

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção
Curso de Engenharia de Produção

**Programação da Produção de Lingüiça numa Indústria de
Embutidos**

José Djalma Garcia Junior

TCC-EP-37-2009

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção
Curso de Engenharia de produção

**Programação da Produção de Lingüiça numa Indústria de
Embutidos**

José Djalma Garcia Junior

TCC-EP-37-2009

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito de avaliação no curso de graduação em Engenharia de Produção na Universidade Estadual de Maringá – UEM.

Orientador: Prof.: Dr. Paulo Roberto Paraíso

**Maringá - Paraná
2009**

José Djalma Garcia Junior

**Programação da Produção de Lingüiça numa Indústria de
Embutidos**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Paraíso
Departamento de Engenharia Química, CTC

Prof. Dr. Edwin Cardoza
Departamento de Engenharia de Produção, CTC

Maringá, outubro de 2009

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô materno Roberto Morini.
Mesmo não estando realmente entre nós estará sempre nos nossos corações.
O seu caráter, honra e humildade me guiam e me servem de exemplo de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde, força e por abençoar todos os dias da minha vida.

Aos meus pais, José Djalma Garcia e Maria Aparecida Morini Garcia, que desde que nasci me deram toda a estrutura para me tornar a pessoa que sou hoje. Em especial ao meu pai, que sempre esteve comigo, por ser meu melhor amigo e por me ensinar tanto nessa caminhada da vida.

As minhas avós que sempre torceram por mim, em especial a minha avó Mercedes Martins Garcia por nunca deixar que nenhuma dificuldade me impedisse de alcançar meus objetivos.

Aos meus irmãos.

A minha namorada Mariana Míe Pecoraro Koga por fazer parte da minha vida e servir de sustentação nos momentos de angústia sempre me incentivando e estando ao meu lado em tudo.

Ao meu supervisor de estágio José Maximiano Neto e a gerente Daniela Padilha Migotte por acreditarem no meu potencial e terem me ensinado tanto durante o meu estágio na Palmali.

Aos professores Paulo Roberto Paraíso e Paulo Eduardo Polon por terem contribuído na execução deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste é abordar o planejamento e programação da produção em uma empresa do setor de alimentos, otimizando o problema integrado de dimensionamento e seqüenciamento de lotes de produção a fim de decidir quanto produzir de cada produto em cada intervalo de tempo, considerando a seqüência de produção dos lotes, de tal forma a atender a demanda e aumentar a produtividade. O problema é modelado por programação linear inteira mista e solucionado com o uso de linguagem de modelagem aplicada ao software GAMS, um pacote de programação matemática comercialmente disponível. O resultado obtido foi uma carta de Gant contendo a ordem de entrada de cada produto na linha de produção, a quantidade de produto a ser processada e o tempo de processamento.

Palavras-chave: *Programação da Produção. Programação Linear Inteira Mista. Plano ótimo de Produção.*

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	13
1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO.....	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
1.5 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO.....	5
2.2 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO.....	8
2.3 MODELOS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EXISTENTES	12
2.4 REDE ESTADO TAREFA	16
3 DESENVOLVIMENTO	17
3.1 METODOLOGIA.....	17
3.1.1 <i>Descrição Geral do processo</i>	17
3.1.2 <i>Descrição do Processo Produtivo de Linguíças Frescas</i>	20
3.1.3 <i>Descrição do Processo Produtivo de Linguíças Cozidas e Cozidas Defumadas</i>	22
3.1.4 <i>Levantamento de Dados</i>	25
3.1.5 <i>Modelo matemático</i>	25
3.1.6 <i>Solução do Problema</i>	28
3.2 ESTUDO DE CASO.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5 CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS	35

