

PROGRAMAÇÃO DINÂMICA APLICADA PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DE UMA INDÚSTRIA DE SORVETE

Rafael de Sousa Cassiano (UFU) rafaeltcassiano94@hotmail.com
Thainy Genny Esteves Silva (UFU) thainyesteves@gmail.com

Resumo

Este artigo tem como finalidade realizar uma análise do sistema de produção de sorvete em baldes de dez litros para mensurar os custos e a capacidade produtiva atual, a partir disto, atender as demandas futuras. Com isto, utilizamos por meio de uma pesquisa exploratória, com caráter quantitativo com a observação do processo, analisou-se o produto, tempo de utilização no preparo e máquina funcionando. Utilizamos a programação dinâmica determinística progressiva, para determinar o menor custo de produção. A partir dos dados levantados e analisados propor uma solução, para melhorar a receita mensal da empresa, que atualmente conta com um único cliente desse produto.

Palavras-chave: Capacidade produtiva, Programação dinâmica, Indústria de sorvete.

1. Introdução

O presente artigo será executado em uma empresa de pequeno porte do setor alimentício, que produz sorvetes e derivados na região do triângulo mineiro desde o ano de 2012. A fábrica conta com uma produção de sorvete em balde de dez litros apenas duas vezes por semana, pois atualmente possuem apenas um cliente, que faz pedidos semanais. O maquinário atual, não produz mais de uma receita por vez, tendo a capacidade de produção reduzida. Com isto, verificamos que a empresa não sabe a sua capacidade total para atender futuros clientes e seu custo de produção é alto por não terem um planejamento de produção eficiente.

Visto isso, com a ajuda do estudo de planejamento de produção assim podendo minimizar os custos utilizando o método de programação dinâmica determinística, para determinar o menor custo de produção. Este vem sendo aplicado na resolução de problemas gerais de otimização linear ou não – linear, contínua ou discreta, com funções diferenciáveis ou não – diferenciáveis. Sua principal característica é a decomposição do problema original em uma sequência de problemas menores mais simples para serem resolvidos (ARENALES et al.,2007). Assim determinando o quanto podem crescer de acordo com a estrutura que possuem e atender futuros clientes.

2. Referencial Teórico

A capacidade produtiva das empresas descreve qual é o volume necessário de produção dos produtos e/ou serviços que elas podem realizar. Colocar em prática essa atividade pode ajudar a distinguir qual é o grau de produção que se refere às atividades não produtivas. Pode-se calcular a capacidade produtiva de diversas formas, no que faz com que ela possa variar de acor-

do com seus dados e metodologias aplicadas. Para a elaboração deste trabalho utilizamos algumas técnicas do PCP (Planejamento e Controle de produção) que a posteriori será apresentado alguns conceitos, características e aplicações das ferramentas estudadas.

2.1 Planejamento e Controle de Produção

Quando tratamos de Planejamento e Controle de Produção nos referimos a uma das ferramentas essenciais e importantes para uma organização. Pois, com ela é capaz de gerenciar, planejar, controlar, medir e monitorar todas as atividades de produção possibilitando a redução de custos, tanto de mãos de obra quanto de matérias-primas, melhorias no setor logístico, e até mesmo em atender e melhorar as necessidades de acordo com cada consumidor. Com o PCP, é possível definir o que será produzido, quanto, quando e onde será produzido.

De acordo com Slack (1997), programar e controlar a produção consiste em proporcionar produtos e serviços de acordo com sua demanda de pedidos, oferecendo auxílio justapostas as atividades que serão executadas e sobre as técnicas que serão utilizadas.

O PCP é caracterizado por algumas atividades como previsão de capacidade produtiva e previsão de vendas/custos. Tais ferramentas que levamos em consideração de suas utilizações para desenvolver nosso trabalho com os dados coletados aplicados na produção de sorvetes em uma fábrica na cidade de Ituiutaba.

Podemos definir essas previsões como um processo que determina futuros dados, que podem ser baseados em modelos matemáticos ou estatísticos e que muito das vezes além de ser bem definidas podem ser fundamentadas em metodologias de trabalhos.

