

MODELOS MATEMÁTICOS PARA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS NA FABRICAÇÃO DE POLPA DE FRUTAS

JUCILENE VIEIRA BARBOSA¹; JORGE LAUREANO MOYA RODRIGUEZ^{1,2}; JANDECY CABRAL LEITE^{1,2}; VILMA REGES TAMIOKA DE LIMA¹; MARIA APARECIDA LIMA DE SOUSA¹

1 – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSO (PPGEP-ITEC-UFPA) DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DO PARÁ (PPGEP-ITEC-UFPA); 2 – INSTITUTO DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO GALILEO DA AMAZÔNIA (ITEGAM).

juci.uea@gmail.com, jorgemoyar@gmail.com, jandecy.cabral@itegam.org.br, vreges@hotmail.com, cida_natario@hotmail.com

Resumo - Este artigo tem o objetivo de propor, através de programação matemática, um modelo, de programação linear inteira mista MILP (*Mixed Integer Linear Programming*), para o sequenciamento de produção no processamento de polpa de frutas, envolvendo restrições nos recursos, na ordem de execução das atividades e nos tempos de processamento. O modelo matemático visa minimizar o tempo total de processamento e encontrar a sequência ótima para quatro tarefas em três processadores. A implementação de sistemas computacionais é fundamental para que se tenha um sistema produtivo eficiente e otimizado, gerando a diminuição dos custos de transporte e hora extra dos funcionários, além de obter lucros. O modelo foi implementado usando o software GAMS (*General Algebraic Modeling System*), versão 23.7.

Palavras-chave: Sequenciamento de Operações. Modelos Matemáticos. Otimização.

I. INTRODUÇÃO

Ao longo desses últimos anos, as polpas de frutas ganharam seu espaço no mercado e a quantidade de consumo vem aumentando cada vez mais no Brasil. Assim, o mercado de fabricação de polpas de frutas vem se desenvolvendo constantemente e cada vez mais focadas nos negócios, como é o caso da indústria em estudo.

Devido à grande variedade de frutas disponíveis no mercado, se faz necessário à otimização da produção para obter o maior aproveitamento do produto e por consequência a redução de custos e maximização de lucros. Toda empresa que visa estar entre as melhores do mercado precisa de bom planejamento, tendo como objetivo o Planejamento e Controle da produção (PCP) – setor responsável pela coordenação e aplicação dos recursos produtivos (TUBINO, 2012). O Planejamento e controle da produção encarregam-se da programação e do sequenciamento da produção.

O sequenciamento de produção é essencial para qualquer indústria, seja ela, farmacêutica, química, siderúrgica, têxtil ou alimentícia, tendo como objetivo definir a melhor sequência produtiva. O GAMS (*General Algebraic Modeling System*) é um software capaz de resolver este tipo de problema e encontrar a sequência ótima.

A programação matemática é difundida em várias áreas para o tratamento de problemas diversos. Quando se

parte para a formulação matemática de determinado problema, vários modelos podem surgir, principalmente quando este problema trata de variáveis inteiras (RODRIGUES e SANTOS, 2013).

Portanto, o objetivo dos pesquisadores é encontrar modelos de baixo custo, possibilitando assim a solução de problemas que se assemelhem à realidade. No caso da programação da produção, as restrições e a quantidade de tarefas representam essa realidade.

A metodologia desenvolvida neste trabalho foi feita através da pesquisa quanti-qualitativa, que buscou o alcance de resultados fidedignos a validação da pesquisa, que se deu por intermédio de fontes diversas tais como: pesquisa de campo; buscas em sites da internet e pesquisas bibliográficas, que permitiu um conhecimento mais amplo sobre o referido tema.

Diante da situação, foi proposto a aplicação de um modelo de programação linear inteira mista – MILP (*Mixed Integer Linear Programming*), através do software GAMS, para o sequenciamento de produção em um programa de execução de tarefas no processamento de frutas, com restrições nos recursos e ordem de precedência, para obter-se a melhor sequência produtiva.

