveis devem ser quantidades reais (LOESCH; HEIN, 2009).

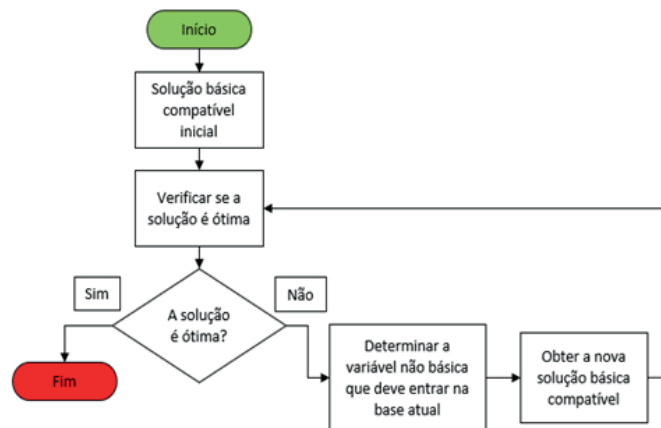
2.2 MÉTODO SIMPLEX

A fim de chegar à solução de um problema, o método Simplex pesquisa soluções básicas que envolve uma sequência de cálculos repetitivos compatíveis dentro da área factível gerada pelas restrições do problema. Havendo uma solução inicial para as equações não necessariamente significa a melhor solução possível, assim o algoritmo faz um novo ciclo com intuito de encontrar o ponto extremo da solução ótima, ou seja, o resultado melhora a cada ciclo do algoritmo (MOREIRA, 2017).

Ferramenta que, em geral, se utiliza para a resolução de problemas de alocação de recursos, como o objetivo de encontrar o valor que assuma as variáveis do problema, sempre respeitando as restrições, o Método Simplex é o algoritmo que tem uma forma inteligente na resolução do impasse com essas características. Este nome deriva do fato de que as relações matemáticas dos modelos dos problemas de alocação de recursos são todas equações ou inequações lineares (ANDRADE, 2015).

O Método Simplex deve parecer bastante intuitivo, assim as soluções ótimas para qualquer problema de programação linear residam nos limites da região de soluções viáveis, pois essa é uma propriedade genérica. Pelo fato de esses limites corresponderem a um conceito geométrico, Hillier e Lieberman (2013, p.153) descrevem que “o limite da região de soluções viáveis contém apenas aquelas soluções viáveis que satisfazem uma ou mais equações limite de restrição”.

Figura 2 – Algoritmo Simplex



Fonte: Adaptado de Passos (2008).

Neste ponto, a função objetivo tende a aumentar seu valor (no caso da maximização) ou diminuir (no caso da minimização), mas é fundamental utilizar regras de parada que testem a situação em que: (I) a solução ótima tenha sido alcançada, (II) o caso de solução ótima seja ilimitada, (III) não exista uma solução viável. A figura 2 exemplifica a série de passos para solução do problema de programação linear com o método Simplex (MOREIRA, 2017).

O Simplex exige que todas as inequações sejam transformadas em igualdades, assim, acrescenta uma variável de folga que simbolicamente apropria-se do recurso

correspondente não usado. A aplicação do método Simplex na forma originalmente concebida exige que o problema esteja na forma padrão, com suas variáveis de folga e/ou artificiais, com a restrição de não-negatividade de todas variáveis e com os valores da mão direita nas restrições não negativos (LOESCH, 2009).

3 METODOLOGIA

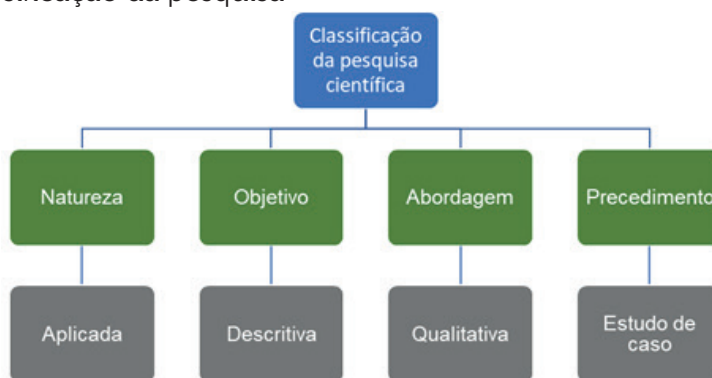
A fim de evidenciar as ocorrências que surgem nos mais diversos ambientes, sejam eles empresariais, científicos, humanos ou sociais, é fundamental escolher uma forma de pesquisa que facilite as análises, planejamento e desenvolvimento. Conforme Gil (2017), uma maneira de averiguar as ocorrências de uma forma mais empírica e comparar as visões teóricas com o que de fato acontece na realidade é essencial seguir um modelo conceitual e operativo.