2.1.1 Previsão de Capacidade Produtiva

Geralmente a Previsão de Capacidade é feita em médio ou em longo prazo, pois envolve os estudos de máquinas, operadores e matérias-primas. Quando nos referimos a capacidade produtiva de um processo, é preciso levar em consideração a quantidade de insumos que serão utilizados, possibilitando estimar uma melhoria no tempo que será gasto para a finalização de um devido produto, que no caso será trabalhado sobre a produção de sorvetes. Para se obter o controle dessa previsão, é necessário acompanhar todas as etapas do processo de produção, corrigindo os erros na medida que os mesmos irão aparecendo durante o processo.

2.1.2 Previsão de vendas/custos

A previsão de vendas e a previsão de custos podem ser intervindas de grandes estoques e de

despesas desnecessárias das empresas.

Nas organizações os quesitos de previsões de vendas e custos, acabam sendo um problema muito comum entre elas, pois acaba que tornam em conta os preços dos produtos finais que são transpassados até o consumidor. Grandes estoques podem gerar grandes custos, e para que seja possível possibilitar uma queda no preço final do produto, que no nosso caso são os sorvetes, utilizaremos a pesquisa operacional, da programação dinâmica determinística progressiva para analisar qual produto terá o menor custo e quanto será viável produzir desse produto x em unidades, atendendo o estudo de caso em um determinado tempo/semana.

3. Metodologia

Este estudo foi realizado em uma empresa que fábrica sorvete na cidade de Ituiutaba MG, através da observação direta foi coletado informações da demanda dos últimos cinco meses, custo de produção, número de funcionários e capacidade de estoque. Mas para isso foi necessário realizar seis visitas, a primeira foi realizada no dia sete de maio, a produção do balde de sorvete dez litros são realizados as segundas-feiras e terças-feiras, num total de oito horas trabalhadas por dia. A máquina de pasteurização possui uma capacidade de armazenar calda (leite em pó e água) para duas receitas e o seu processo tem duração de uma hora, depois a calda é batido por dois minutos no liquidificador com os outros ingredientes e, por fim, é transferido para a produtora, onde bate por quinze minutos e já temos o produto pronto para colocar nos baldes e armazenar. Com isto tem-se o fim da produção de dez litros de sorvete, inicia se o processo de higienização do liquidificador e produtora, que dura em média 10 minutos.

Com as informações do processo em mãos, calculamos a capacidade que a fábrica tem em produzir sorvete de dez litros, conforme demonstrado na Figura 01- Formula da capacidade produtiva:

Figura 01 – Formula da capacidade produtiva

$$\text{Capacidade de produção} = \frac{(\text{horas trabalhadas} - \text{primeira pasteurização}) * 60 \text{ min}}{(\text{liquidificador} + \text{produtora} + \text{limpeza})}$$

Fonte: Autoria própria

Tendo que:

Capacidade de produção é o quanto eles podem produzir por dia, tendo como base o tempo do processo;

Horas trabalhadas são 8 horas diárias;

Primeira pasteurização tem duração de 1 hora a cada duas receitas;

Liquidificar, é o tempo em que o produto fica que são 2 minutos;

Produtora, é o tempo em que o produto fica que são 15 minutos;

Limpeza, tempo gasto de 10 minutos.

Obtendo a partir dos dados colhidos no processo o seguinte resultado, conforme a Figura 02 – Resultado da capacidade de produção.

Figura 02 - Resultado da capacidade de produção

$$\text{Capacidade de produção} = \frac{(8-1) * 60}{(2+15+10)}$$
$$\text{Capacidade de produção} = 15 \text{ baldes/dia trabalhado}$$

Fonte: Autoria própria

Para calcular o menor custo de produção foi aplicado o método da programação dinâmica determinística progressiva, no programa *Microsoft Office Excel*. O cálculo da programação dinâmica determinística foi feito a partir da utilização das fórmulas inerentes a esta metodologia e utilização da biblioteca de funções do Excel.