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: VISÃO GERAL DAS ATIVIDADES DO PCP.....	16
FIGURA 2: PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO DENTRO DA ESTRUTURA FUNCIONAL.....	17
FIGURA 3: FATORES QUE INFLUENCIAM O PCP.....	18
FIGURA 4: FUNÇÕES DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO.....	19
FIGURA 5: DECISÕES NO SEQUENCIAMENTO DE PROCESSOS REPETITIVOS EM LOTES	21
FIGURA 6: ESQUEMA DA LINHA DE PREPARAÇÃO DE MASSAS DE LINGÜIÇAS	29
FIGURA 7: MODELO DE EMBUTIDEIRA UTILIZADA PELA EMPRESA.....	30
FIGURA 8: TEMPLATE DA LINHA DE EMBUTIMENTO DE LINGÜIÇAS FRESCAS	31
FIGURA 9: FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DE LINGÜIÇAS FRESCAS	32
FIGURA 10: TEMPLATE DA LINHA DE EMBUTIMENTO DE LINGÜIÇAS COZIDAS E COZIDAS DEFUMADAS	33
FIGURA 11: FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DE LINGÜIÇAS COZIDAS E COZIDAS DEFUMADAS	34
FIGURA 12: REPRESENTAÇÃO STN DA LINGÜIÇA CALABRESA.....	38
FIGURA 13: REPRESENTAÇÃO STN LINGÜIÇA MISTA DEFUMADA	38
FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO STN LINGÜIÇA CALESPE.....	39
FIGURA 15: REPRESENTAÇÃO STN LINGÜIÇA TOSCANA	39
FIGURA 16: REPRESENTAÇÃO STN LINGÜIÇA CELO FANE.....	39
FIGURA 17: REPRESENTAÇÃO STN LINGÜIÇA CALABRESA FINA	39
FIGURA 18: REPRESENTAÇÃO STN LINGÜIÇA PERNIL	39
FIGURA 19: REPRESENTAÇÃO STN LINGÜIÇA GOMINHO	40
FIGURA 20: CARTA DE GANTT	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PRODUÇÃO MUNDIAL DE CARNE SUÍNA 2007.....	11
TABELA 2:DADOS PARA MODELAGEM MATEMÁTICA.....	35
TABELA 3: COMPARATIVO ENTRE DEMANDA MÍNIMO E PRODUÇÃO ÓTIMA.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIEPCS	Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína
FAOSTAT	<i>Food and Agriculture Organization of The United Nations</i>
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
GAMS	<i>General Algebraic Modeling System</i>
MILP	<i>Mixed-integer linear programming</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PMP	Planejamento Mestre de Produção
MRP	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
JIT	<i>Just-in-Time</i>
STN	<i>State Task Network</i>
TOC	<i>Theory of constraints</i>
OPT	<i>Optimized Production Technology</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1 Colocação do Problema

A proteína animal mais consumida no mundo é a carne suína, isso se deve a facilidade das transformações da carne em diversos produtos.

O progresso da suinocultura brasileira teve início em meados dos anos 70. O sistema de produção começou a ser integrado aos frigoríficos, modernizando a atividade do produtor ao industrial e rendendo frutos como altos índices de produtividade. O plantel de suínos no Brasil tem alimentação rigorosamente controlada, baseada em cereais de excelência, da qual estão completamente excluídos aditivos ou reguladores. Os cuidados sanitários também são os mais rigorosos, incluindo ambientes higiênicos que atendem a todos os requisitos de conservação do meio ambiente (ABIPECS, 2004).

Ainda de acordo com a mesma instituição pode-se destacar que o desempenho dos milhares de produtores, também, incluiu fantásticos avanços na criação, alimentação e no controle genético. Seguindo a perspectiva da demanda do mercado consumidor por uma alimentação mais saudável, foi enfatizada a introdução de animais produtores de uma carne mais magra. Em outras palavras, os seis cortes mais comuns da carne suína estão 16% mais magros e 27% mais pobres em gordura saturada que há 15 anos (USA Nutrient, 2006)

Segundo o USDA (2006) a carne suína representou em 2006 quase metade do consumo e da produção de carnes no mundo, com mais de 94 milhões de toneladas, das quais aproximadamente 53% ocorreram na China. Atualmente o Brasil está em quinto lugar na lista dos grandes produtores com 2,71% do total.