A descrição de um plano de produção interligado aos conceitos de Pesquisa Operacional, tendo como base uma maior eficiência nos resultados, é de suma importância efetuar uma coleta de dados no ambiente operacional. Deste modo, o estilo dessa atividade encaixa-se em um grupo conhecido como delineamento, que explica a forma de como serão tratados os dados (GIL, 2017).

Ao buscar maiores entendimentos sobre processos produtivos, foram coletadas informações por meio de visitas ao ambiente na qual ocorre a atividade, ou seja, na parte das operações da empresa, que são caracterizadas pelas interações entre pessoas, métodos e maquinários, com a premissa de buscar melhorias para essas atividades. Isso, de acordo com Gil (2017) se enquadra no estudo de caso, e, portanto, o meio que foi escolhido para o presente trabalho.

Conforme Marconi e Lakatos (2017) o estudo de caso tem como finalidade entender profundamente um determinado caso ou um conjunto, pois buscar todos os aspectos que regem os mesmos. Yin (2015), complementa que um estudo de caso é a forma mais profunda de compreender um acontecimento com o decorrer de seu desenvolvimento. A Figura 3 é um esquema que define de forma sucinta o viés da pesquisa.

Figura 3 – Classificação da pesquisa



Fonte: Autores (2020).

A criação da função objetivo e das restrições, ou seja, a modelagem matemática que descreve o comportamento o processo produtivo do creme de açaí necessita de um método de investigação científico indutivo, visto que parte de uma análise dos fatos ou fenômenos onde é necessário averiguar as causas com a premissa de gerar uma conclusão mais assertiva sobre o assunto.

Gil (2019) descreve que o pensamento indutivo não tem o objetivo de buscar, primariamente, a priorização de um fato, sem antes fazer devidas constatações da situação em campo, ou seja, é fundamental, de antemão, fazer análises de cenários concretos, suficientemente confirmados, assim é possível tomar uma conclusão mais plausível sobre o determinado objeto de estudo.

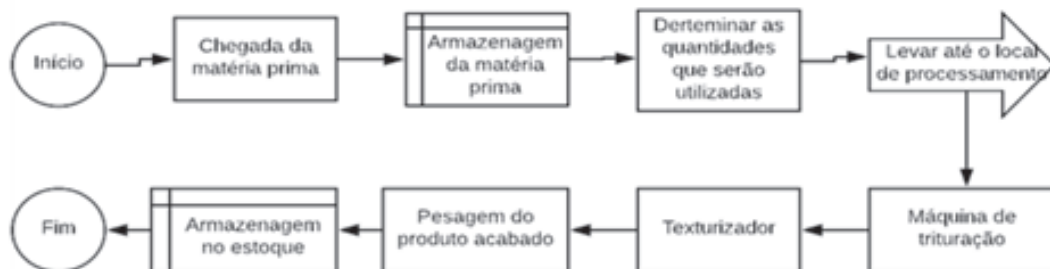
A característica dos dados que serão coletados, a extensão da amostra, as técnicas e ferramentas utilizados na pesquisa, juntamente com a ideia teórica que norteia a investigação, conforme Marques (2014), a pesquisa qualitativa é um processo que descreve o método indutivo, pois inicia-se com o objeto exploratório mais amplo, exemplo: os vários dados coletados na pesquisa, ao tratar, surge uma série de análises e priorizações das ações necessárias para prosseguir com o estudo.

3.1 ANÁLISE DO PROBLEMA

A empresa atua no mercado há 12 anos e sua premissa é produzir com eficiência, trazendo satisfação ao consumidor, qualidade e um sabor instigante aos mais diversos paladares. É formada por 19 funcionários, nos quais, são discriminados da seguinte forma: 2 gestoras e proprietárias, 3 motoristas, 6 ajudantes operacionais, 3 da manutenção e 5 na área administrativa.