Como a empresa busca atualmente atender apenas a demanda semanal de cada mês, custos como o de funcionários, custos fixos e custos variáveis eram utilizados durante os oito dias de produção ao mês, logo percebeu a necessidade de decompor o problema em problemas mais simples, um mês de cada vez. Com a capacidade da empresa estabelecida, as decisões possíveis a serem tomadas correspondem ao aumento da produção, com a restrição de atender a demanda do mês em questão.

Foi montado uma tabela no *Excel* com estágios, estados e decisão. O estágio se refere aos cinco meses, o estado a todas as combinações possíveis de produção respeitando a condição de atender a demanda no mês e as possíveis formações de estoque para atender as demandas futuras. Como o mês cinco é o último não é possível haver produção em excedente a sua capacidade, caso a demanda não seja atendida pela produção o mês anterior deverá conter a demanda do mês cinco ou o mês anterior, no caso o mês três.

4. Resultados

Para avaliação dos resultados, utilizou-se os custos inerentes a produção atual que possui demanda semanal. A partir dos dados colhidos foi obtido o custo da empresa conforme a Tabela 1 – Custos de produção da empresa, apresenta a demanda semanal de cinco meses e

seus respectivos custos.

Tabela 1 – Custo de produção da empresa

MÊS	SEMANA	DEMANDA	CUSTO ATUAL
JANEIRO	1	8	R\$420
	2	8	R\$420
	3	7	R\$385
	4	12	R\$560
	5	2	R\$210
FEVEREIRO	6	5	R\$315
	7	6	R\$350
	8	8	R\$420
	9	2	R\$210
	10	4	R\$280
MARÇO	11	2	R\$210
	12	3	R\$245
	13	3	R\$245
	14	5	R\$315
ABRIL	15	3	R\$245
	16	2	R\$210
	17	0	R\$40
MAIO	18	7	R\$385
	19	6	R\$350
	20	3	R\$245
CUSTO TOTAL			R\$6.060

Fonte: Autoria própria

A partir da análise da situação atual da fábrica, verificou-se a necessidade de avaliar quando produzir, para determinar da produção. Segundo a equação abaixo, quando existe a demanda utilizamos o custo de preparação (funcionários), demanda, custo unitário e o custo de estoque, obtendo através da formula no *Excel*, apresentada na Figura 03 – Formula *Excel*.

Figura 03 – Formula *Excel*

= SE(demanda >0; custopreparação;0)+ demanda X custounitario + custo estoque

Fonte: Autoria própria

Após o levantamento dos custos, iniciou-se a análise da programação dinâmica progressiva, dados como a capacidade máxima de produção, capacidade máxima do estoque, tempo de validade do pote de sorvete de dez litros, passam agora a serem levados em consideração para analisar as possíveis combinações a serem realizadas e no final verificar qual decisão tomar. A Tabela 2 – Demanda semanal, demonstra a demanda em cada semana e o total dos meses de janeiro a maio, dados fornecidos pela empresa.

Tabela 2 – Demanda semanal

MÊS	1ª SEMANA	2ª SEMANA	3ª SEMANA	4ª SEMANA	TOTAL MÊS
JANEIRO	8	8	7	12	35
FEVEREIRO	2	5	6	8	21
MARÇO	2	4	2	3	11
ABRIL	3	5	3	2	13
MAIO	0	7	6	3	16

Fonte: Autoria própria

Temos como restrição dois fatores, primeiro a validade do sorvete e segundo a capacidade de armazenamento no freezer. Com isto, temos que a produção não pode exceder a capacidade de armazenamento e se atentando ao prazo de validade do produto.

As combinações dos estágios tiveram início com estoque zero, a primeira opção deve atender no mínimo a demanda semanal que é de oito unidades e as subsequentes poderão conter a demanda das próximas semanas. Visto que a produção do estágio não poderá ultrapassar de trinta potes de dez litros. Com isto, foi gerado estoques finais do estágio um, que se transformaria em possíveis estoques iniciais do segundo estágio, caso fosse tomado a decisão de utilizar.

Porém quando o método estava sendo analisado em seu quarto estágio grande parte dos possíveis estoques finais gerados já ultrapassavam as quarenta unidades de estoque, o mês de janeiro já estava com as demandas semanais supridas e a capacidade do freezer que era de quarenta e cinco unidades já restringiria possíveis combinações que mesmo sendo viáveis para reduzir o custo da produção impossibilitariam o armazenamento da produção que atenderia a demandas das próximas semanas.