A relevância do estudo é a implementação de ferramentas computacionais em sistema de processo produtivo para melhorar a eficiência do processo de produção de polpa de frutas que resulta na otimização do tempo de produção, minimização de custos de transporte e hora extra dos funcionários, assim obter lucros.

Demonstrou-se neste estudo que a utilização do Software GAMS, auxilia de forma importante o processamento de produção das polpas de frutas, trazendo confiabilidade na organização e no planejamento da produção, tornando-se uma excelente ferramenta computacional.

II. PROCEDIMENTOS

Na elaboração da sequência de produção, se faz necessário estabelecer a ordem de executar as tarefas, através de um conjunto de regras, de acordo com o objetivo da empresa, por exemplo reduzir o atraso das entregas, prioridade dos pedidos, diminuir o tempo de produção,

umentar a utilização dos recursos e reduzir estoque em processo (OLIVEIRA e SANTOS, 2015).

Em modelos de sequenciamento, duas restrições são fundamentais: a restrição que garante a não sobreposição de operações em um determinado equipamento e a restrição que garante a ordem que as operações devem seguir.

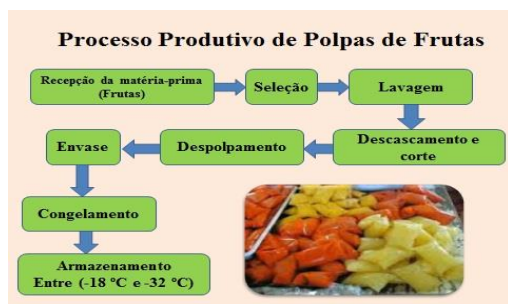
2.1 - Etapas do Processo Produtivo de Polpas de Frutas

No processamento de frutas na produção de polpas, surge a necessidade de sistemas para gestão da produção, pois diversos sabores de polpas são disponibilizados no mercado e a depender da sequência que as quantidades de polpas são produzidas têm custos de produção elevados devido ao alto consumo de água e energia. O processamento de polpas evita desperdícios e minimiza perdas que ocorrem com frequência durante a comercialização do produto *in natura*, agregando assim valor econômico à fruta (COUTO, 2013).

A programação de produção em processos flexíveis, a exemplo de indústrias de produção de polpa, em regra, objetiva apresentar um programa de execução de tarefas, no qual otimize determinada função objetivo.

Com base numa pesquisa realizada pelo SEBRAE (2012), os processos produtivos de uma indústria de polpa de frutas seguem uma sequência de etapas (Fig. 1), garantindo o produto final dentro das normas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento, em questão de qualidade e higiene.

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo de polpas de frutas



Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2013 e SEBRAE, 2012.

Diante dos pressupostos processuais descrevem-se as etapas detalhadamente da produção de polpas de frutas:

2.1.1 - Recepção da matéria-prima

As frutas são pesadas e selecionadas quanto ao seu ponto de amadurecimento. As frutas sem nenhuma condição de despolpamento são dispensadas neste momento.

Preferencialmente, devem ser acondicionados em caixas plásticas, armazenadas com refrigeração ou em local ventilado, não muito úmido para evitar a proliferação de bolores, insetos e ataque de roedores. O ideal é que essas frutas sejam armazenadas já higienizadas (GOMES e TOLENTINO, 2013).

2.1.2 - Seleção

Para obter um produto de qualidade, a escolha da matéria-prima é de suma importância, nesse processo as frutas são selecionadas para que não hajam frutas estragadas, insetos, folhas ou resíduos que comprometam o restante da produção.

2.1.3 - Lavagem

A lavagem deve ser feita em duas etapas: a pré-lavagem com água limpa e com altas concentrações de cloro, 10 a 70 ppm, durante 20 e 30 minutos, em seguida, faz-se o jateamento de água para a retirada de todas as impurezas remanescentes, bem como a retirada do excesso de cloro (SEBRAE, 2012).

2.1.4 - Descascamento e corte

O descascamento varia de acordo com o tipo de fruta a ser processada. Algumas frutas precisam ser descascadas e cortadas em pequenos pedaços manualmente, outras como: a acerola, goiaba e o camu-camu, após a lavagem vão direto para o despolpamento.