A empresa, atualmente, produz 5 tipos de produtos, dos quais, as mudanças de um para outro são apenas os insumos, ou seja, a configuração das vasilhas. A Figura 4, esboça o esquema do conjunto de atividade envolvidas no processo de fabricação do creme de açaí, essa representação esquematiza as etapas e torna mais fácil a identificação dos dados mais importantes para o modelo matemático.

Figura 4 – Fluxograma do Processo Fabricação do Creme de Açaí



Fonte: Autores (2020).

O mapeamento facilitou na elaboração das restrições do problema, pois trouxe uma visão geral do comportamento do sistema e conhecimento das atividades que geram valor para o produto acabado, ou seja, as atividades que são mais importantes na empresa

A etapa de armazenagem e estocagem dos açais é considerada etapa crucial do processo, pois os estoques são feitos em *freezers* que consomem uma parcela considerável de energia, representando cerca de 20% dos custos da empresa por mês. A Figura 4 mostra alguns dos *freezers* utilizados para estocagem dos açais.

Figura 5 – *Freezers* para estocagem dos açais



Fonte: Autores (2020).

No atual cenário, não existe nenhuma análise sobre quais produtos devem ser priorizados para o armazenamento e estocagem, vendas e produção, visando o maior aproveitamento dos recursos, além de buscar a maior lucratividade, levando em conta demanda, tempo disponível de operação, mão de obra, matéria-prima e capacidade produtiva.

Vale salientar que algumas características observadas no processo facilitam a aplicação da Programação Linear, visto que são entradas (inputs) transformação (Processamento) e saídas (outputs), visando a melhoria na utilização dos recursos disponíveis e otimização dos estoques, deste modo, a modelagem matemática pode ser utilizada com o intuito de gerar o programa ótimo de produção, melhor aproveitamento dos espaços disponíveis nos *freezers* e tomada de decisão mais assertiva para o negócio.

Outro ponto crucial para a pesquisa é que o problema gerado pela modelagem tem uma magnitude elevada, sendo fundamental, nestas circunstâncias usufruir dos recursos computacionais, haja vista que é necessário um número de repetição considerável do algoritmo Simplex fundamentado pela literatura acadêmica. Para chegar na solução ótima do impasse o *software* escolhido foi o *Excel da Microsoft*, por conta da acessibilidade e facilidade na aplicação.

3.2 FUNÇÃO OBJETIVO DO PROBLEMA

As variáveis que têm a responsabilidade de aumentar ou diminuir o lucro da empresa são os produtos produzidos e vendidos, entretanto, para completar a equação é preciso encontrar os coeficientes e sua igualdade. Esses valores podem ser ob-

tidos por meio de uma coleta de dados, com intuito de encontrar o lucro unitário de cada produto. Em seguida, mostra a função que será maximizada.

$$\max Z = \sum_{i=1}^n a_i x_n \quad (3.1)$$

A equação Z é a função que busca a otimização, as incógnitas até são os coeficientes e até são as variáveis do problema. Os dados adquiridos na pesquisa são descritos na Tabela 1:

Tabela 1 – Produtos e lucro por unidade

Variáveis	Produtos da empresa	Coefficientes	Lucro por cada unidade vendida
x_1	Embalagem de 220 gramas c/ granola	a_1	R\$ 2,70
x_2	Caixinha de 260 gramas	a_2	R\$ 3,00
x_3	Pote de 900 gramas	a_3	R\$ 11,45
x_4	Pote 2 kg	a_4	R\$ 15,35
x_5	Balde ou caixa de 5 kg	a_5	R\$ 35,90

Fonte: Autores (2020).

(
A Tabela 1 mostra todos os dados coletados na empresa do creme de açaí, sendo divididos em produtos fabricados e seus respectivos preços de venda. Portanto, a função objetivo do problema é:

$$\max Z = 270x_1 + 3x_2 + 11,45x_3 + 15,35x_4 + 35,90x_5 \quad (3.2)$$

Vale salientar que refere-se aos produtos de embalagem de 220 gramas c/ granola, seu coeficiente de R\$ 2,70 é o lucro unitário para cada venda efetuada deste produto; são os produtos da caixinha de 260 gramas, com o valor unitário de lucro para cada venda de R\$ 3,00; refere-se aos potes de 900 gramas, com lucro unitário de R\$ 11,45 para cada venda; é a variáveis que representa os potes de 2 kg, lucro de R\$ 15,35 e, finalmente, a variável refere-se aos pote de 5 kg, com lucro unitário de 35,90 reais.