A data de validade do sorvete inviabilizava a produção continua do mesmo, após dois meses o produto armazenado o consumo não é recomendado, a possibilidade de o cliente ficar insatisfeito com a qualidade, podendo a empresa perder sua confiança e credibilidade.

Analisando as restrições percebeu que no vigésimo estágio não seria possível chegar a uma decisão que reduziria os custos e atenderia as restrições, foi preciso observar as demandas das semanas seguintes e definir quantos estágios seriam atendidos sem confrontar com as restrições estabelecidas. As três primeiras semanas do mês de janeiro foram suficiente para suprir a demanda de sete semanas, o último estágio que teve suas combinações analisadas foi a terceira semana.

Para atender as sete semanas era preciso um estoque de trinta e nove unidades, e os possíveis estoques finais que o estágio três poderia ter ultrapassavam a capacidade do freezer ou a data de validade do sorvete. Foi definido a opção de ter em estoque apenas trinta e nove unidades, pois se aumentasse o estoque até ao máximo, a data de validade estaria comprometida e ao mesmo tempo não seria o suficiente para atender a demanda da oitava ou nona semana, tendo

que a produção e o estoque teriam ficado parado sem utilidade. Segue a Tabela 4 – Combinações do primeiro planejamento, onde é demonstrado as combinações possíveis para determinar o menor custo.

Tabela 4 - Combinações do primeiro planejamento

SEMANA	ESTOQUE INICIAL	PRODUÇÃO	CUSTO	ESTOQUE FINAL
	0	8	R\$540	0
1	0	16	R\$820	8
	0	23	R\$1.065	15
	0	8	R\$1.080	0
	0	15	R\$1.325	7
	0	27	R\$1.745	19
	0	29	R\$1.815	21
	8	0	R\$980	0
	8	8	R\$1.360	8
2	8	15	R\$1.605	15
	8	27	R\$2.025	27
	8	29	R\$2.095	29
	15	0	R\$1.225	7
	15	8	R\$1.605	15
	15	15	R\$1.850	22
	15	27	R\$2.270	34
	15	29	R\$2.340	36
	0	7	R\$1.485	0
	0	19	R\$1.905	12
	0	21	R\$1.975	14
	0	26	R\$2.150	19
	7	0	R\$1.385	0
	7	7	R\$1.730	7
	7	19	R\$2.150	19
	7	21	R\$2.220	21
3	7	26	R\$2.395	26
	8	0	R\$1.520	1
	8	7	R\$1.865	8
	8	19	R\$2.285	20
	8	21	R\$2.355	22
	8	26	R\$2.530	27
	15	0	R\$1.765	8
	15	7	R\$2.110	15
	15	19	R\$2.530	27

15	21	R\$2.600	29
15	26	R\$2.775	34
19	0	R\$1.905	12
19	7	R\$2.250	19
19	19	R\$2.670	31
19	21	R\$2.740	33
19	26	R\$2.915	38
21	0	R\$1.975	14
21	7	R\$2.320	21
21	19	R\$2.740	33
21	21	R\$2.810	35
21	26	R\$2.985	40
22	0	R\$2.010	15
22	7	R\$2.355	22
22	19	R\$2.775	34
22	21	R\$2.845	36
22	26	R\$3.020	41
27	0	R\$2.185	20
27	7	R\$2.530	27
27	19	R\$2.950	39
27	21	R\$3.020	41
27	26	R\$3.195	46
29	0	R\$2.255	22
29	7	R\$2.600	29
29	19	R\$3.020	41
29	21	R\$3.090	43
29	26	R\$3.265	48
34	0	R\$2.430	27
34	7	R\$2.775	34
34	19	R\$3.195	46
34	21	R\$3.265	48
34	26	R\$3.440	53
36	0	R\$2.500	29
36	7	R\$2.845	36
36	19	R\$3.265	48
36	21	R\$3.335	50
36	26	R\$3.510	55

Fonte: Autoria própria

A partir dos resultados das combinações do primeiro planejamento que foi da semana 1 a semana 3, temos as seguintes decisões demonstradas na Tabela 5 – Decisão do primeiro planejamento, tendo o menor custo.