2.1.5 - Despolpamento

Esse é o processo de extrair a polpa da fruta do material fibroso, das sementes e dos restos de cascas, através do esmagamento de suas partes comestíveis. Deve ser realizado imediatamente após o descascamento, a fim de diminuir o tempo de exposição das partes desintegradas.

2.1.6 - Envase

Após o processo de despolpamento ou pasteurização (a maioria das polpas comercializadas por micro e pequenas empresas não sofre pasteurização), a polpa é encaminhada para o envase. Nessa etapa, uma dosadora (automática ou semiautomática) enche a embalagem quantidades previamente definidas. Quando usada à dosadora semiautomática, é necessária a termo seladora para fechamento das embalagens. As embalagens mais utilizadas no mercado varejista são sacos de polietileno de 100 ml e de 1 litro (MOOZ, 2014).

2.1.7 - Congelamento

O processo de congelamento deve ser feito o mais rápido possível para manter as características das frutas. O uso do congelamento rápido para a produção de polpa de fruta dá origem a um produto final de excelentes características quanto à cor, aroma e sabor, todas elas muito próximas das características da fruta ao natural. A polpa conservada por congelamento encontra mercado mais fácil e mais seguro, mesmo a níveis de pequenos estabelecimentos, de restaurantes, da reutilização industrial nas indústrias de balas, chocolates, em artigos de panificação, etc. (VICENZI, 2014).

2.1.8 - Armazenamento

Após o congelamento as polpas vão para câmaras onde vão ser armazenadas até serem consumidas, onde podem ser mantidas em freezers domésticos comuns. A polpa de fruta deve ser mantida congelada até o momento do consumo de acordo com MOOZ (2014). As pessoas envolvidas no processo produtivo das polpas de frutas conhecem as técnicas de manipulação e os cuidados higiênicos, tais como a lavagem e desinfecção das mãos antes das atividades e o uso de uniformes completos e limpos. Para a empresa a qualidade é uma questão relevante, e a finalidade do controle de qualidade é a obtenção de produtos com qualidades padronizadas e constantes, no entanto, o principal atributo da qualidade de um alimento é a segurança.

2.2 - Otimização de Processos

A otimização de um processo pode ser efetuada em diferentes níveis, o escopo de um problema de otimização pode ser de uma empresa, uma planta, um processo, um equipamento, uma peça de equipamento, ou qualquer outro sistema. Numa indústria típica existem três níveis que podem ser otimizados: nível gerencial (logística), nível de projeto e nível operacional (MEIRA, 2015).

No contexto de otimização são tratadas as seguintes definições:

Função objetivo: é a função matemática a qual se deseja minimizar ou maximizar. A minimização da função objetivo tem importantes aplicações em indústrias de plástico, aço, produtos químicos, e muitos outros setores onde não existe reserva intermediária entre máquinas devido a exigências técnicas ou as características do processo (PEREIRA e STEFFEN, 2015);

Variáveis de decisão: são as variáveis independentes que aparecem na função objetivo;

Restrições: referem-se aos limites impostos ao sistema ou estabelecidos pelas leis naturais que governam o comportamento do sistema, à que estão sujeitas as variáveis de decisão. As restrições podem ser de igualdade (equações) ou de desigualdade (inequações) (SILVA, 2013).

Segundo Piovesan *et al.* (2014), em determinado sistema produtivo, restrições são todos os processos máquinas, meios ou até comportamentos que impedem o sistema de atingir o máximo de seu desempenho.

Em problemas de otimização existem vários procedimentos que podem ser aplicados, segundo Meira (2015, p. 35),

“Não existe um único método que pode ser aplicado eficientemente para todos os problemas. O método escolhido para um caso particular depende das características da função objetivo, da natureza das restrições e do número de variáveis do problema”.

De acordo com Silva (2013, p. 10), para formular e solucionar problemas de otimização, os seguintes passos devem ser bem observados:

- 1) Análise do processo e suas variáveis;
- 2) Escolha do critério de otimização e especificação da função objetivo em termos das variáveis do processo;
- 3) Desenvolvimento do modelo para o processo, relacionando as variáveis através de restrições, a função objetivo e os parâmetros adotados;
- 4) Simplificação do modelo, se a formulação do problema for de dimensões elevadas;
- 5) Aplicação de técnicas apropriadas de otimização;
- 6) Análise da solução obtida e a sua sensibilidade frente a variações em parâmetros do modelo e suas considerações (hipóteses).