3.3 RESTRIÇÕES DO PROBLEMA

As restrições do problema de maximização são divididas em 4 partes, a primeira foi obtida mediante a capacidade máxima da fábrica, em produzir o açaí:

$$0,200x_1 + 0,260x_2 + 0,900x_3 + 2x_4 + 5x_5 \leq 780 \quad (3.3)$$

De até são as variáveis, ou seja, o número de cada produto a ser produzido, os coeficientes são as capacidades de armazenamento de cada pote, isto é, o peso uni-

tário de cada produto, 780 kg representa a medida de quanto a empresa pode fabricar durante um dia de trabalho. A empresa necessita atender a uma demanda diária de cada produto, a Tabela 2 mostra a quantidade de cada produto que deve ser entregue.

Tabela 2 – Demanda diária da empresa

Nome do produto	Demanda diária
Embalagem de 220 gramas c/ granola	100
Caixinha de 260 gramas	100
Pote de 900 gramas	Sem demanda definida
Pote 2 kg	35
Balde ou caixa de 5 kg	25

Fonte: Autores (2020).

Transcrevendo para inequações:

$$x_1 \geq 100 \quad (3.4)$$

$$x_2 \geq 100 \quad (3.5)$$

$$x_4 \geq 35 \quad (3.6)$$

$$x_5 \geq 25 \quad (3.7)$$

O tempo de trabalho também é uma restrição do problema, a empresa tem 8 horas, ou seja, 480 minutos diárias para a fabricação de cada produto, sua inequação tem a seguinte característica:

$$0,2x_1 + 0,25x_2 + 0,5x_3 + 0,625x_4 + 0,869x_5 \leq 480 \quad (3.8)$$

De x_1 até x_5 são as variáveis do problema, seus coeficientes estão expostos na Tabela 3:

Tabela 3 – Coeficientes das variáveis do problema

Tempo para fabricação	Número de produtos fabricados
20 minutos	100 Embalagem de 220 gr c/ granola
20 minutos	80 Caixinha de 260 gramas
20 minutos	40 Pote de 900 gramas
20 minutos	32 Pote 2 kg
20 minutos	23 Balde ou caixa de 5 kg

Fonte: Autores (2020).

A última restrição da melhoria proposta foi a matéria-prima, no processo de fabricação do açaí são utilizadas 3 matérias-primas, são elas: xarope de guaraná, polpa de açaí e banana a Tabela 4 exhibe as quantidades diárias de cada matéria prima.

Tabela 4 – Matérias primas

Matéria prima	Quantidade
Xarope de guaraná	30 litros
Polpa de açaí	140 kg
Banana	150 kg

Fonte: Autores (2020).

Convertendo em inequação.

$$0,09x_1 + 0,11x_2 + 0,37x_3 + 0,82x_4 + 2,0512x_5 \leq 320 \quad (3.9)$$

Na inequação de até representam as variáveis do problema, ou seja, o número de produtos que serão produzidos. Assim, apesar das gestoras da empresa não fornecerem com exatidão as devidas quantidades de matéria-prima para a produção de cada produto, foi exposto as quantidades gastas diariamente na produção, nesse sentido, somando suas quantidades encontra-se o valor do conjunto de matéria prima gastas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De antemão, vale salientar que na melhoria proposta o resultado obtido não levou em consideração pedidos fora da demanda determinada e fatores econômicos nos quais sofrem mudanças sazonais, estas restrições que não foram consideradas são conhecidas como relaxação. Não houve possibilidade de acrescentar tais parâmetros, pois a empresa não obtinha dados concretos sobre o assunto e necessitaria de novos estudos para levantar esses valores.

A solução exposta pelo *Excel*, vista na Tabela 5, mostra os valores limites necessários na produção e venda dos produtos a para que a função objetivo conquiste o valor máximo entre várias soluções viáveis. Pode-se notar, também, que esta tabela exemplifica o ápice que a função objetivo pode alcançar sem que haja nenhuma modificação estrutural no processo de fabricação do açaí.