Tabela 5 – Decisão do primeiro planejamento

JANEIRO								
SEMANA 1			SEMANA 2			SEMANA 3		
ESTOQUE FINAL 1	PRODUÇÃO	CUSTO DECISÃO	ESTOQUE FINAL 2	PRODUÇÃO	CUSTO DECISÃO	ESTOQUE FINAL 3	PRODUÇÃO	CUSTO DECISÃO
0	8	R\$540	0	0	R\$980	39	19	R\$2.950
8	16	R\$820	7	0	R\$1.225			
15	23	R\$1.065	8	8	R\$1.360			
			15	8	R\$1.605			
			19	27	R\$1.745			
			21	29	R\$1.815			
			22	15	R\$1.850			
			27	27	R\$2.025			
			29	29	R\$2.095			
			34	27	R\$2.270			
			36	29	R\$2.340			

Fonte: Autoria própria

O segundo planejamento começou a partir da décima primeira semana seguindo a mesma lógica, o estoque final de um mês é analisado no próximo mês como possível estoque inicial e a partir deste é calculado os custos. As equações aplicadas nas duas programações dinâmicas de cálculo demonstrada na Figura 04 – Equação custo do primeiro estágio, leva em consideração apenas os custos das possíveis produções.

Figura 04 - Equação custo do primeiro estágio

$$=SE(\text{produção} > 0; \text{custo funcionário}; 0) + \text{produção} * \text{custo de produção} + \text{custo estoque}$$

Fonte: Autoria própria

No segundo estágio esse cálculo muda de acordo com a equação na Figura 05 – Equação custo do segundo estágio, acrescenta-se o SOMASE que soma a escolha de mesma combinação de estoque final com o estoque inicial e os dois custos de estágios diferentes são somados no estágio atual, para isso é criado a tabela de tomada de decisão que conterà as combinações com os menores custo com estoques diferentes. No último estágio no caso do planejamento um, o estágio três possui só uma opção, as outras não foram consideradas por causa das restrições e que só seria armazenado o necessário para atender as demandas subsequentes.

Figura 05 - Equação custo do segundo estágio

$$=SE(\text{produção} > 0; \text{custo funcionário}; 0) + \text{produção} * \text{custo de produção} + \text{custo estoque} + \text{SOMASE}(\text{coluna estoque final}; \text{coluna estoque inicial}; \text{coluna custo decisão})$$

Fonte: Autoria própria

Segue a Tabela 6 – Combinações do segundo planejamento, onde é demonstrado as combinações possíveis para determinar o menor custo, na semana 11 e 12.

Tabela 6 - Combinações do segundo planejamento

SEMANA	ESTOQUE INICIAL	PRODUÇÃO	CUSTO	ESTOQUE FINAL
	0	2	R\$330	0
	0	5	R\$435	3
	0	8	R\$540	6
11	0	13	R\$715	11
	0	16	R\$820	14
	0	18	R\$890	16
	0	25	R\$1.135	23
	0	3	R\$695	0
	0	6	R\$800	3
	0	11	R\$975	8
	0	14	R\$1.080	11
	0	16	R\$1.150	13
	0	23	R\$1.395	20
	0	29	R\$1.605	26
	3	0	R\$595	0
	3	3	R\$800	3
	3	6	R\$905	6
	3	11	R\$1.080	11
	3	14	R\$1.185	14
	3	16	R\$1.255	16
	3	23	R\$1.500	23
	3	29	R\$1.710	29
	6	0	R\$700	3
12	6	3	R\$905	6
	6	6	R\$1.010	9
	6	11	R\$1.185	14
	6	14	R\$1.290	17
	6	16	R\$1.360	19
	6	23	R\$1.605	26
	6	29	R\$1.815	32
	11	0	R\$875	8
	11	3	R\$1.080	11
	11	6	R\$1.185	14
	11	11	R\$1.360	19
	11	14	R\$1.465	22
	11	16	R\$1.535	24
	11	23	R\$1.780	31
	11	29	R\$1.990	37
	14	0	R\$980	11
	14	3	R\$1.185	14
	14	6	R\$1.290	17
	14	11	R\$1.465	22