2.3 - Procedimentos metodológicos

Koche (2011) define método como “a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um fim dado ou um resultado desejado”, ou seja, fazemos uso do entendimento de Lakatos e Marconi (2011) que nos esclarece que método científico é o caminho para se chegar a determinado fim e ele define como o conjunto de

procedimentos intelectuais e técnicos adotados para se atingir o conhecimento.

A metodologia aplicada neste estudo deu-se através de embasamento teórico e prático, onde se fez necessário o levantamento de consultas a bibliografias de autores especializados, referentes ao Software GAMS e sua aplicabilidade nos processos indústrias; produção de polpas de frutas (por meio de vários artigos como o de Bastos e Oliveira 2014 – Boletim da Embrapa (2013), processamento de frutas/polpa congelada de Gomes e Tolentino 2013, otimização dos parâmetros tecnológicos para produção de estruturado a partir de polpas de açaí de Carvalho e Mattietto, 2010).

A implementação do modelo matemático foi evidenciada pela necessidade de introduzir ferramentas computacionais, para se obter um sistema produtivo eficiente e otimizado com o intuito de diminuir custos de transporte e hora extra dos funcionários, além de obter lucros.

Quanto aos métodos utilizou-se a sistemática de Silva (2013), que propõe seis fases num projeto de modelos matemáticos otimizados: Análise do problema; escolha e especificação do modelo; construção do modelo; obtenção da solução; teste e avaliação do modelo e acompanhamento da solução.

O levantamento dos dados deu-se através de visitas *in loco* e da realização de uma entrevista informal com os funcionários da fábrica, além de estudos em documentos referentes à empresa, ressaltamos que a empresa dispensou a utilização do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido-TCLE. A partir daí, procurou-se identificar por meio de questionamentos, informações sobre os procedimentos para análise dos resultados.

2.4 - Construção do Modelo através da Programação Matemática

Neste trabalho será demonstrado a implementação do modelo matemático de programação linear inteira mista (*Mixed Integer Linear Programming – MILP*), para o sequenciamento da produção no processamento de frutas, envolvendo restrições nos recursos, na ordem de execução das atividades e nos tempos de processamento.

A função matemática é chamada de função de custo e foi aplicada apenas ao último equipamento, na qual é o que finaliza o processo. O modelo escolhido visa minimizar a função objetivo, demonstrada pela equação (1).

$$Z \geq TT_{m, nj} \quad \forall m \in Ct; nj \in Ce \quad (1)$$

Temos:

Z = Função objetivo (soma dos tempos de processamento);

TT = Tempo de término;

m = Tarefa;

n = Equipamento;

j = Corresponde ao último equipamento n ;

nj = Último equipamento;

$TT_{m, nj}$ = Tempo de término da tarefa m , no último equipamento n ;

Ct = Conjunto de tarefas m ;

Ce = Conjunto de equipamentos n .

Os modelos do programa de execução de tarefas, no qual otimize determinada função matemática, duas

III. RESULTADOS

restrições são fundamentais: a restrição que garante a não sobreposição de tarefas em determinado equipamento e a restrição de precedência, que garante o ordenamento das tarefas pelos processadores.

A relação de precedência é dada pelas equações (2) e (3).

$$TT_{m,n} = TI_{m,n} + TP_{m,n} \quad \forall m \in Ct; nj \in Ce \quad (2)$$

$$TI_{m,n+1} \geq TT_{m,n} \quad \forall m \in Ct; n \in Ce \quad (3)$$

Temos:

$TT_{m,n}$ = Tempo de término da tarefa m , num equipamento n ;

TI = Tempo de início;

$TI_{m,n}$ = Tempo de início de uma tarefa m , num equipamento n ;

TP = Tempo de processamento;