Tabela 5 – Função Objetivo

Objetivo	Valor
Lucro máximo	R\$ 8836,58

Fonte: Autores (2020).

Na parte reservada para o objetivo, na mesma linha tem a célula que indica o lucro máximo na operação, pode ser vista na coluna "Valor". Portanto, ao levar em consideração as restrições transcritas, o lucro será no máximo de R\$ 8.836,58. No entanto, para entender como esse resultado foi alcançado são necessárias as informações que são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6 – Variáveis

Variáveis	Valor Final
x1	100
x2	100
x3	597
x4	35
x5	25

Fonte: Autores (2020).

A parte onde são especificadas as variáveis, pode-se analisar que os produtos , , , respeitam a restrição de demanda, por outro lado, o produto retém a maior quantidade na produção. Além disso, devido às características das restrições do problema, o produto , contribui mais significativamente no lucro máximo calculado, com cerca de R\$ 6.652,87, que equivale a mais que 75% do valor total.

Na fabricação dessas quantidades de cada produto é viável averiguar o que foi consumido dos parâmetros, ou seja, se todos os recursos disponíveis foram utilizados. Para realizar esta análise são necessários os resultados da Tabela 7.

Tabela 7 – Restrições

Restrições	Resultado	Fórmula	Status	Margem de atraso
Capacidade	780	≤ 780	Associação	0
Demanda 1	100	≥ 100	Associação	0
Demanda 2	100	≥ 100	Associação	0
Demanda 3	597	≥ 70	Não-associação	527
Demanda 4	35	≥ 35	Associação	0
Demanda 5	25	≥ 25	Associação	0
Tempo	386,9333333	≤ 480	Não-associação	93,066666667
Matéria Prima	319,9968938	≤ 320	Não-associação	0,003106233

Fonte: Autores (2020).

A Tabela 7 exemplifica os resultados do que foi consumido na produção para obter a lucratividade máxima. É importante ressaltar a coluna de “Margem de Atraso”, a mesma expõe qual restrição do processo teve excesso ou falta. Nas restrições de tempo e matéria-prima, nota-se que o consumo foi menor do que suas respectivas capacidades podem exercer, isso pode tornar passivo para empresa, pois são gargalos e lacunas na produção. No caso da matéria prima o desperdício não é tão considerável de imediato, entretanto, para anos de produção o gasto pode ser indesejável.

No estudo de caso não se obteve gastos de tempo em logística interna, tempo de descanso, ociosidade de máquinas e tempo de espera da matéria prima, desse

modo, a ociosidade encontrada na restrição de tempo pode ser explicada por esses motivos internos a empresa.

A Tabela 8, expõe a análise de sensibilidade dos resultados obtidos, ela tem como objetivo primordial apresentar o quanto os coeficientes da função objetivo podem variar sem que modifique de forma drástica o resultado ótimo encontrado pelo método Simplex. Isso é de interesse da empresa, pois com esse parâmetro pode-se fazer modificações nos lucros unitários dos produtos sem que torne o resultado imprevisível.

Tabela 8 – Variáveis

Variáveis	Valor final	Reduzido Custo	Objetivo coeficiente	Permitido Aumenta	Permitido Reduzir
x1	100	0	2,7	0,0988889	1E+30
x2	100	0	3	0,30777778	1E+30
x3	597	0	11,45	1E+30	0,404545455
x4	35	0	15,35	10,094444	1E+30
x5	25	0	35,9	27,7111111	1E+30

Fonte: Autores (2020).

A coluna "Variáveis" são os tipos de produtos que serão produzidos pela empresa, já a coluna "Valor final" demonstra as quantidades de cada produto a ser produzido para a organização obter o valor máximo do lucro, a seguinte coluna de "Custos Reduzidos" relata que os produtos não têm mais contribuições a fazer para diminuição dos custos, e assim não apresentam modificações no lucro seja de aumento ou diminuição.

A coluna "Objetivo Coeficiente" tem o valor atual dos lucros unitários de cada produto, ou seja, são os coeficientes da função objetivo. As duas últimas colunas são as que têm os valores importantes da análise de sensibilidade, pois exemplifica o quanto posso aumentar ou diminuir os coeficientes da função objetivo.