14	14	R\$1.570	25
14	16	R\$1.640	27
14	23	R\$1.885	34
14	29	R\$2.095	40
16	0	R\$1.050	13
16	3	R\$1.255	16
16	6	R\$1.360	19
16	11	R\$1.535	24
16	14	R\$1.640	27
16	16	R\$1.710	29
16	23	R\$1.955	36
16	29	R\$2.165	42
23	0	R\$1.295	20
23	3	R\$1.500	23
23	6	R\$1.605	26
23	11	R\$1.780	31
23	14	R\$1.885	34
23	16	R\$1.955	36
23	23	R\$2.200	43
23	29	R\$2.410	49

Fonte: Autoria própria

Obtivemos no segundo planejamento que se deu da semana 11 e 12, temos as seguintes decisões demonstradas na Tabela 7 – Decisão do segundo planejamento, demonstrando o menor custo.

Tabela 7 - Decisão do segundo planejamento

Março					
SEMANA 11			SEMANA 12		
ESTOQUE FINAL 11	PRODUÇÃO	CUSTO DECISÃO	ESTOQUE FINAL 12	PRODUÇÃO	CUSTO DECISÃO
0	2	R\$330	29	16	R\$1.710
3	5	R\$435			
6	8	R\$540			
11	13	R\$715			
14	16	R\$820			
16	18	R\$890			
23	25	R\$1.135			

Fonte: Autoria própria

Contudo, ao término dos dois planejamentos verificamos as combinações que se enquadram nas restrições definidas, atendem à demanda esperada e possui o menor custo. Sendo que o primeiro planejamento a melhor solução mostra que a produção tem capacidade de atender a demanda até a décima semana e o segundo planejamento atende até a vigésima semana.

5. Considerações finais

Após a obtenção dos resultados que atendem as restrições com o menor custo de produção, pode-se afirmar que o modelo de programação dinâmica auxilia de forma significativa o planejamento da empresa para redução dos custos. A diferença entre o custo atual da empresa e a que modelo fornece, totaliza mil e quatrocentos reais sendo 23% de economia em relação

aos custos que a empresa tem atualmente em cinco meses. Para fazer uma análise mais completa utilizando a programação dinâmica, é preciso haver um aumento da capacidade de armazenagem, pois é a restrição que impede finalizar as combinações possíveis, deixando apenas a data de validade sem alteração visto que é algo que não pode ser alterado, para continuar mantendo a qualidade do produto.

REFERÊNCIAS

ARENALES, Marcos et al. **Pesquisa Operacional: Para cursos de Engenharia**. 6. ed. São Paulo: Elsevier, 2007. 375 p.

CONSULTORIA, I. **O que é PCP – Planejamento e Controle de Produção**. 2017. Disponível em: <https://ideiaconsultoria.com.br/post/2598/o-que-e-pcp-----planejamento-e-controle-de-producao>> Acesso em: 07 jun. 2018.

ESTENDER, A. C.; SEQUEIRA, G. R.; SIQUEIRA, N. A. S. **A Importância do Planejamento e Controle de Produção**. 2017. Disponível em: <https://singep.org.br/6singep/resultado/422.pdf>> Acesso em: 07 jun. 2018.

GARCIA, N. J. M.; AVELAR, R. J.; RODRIGO da COSTA, T.; GAIPO, T. K. O.; ALMEIDA, J. F. F. **Uso da programação linear como ferramenta de gerenciamento de estoque em uma loja de artigos eletrônicos**. Revista Engepro – inovação, gestão e produção. 2015. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_211_252_28094.pdf> Acesso em: 07 jun. 2018.

MARTINS, P. G. & LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
Souza, R. S., A. C. Trierweiler, A. D. Weise, R. A. Rocha, M. I. Monteiro, 2010. **Previsão de demanda como suporte para o planejamento e controle da produção na Sigma – Indústria Eletroeletrônica**. Revista Engepro – Inovação, gestão e produção. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_113_740_16802.pdf> Acesso em: 07 jun. 2018.