$TP_{m,n}$ = Tempo de processamento de uma tarefa m , num equipamento n

A conexão de não sobreposição de tarefas em um processador é dada pelas equações (4), (5) e (6):

$$TI_{m',n} - TT_{m,n} \geq -VG(1 - VaB_{m,m';n}) \quad \forall m' \in Ctm'; m \in Ct; n \in Ce \quad (4)$$

$$TI_{m',n} - TT_{m,n} \leq -VG(1 - VaB_{m,m';n}) \quad \forall m' \in Ctm'; m \in Ct; n \in Ce \quad (5)$$

$$VaB_{m,m';n} = 1 - VaB_{m',m;n} \quad \forall m' \in Ctm'; m \in Ct; n \in Ce \quad (6)$$

Temos:

m' = Precedência da tarefa m ;

$TI_{m',n}$ = Tempo de início de precedência da tarefa m , num equipamento n ;

VG = Valor escalar grande de controle;

VaB = Variável Binária (0 ou 1);

$VaB_{m,m';n}$ = Variável Binária (0 ou 1) de uma tarefa m , com precedência da tarefa m , no equipamento n ;

Ctm' = Conjunto de tarefas, com precedência da tarefa m ;

Foi proposta também uma relação de ordem em que a tarefa m_2 deve, obrigatoriamente, ser realizada antes da tarefa m_3 . Isso se explica pelo fato de que a tarefa m_3 pode contaminar os equipamentos, prejudicando assim a execução da tarefa m_2 . Essa relação é dada pela equação (7).

$$TT_{m_2,n} \leq TI_{m_3,n} \quad \forall n \in Ce \quad (7)$$

Temos:

m_2 = Tarefa 2;

$TT_{m_2,n}$ = Tempo de término da tarefa m_2 , num equipamento n ;

m_3 = Tarefa 3;

$TI_{m_3,n}$ = Tempo de início da tarefa m_3 , num equipamento n ;

Este estudo foi realizado em uma fábrica de polpas de frutas, localizada no município de Benjamin Constant, interior do Amazonas. As informações contidas no trabalho foram realizadas juntamente com os funcionários da fábrica bem como: setor administrativo, setor de produção das polpas e setor de entrega dos produtos. Formando um amostral de 38 funcionários, com idade mínima de 18 e máxima de 65 anos.

3.1 - Aplicação do Modelo Matemático no Software GAMS (General Algebraic Modeling System).

O modelo matemático foi programado no software General Algebraic Modeling System (GAMS), versão 23.7, utilizado-se a linguagem de programação GAMS 23.7 com o solver CPLEX 12.3.

Para a realização dos experimentos computacionais foi utilizado um notebook com processador Intel® Core (TM) 2 Duo com CPU T6500 de 2.10 GHz e 4 Gb de memória RAM e sistema operacional Windows 7.

No modelo de entrada do GAMS foram inseridos os tempos de processamento para quatro tarefas (A_1, A_2, A_3, A_4) em três processadores (B_1, B_2, B_3) como mostrados na tabela (1):

Tabela 1 - Tempos de processamento t(u.t) na execução das tarefas

Tarefa	Processador B_1	Processador B_2	Processador B_3
A_1	12	9	5
A_2	12	12	7
A_3	12	12	12
A_4	12	12	12

Fonte: Adaptado pela autora, 2016.

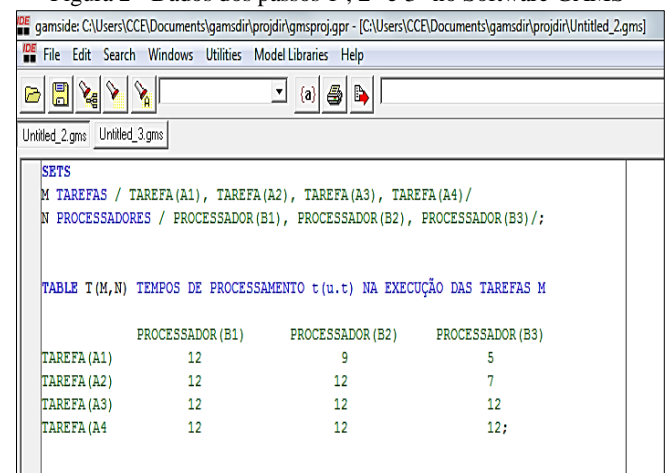
Ao definir o modelo matemático e os dados que foram trabalhados no Software GAMS, o próximo passo foi introduzir os dados no programa da seguinte forma:

1º Passo: Clicar na opção *File-New*, obtém-se a janela, na qual inseriu-se as equações, representada pela figura 2:

2º Passo: Modelar o problema. Descreve-se as variáveis do problema, o que na linguagem GAMS é chamada de (*SETS*) numa tradução pode-se chamar de índices ou conjuntos.