Vale evidenciar que onde é feito as modificações acima dos valores apresentados na coluna "Permitido Aumentar" de forma análoga para valores menores que os da coluna "Permitido Diminuir", respectivos de cada produto, isso modifica as quantidades de produção para cada produto. Com os parâmetros de restrições prescrita no problema, ou seja, não terá o mesmo resultado das quantidades fixas de cada produto, desse modo, a produção tornará incerta e necessitará de outra aplicação do método Simplex para resolução.

Até o momento foram apresentados alguns dados importantes para a análise em relação a quantidade produzida, recursos utilizados e modificações de parâmetros específicos, logo existe a necessidade de analisar as restrições. Esta análise é de suma importância para a empresa, pois, com ela, as gestoras podem definir quais investimentos podem ser feitos para aumentar seus lucros.

A Tabela 9 expõe a análise das restrições do problema, a primeira coluna apresenta as restrições do problema, a coluna "Valor Final" demonstra os valores resultantes do consumo de cada limitação após a produção ótima do processo. "Preço Sombra" é muito importante para a organização, pois relata a quantidade que será acrescentada ao lucro máximo se aumentar unitariamente o valor de cada restrição.

Tabela 9 – Restrições

Restrições	Valor final	Preço sombra	Restrição lateral R.H	Permitido aumentar	Permitido reduzir
Capacidade	780	12,72222	780	0,00757144	474
Demanda 1	100	-0,0988889	100	1196,5714	100
Demanda 2	100	-0,307778	100	881,68421	100
Demanda 3	597	0	70	527	1E+30
Demanda 4	35	-10,094444	35	237	35
Demanda 5	25	-27,711111	25	94,8	25
Tempo	386,93333	0	480	1E+30	93,06667
Matéria prima	319,9968938	0	320	1E+30	0,00310623

Fonte: Autores (2020).

Assim, a partir da coluna “Preço Sombra” podem ser tomadas algumas decisões importantes para a empresa: Ao analisar a célula, na qual exibe um resultado de R\$ 12,7222 para a “Capacidade”, nota-se que para cada unidade multiplicada ao seu parâmetro inicial será agregado a função objetivo o valor de R\$ 12,7222.

A coluna “Restrição Lateral” apresenta os respectivos valores para as restrições que são determinadas pelo estudo de caso feito na empresa, e as duas últimas colunas mostram os limites de aumentos ou decréscimo para os valores das restrições laterais. Assim, ao verificar a linha da capacidade, o valor que não pode ser ultrapassado é igual a 780,00 com os limites de aumento ou diminuição tendo em vista alavancar ou diminuir R\$ 12,72 da função objetivo, as quantidades de variação permitida pela análise são de $780+0,00757144$ ou para reduzir 780-474.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou uma empresa localizada em Marechal Deodoro-AL que utiliza polpa de açaí na fabricação de 5 produtos de diferentes tamanhos, sua produção era incerta, ou seja, não tinha a programação da produção baseada nas restrições do processo. Desse modo, a empresa não destinava seus esforços para o produto mais rentável.

Ao visualizar essa necessidade, foi desenvolvida uma série de equações para modelar e entender melhor o processo produtivo do açaí e, assim, tomar decisões com mais assertividade. Na resolução dessas equações, a função objetivo obteve um valor equivalente a R\$ 8.836,58 com as quantidades de cada produto bem definidas para chegar no resultado ótimo, que foram: X1(Embalagem de 220 gramas c/ granola)=100 unidades/dia, X2(Caixinha de 260 gramas)= 100 unidades/dia, X3(Pote de 900 gramas)= 597 unidades/dia, X4(Pote 2 kg)= 35 unidades/dia e X5(Balde ou caixa de 5 kg)= 25 unidades/dia.

O fluxograma do processo da empresa expôs que uma das atividades que retém grande responsabilidade na qualidade do açaí é a estocagem final do produto acaba-

do, a mesma acontece em *freezers*. Esse estoque consome muita energia e, por isso, tem uma parcela expressiva dos custos envolvidos da empresa.

A importância da quantificação de cada produto com critérios de resolução do Simplex fez com que a empresa destinasse o espaço nos *freezers* da melhor forma possível, sem perdas e com mais certeza, ao colocar apenas o que vai aumentar a lucratividade de acordo com as restrições do processo.