3º Passo: Inserir os dados correspondentes à tabela 1, na linguagem GAMS, chama-se de *TABLE* (Tabela) que chamamos de $T_{m,n}$. Obtém-se a janela abaixo, referente aos passos (1º, 2º e 3º) representados pela figura 2:

Figura 2 - Dados dos passos 1º, 2º e 3º no Software GAMS



Fonte: Adaptado pela autora, 2016.

4º Passo: Definir as variáveis (*VARIABLES*) de decisão, na linguagem GAMS é necessário informar uma variável que definirá a função objetivo, neste caso chamamos de Z que definiu os tempos ótimos de produção. Observa-se na figura 3:

Figura 3 - Dados das variáveis (*VARIABLES*) no Software GAMS.

```
VARIABLES
TT TEMPO DE TERMINO
J CORRESPONDE AO ULTIMO EQUIPAMENTO
TT (M,NJ) TEMPO DE TÉRMINO DA TAREFA M NO ULTIMO EQUIPAMENTO N
Cc CONJUNTO DE TAREFAS M
Ce CONJUNTO DE EQUIPAMENTOS N
TT (M,N) TEMPO DE TERMINO DE UMA TAREFA M NUM EQUIPAMENTO N
TI TEMPO DE INÍCIO
TI (M,N) TEMPO DE INÍCIO DE UMA TAREFA M NUM EQUIPAMENTO N
TP TEMPO DE PROCESSAMENTO
TP (M,N) TEMPO DE PROCESSAMENTO DE UMA TAREFA M NUM EQUIPAMENTO N
VG VALOR ESCALAR GRANDE DE CONTROLE
VaB VARIÁVEL BINÁRIA (0 OU 1)
Ccm CONJUNTO DE TAREFAS COM PRECÉDÊNCIA DA TAREFA M
M2 TAREFA 2
M3 TAREFA 3
VaB (M,N) VARIÁVEL BINÁRIA DE UMA TAREFA M DA TAREFA M NO EQUIPAMENTO N
Z CALCULA A FUNÇÃO OBJETIVO;
POSITIVE VARIABLE TT, TI, TP;
```

Fonte: Adaptado pela autora, 2016.

5º Passo: Inserir as equações (*EQUATIONS*), na linguagem GAMS as equações são definidas por meio do número de restrições mais a função objetivo. As equações que foram inseridas estão representadas nas equações de (1) a (7), descritas anteriormente.

6º Passo: Digitar *MODEL*, que na linguagem GAMS descreve o modelo estudado. Ex: (MODEL TEMPO /ALL/);

7º Passo: Digitar *solve*, na linguagem GAMS descreve a utilização de um *solver* específico e o formato desejado para o modelo matemático, que neste estudo foi a programação linear inteira mista (*mip*). Ex: (solve TEMPO mip minimizing Z);

8º Passo: Digitar *display*, na linguagem GAMS o recurso é utilizado para visualização dos dados. Ex: (Z.L,TT.1, TI.1, VaB.1;). Os passos descritos em 5º, 6º, 7º e 8º, pode-se visualizar na figura 4:

Figura 4 - Dados dos passos (5º, 6º, 7º e 8º) no Software GAMS.

```
Z CALCULA A FUNÇÃO OBJETIVO;
POSITIVE VARIABLE TT, TI, TP;

EQUATION
FUN FORMULA DA FUNÇÃO OBJETIVO
TT (M,NJ) TEMPO DE TÉRMINO DA TAREFA M NO ULTIMO EQUIPAMENTO N
TT (M,N) TEMPO DE TERMINO DE UMA TAREFA M NUM EQUIPAMENTO N
TI (M,N) TEMPO DE INÍCIO DE UMA TAREFA M NUM EQUIPAMENTO N
TP (M,N) TEMPO DE PROCESSAMENTO DE UMA TAREFA M NUM EQUIPAMENTO N;

FUN.. Z=E+G*TT (M, NU);
TT (M,N) .. TT (M,N)=E+TI (M,N)+TP (M,N)
TI (M,N) .. TI (M,N+1)=G*TT (M, N)
TI (M,N) .. TI (M,N) - TT (M,N)=G-VG (1-VaB (M,N))
TI (M,N) .. TI (M,N) - TT (M,N)=L-VG (1-VaB (M,N))
VaB (M,N) .. VaB (M,N)=1- VaB (M,N)
TT (M2,N) .. TT (M2,N)=L+TI (M3,N);

MODEL TEMPO /ALL/;

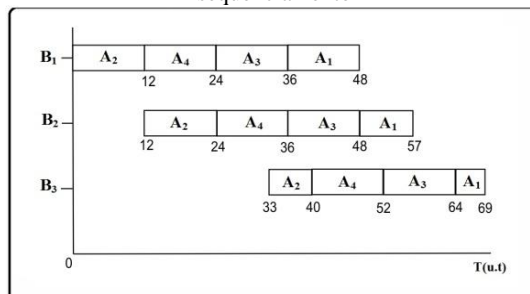
solve TEMPO mip minimizing Z;
display Z.L,TT.1, TI.1, VaB.1;
```

Fonte: Adaptado pela autora, 2016.

Diante do modelo executado no GAMS, na qual fornece um arquivo de saída no formato txt, através do comando file out/out.txt; mostrando os melhores tempos de início (TI) e tempos de término (TT) de cada operação.

A partir do modelo proposto representado pelas equações (1) a (7) e dos componentes que fazem parte do modelo de entrada do GAMS, foi possível a obtenção da sequência ótima com os melhores tempos de início (TI) e tempo término (TT) de cada tarefa. A melhor sequência pode ser visualizada na Figura 5 que representa o gráfico de Gantt com o tempo total de processamento de 69 u.t. (unidades de tempo).

Figura 5 - Gráfico de Gantt referente ao problema de sequenciamento



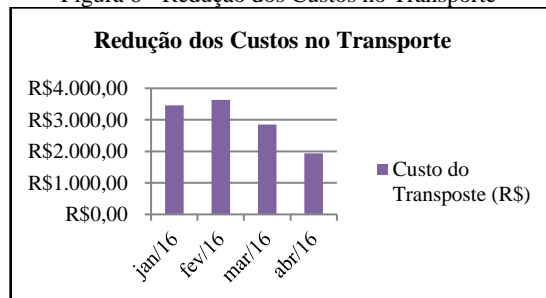
Fonte: Adaptado pela autora, 2016.

A figura ilustra a melhor sequência produtiva solucionada pelo GAMS, observa-se que a tarefa T2 inicia o processamento antes de T3.

3.2 - Discussão dos resultados

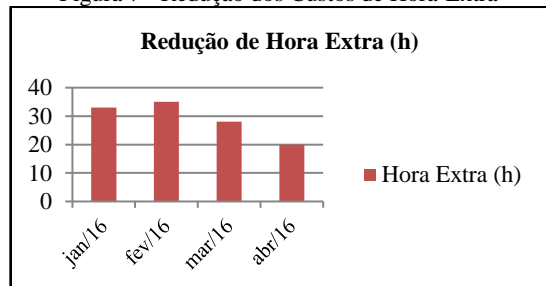
De acordo com a análise feita sobre a implementação do modelo matemático programado no Software GAMS, fez-se um comparativo durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2016, referente à redução dos custos de transporte e hora extra dos funcionários, ressalta-se que nos meses de janeiro e fevereiro de 2016 o modelo matemático não estava implementado na fábrica. Pode-se visualizar os dados destes gráficos nas figuras 6 e 7:

Figura 6 - Redução dos Custos no Transporte



Fonte: Adaptado pela autora, 2016.