Com a análise dos resultados obtidos é importante analisar algumas variáveis do processo, como por exemplo a matéria-prima, pois houve uma sobra de 0,003106233 e apesar de ser uma quantidade relativamente baixa, isso é visto como desperdício, desta maneira, é relevante acabar com esse tipo de sobra. O outro estar relacionado com o tempo, apesar de não ser considerado alguns parâmetros na modelagem é importante estudá-lo mais profundamente.

Para estudos futuros deve-se aprimorar ainda mais a modelagem do processo, ou seja, levar em consideração outros quesitos inerentes e intermitentes ao processo produtivo do açaí, além dos que foram abordados no presente estudo, com o intuito de desenvolver uma tomada de decisão mais assertiva.

Como a empresa se encontra em processo de desenvolvimento, ainda não tem um levantamento e análise dos indicadores de produção, não possui estudos mais efetivos da demanda ou um setor específico de planejamento e controle da produção e, além disso, possui uma certa resistência por partes da alta gerência em fornecer informações que ajudaria no processo de modelagem.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional**: métodos e modelos para análise de decisões. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 646 p.

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa operacional**: para cursos de engenharia. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 564 p.

CAIXETA-FILHO, José Vicente. **Pesquisa operacional**: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011. 176 p.

CARNEIRO, M. B. *et al.* A aplicação do método simplex para a maximização dos lucros de uma panificadora. Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 7, 2017. **Anais [...]**, Ponta Grossa: CONPREPRO, 2017.

COLIN, Emerson C. **Pesquisa operacional**: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2019. 1134 p.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 192 p.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. São Paulo: Editora Bookman, 2013. 1028p.

LAGE JÚNIOR, Muris. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. Rio de Janeiro: LTC, 2019. 296 p.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa operacional: fundamentos e modelos**. São Paulo: Saraiva, 2009. 352 p.

LONGARAY, André Andrade. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: Saraiva, 2013. 286 p.

LOZADA, G. **Planejamento e controle da produção avançados**. Porto Alegre: Sagah, 2017. 225p.

MARCONI, M. A. LAKATOS, E. V. **Metodologia do trabalho científico**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 256 p.

MARQUES, Heitor Romero. **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. 4. ed. Campo Grande: UCDB, 2014. 136 p.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa operacional: curso introdutório**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017. 376 p.

PASSOS, E. J. P. F. **Programação Linear como Instrumento da Pesquisa Operacional**. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2008. 452 p.

SANTOS, Marcos dos *et al.* Proposta de otimização do mix de produção utilizando o Método Simplex: um estudo de caso de uma confecção de moda íntima do município de Cordeiro – RJ. *In: Simpósio de Engenharia de Produção: Lean Cost Management como filosofia global de otimização em organizações*, 4, 2016. **Anais [...]**, Recife-PE FBV, 2016.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 304 p.

YIN, R. K. **Estudo de caso**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 320 p.

Data do recebimento: 24 de julho de 2020

Data da avaliação: 15 de setembro de 2020

Data de aceite: 15 de setembro de 2020

1 Mestre em Desenvolvimento Local e em Eficiência Energética e Sustentabilidade; Engenheiro de Produção e de Segurança do Trabalho; Professor do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL

.E-mail: eng.adrianomarinheiro@gmail.com

2 Acadêmico em Engenharia de Produção; Bolsista PROBIC UNIT/AL de Iniciação Científica do Centro Universitário Tiradentes UNIT/AL. E-mail: victor_hollanda@hotmail.com

3 Acadêmico em Engenharia de Produção; Aluno PROVIC UNIT/AL de Iniciação Científica do Centro Universitário Tiradentes UNIT/AL. E-mail: joaomarcos.engpro@hotmail.com

4 Acadêmica de Engenharia de Produção; Membro do Grupo de Pesquisa de Iniciação Científica do Centro Universitário Tiradentes UNIT/AL. E-mail: nicole.romeiro@gmail.com

5 Acadêmica de Engenharia de Produção; Membro do Grupo de Pesquisa de Iniciação Científica do Centro Universitário Tiradentes UNIT/AL. E-mail: lara_nunes2@hotmail.com

6 Mestre em Engenharia Química; Engenheiro Químico; Professor; Membro do Grupo de Pesquisa de Iniciação Científica do Centro Universitário Tiradentes UNIT/AL. E-mail: libel_pereira@al.unit.br