Figura 7 - Redução dos Custos de Hora-Extra



Fonte: Adaptado pela autora, 2016.

Os dados quantitativos apontam para uma adesão positiva dos autores da empresa investigada, uma vez que os resultados demonstraram que a utilização de ferramentas

computacionais favorece a redução dos custos de transporte e hora extra dos funcionários.

IV. CONCLUSÃO

O estudo do processo produtivo mostrou a importância da programação matemática para o sequenciamento de produção no processamento de polpa de frutas. A implementação do modelo de programação linear inteira mista - MILP, em linguagem GAMS, foi apresentada nas equações 1 a 7. O software GAMS foi capaz de encontrar o melhor tempo de execução das tarefas, 69 u.t. Assim, os resultados mostram que o modelo é viável para apoiar as decisões envolvidas no planejamento do processo de produção de polpa de fruta e na redução dos custos dos transportes e hora extra dos funcionários.

V. REFERÊNCIAS

BASTOS, Maria do Socorro Rocha; OLIVEIRA, Maria Elisabeth Barros. **Diagnóstico Setorial da Agroindústria de Polpa de Fruta na Região Nordeste**. Boletim Embrapa, 2014.

CARVALHO, Ana Vânia; MATTIETTO, Rafaela Andrade. **Otimização dos Parâmetros Tecnológicos para Produção de Estruturado a partir de Polpa de Açaí**. Campinas, 2010. vol. 13, n. 4. p 232-241.

COUTO, Maria Cristina de Moraes. **Beneficiamento e comercialização dos produtos dos sistemas agroflorestais na Amazônia**. Belém, 2013

EMBRAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Polpa de fruta congelada**. Agroindústria familiar. Coleção, 2013.

GOMES, Andréa; TOLENTINO, Valéria. **Processamento de Frutas/Polpa Congelada**. Programa Rio Rural, Niterói, RJ, Brasil, 2013.

KOCHE, José Carlos. **Fundamentos de metodologia científica: Teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 29. ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Metodologia do trabalho científico: Procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2011

MEIRA, Marcelo da Silva. **Otimização de produção de uma linha de montagem mista na indústria automotiva por meio de programação matemática**. Curitiba: UTEP, 2015.

MOOZ, Edineia Dotti. **Boas práticas de fabricação: Uma alternativa para o melhoramento de uma agroindústria de polpa de frutas**. UNIOESTE, 2014

OLIVEIRA, Emanuel Neto Alves de; SANTOS, Dyego da Costa. **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. Natal: IFRN, 2015.

PEREIRA, Simone Saramago; STEFFEN, Valder Junior. **Introdução às técnicas de otimização em engenharia**. UFU-MG, 2015.

PIOVESAN, J.; SILVA, L. G. O.; FILHO, A. T. A. **Modelo de planejamento agregado multiproduto em uma**

indústria metalúrgica. XXXIV ENEGEP Curitiba-PR, 2014

RODRIGUES, E. C. N.; SANTOS, Y. B. I. **Aplicações da programação linear na minimização dos custos de produção em uma indústria de processamento de açaí de pequeno porte no município de Belém**. Simpósio de engenharia de produção, p. 20-2013, Bauru: Anais X SIMPEP, 2013.

SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas. **Fábrica de Polpa de Fruta**. Ideia de Negócios. Coleção, 2012.

SILVA, Aneirson Francisco da. **Pesquisa Operacional: Desenvolvimento e otimização de modelos matemáticos por meio da linguagem GAMS**. São Paulo, SP. 2013. 107 p., UNESP.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. – 1. ed. – 2. reimpr. - São Paulo, SP Atlas 2012 xii, 190 p. ISBN 9788522448456.

VICENZI, R. **Tecnologia de frutas e hortaliças**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Biologia e Química. 2014. Disponível em: <http://www.sinpro.rs.org.br/paginasPessoais/layout2/..%5Carquivos%5CProf_394%5CAPOSTILA%20DE%20FRUTAS%20E%20HORTALI%3%87AS%20-%20QIA.pdf>. Acessado em 20 de junho de 2016.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.