Tabela 1: Produção Mundial de Carne Suína 2007

Pais	Volume (ton.)	Participação (%)	Pais	Volume (ton.)	Participação (%)
1 China	61.150.000	52,96	10 Rússia	1.788.000	1,55
2 EUA	9.952.709	8,62	11 Dinamarca	1.750.000	1,52
3 Alemanha	4.670.000	4,04	12 Itália	1.600.000	1,39
4 Espanha	3.221.700	2,79	13 Filipinas	1.501.000	1,30
5 Brasil	3.130.000	2,71	14 Países Baixos	1.295.600	1,12
6 Vietnã	2.500.000	2,17	15 México	1.200.000	1,04
7 Polônia	2.100.000	1,82	16 Japão	1.164.500	1,01
8 França	1.982.000	1,72	17 Outros	14.553.973	12,61
9 Canadá	1.894.380	1,64	18 Total	115.453.862	100

Fonte: FAOSTAT, FAO.

Mesmo apresentando uma boa desenvoltura na produção de carne suína o Brasil ainda tem um consumo per capita pequeno se comparado com países como China, EUA, Alemanha e Espanha. Segundo a FAOSTAT (2003) O Brasil tem um consumo per capita de 13 quilos por ano enquanto na Europa o consumo é de 44 quilos e na China e Canadá de 35 quilos por ano. Fundamentado nesta diferença pode-se enxergar o potencial de crescimento no nosso consumo de carne suína e seus derivados.

Também segundo o USDA (2004), existe uma tendência em âmbito mundial de aumento de demanda de proteína animal, isso atrelado a melhorias de renda nos países em desenvolvimento, ao aumento da urbanização e ao aumento da população.

Uma análise desenvolvida pelo Radobank (2004) mostra que entre o início dos anos 70 e meados dos anos 90, o volume de carne consumida nos países em desenvolvimento cresceu, praticamente três vezes mais rápidos do que nos países desenvolvidos. Desta forma estima-se que a demanda por carne nos países em desenvolvimento dobrará entre 1995 e 2020.

Uma alternativa para explorar esse potencial de crescimento no consumo é através dos produtos derivados da carne suína como os embutidos. Dentre os produtos embutidos mais produzidos no Brasil estão às linguiças, presuntos, apresuntados, mortadelas etc.

A produção de embutidos no Brasil surgiu com os imigrantes alemães e italianos, mas com o passar do tempo sofreu modificações e hoje o país apresenta uma característica própria na produção destes produtos. Essa produção envolve a aplicação de diversos recursos tais como equipamentos de produção, mão-de-obra e matérias-primas. A alocação desses recursos precisa ser otimizada para que as empresas deste setor adquiram competitividade no mercado.

1.2 Objetivos do Trabalho

O objetivo geral do trabalho é desenvolver um sistema para resolver um problema de programação da produção de uma indústria de alimentos.

Como objetivos específicos têm-se:

- a) Analisar o processo produtivo de lingüiça através do estudo de campo;
- b) Desenvolver um modelo matemático baseado na metodologia de um outro autor;
- c) Programar o modelo no software GAMS a fim de obter a solução do problema;
- d) Aplicar com os dados industriais.

1.3 Metodologia do Trabalho

A metodologia utilizada neste trabalho consiste de uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva que fará o levantamento de dados relacionados à Programação da Produção de lingüiças em uma indústria de processamento de carnes da cidade de Maringá. A coleta dos dados será feita através da observação do processo e de entrevistas com os responsáveis da área. Depois de concluída a etapa de coleta de dados e análise do processo será desenvolvida uma modelagem matemática de um problema de Planejamento e Controle da Produção que resultará em um problema de programação linear inteira mista (MILP) cuja solução se realizará utilizando o software GAMS.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos. Este primeiro capítulo é direcionado a colocação do problema, definição dos objetivos a serem atingidos, delimitação da metodologia a ser empregada para atingir os objetivos, bem como a sua contribuição científica.

No segundo capítulo será feita uma revisão bibliográfica a respeito dos pressupostos teóricos, conceitos básicos e ferramentas para a resolução de problemas de programação da produção utilizando modelagem matemática e modelos de planos ótimos.

No terceiro capítulo será apresentada a metodologia demonstrando o modelo utilizado, os dados levantados, a solução do problema no software, bem como o estudo de caso do qual se fundamentou a pesquisa.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões acerca da resolução do problema de programação da produção de lingüiça considerando as capacidades dos equipamentos e atendendo a demanda mínima de cada produto.

Por fim o quinto capítulo trata das conclusões obtidas a partir da modelagem matemática resolvida no software.

1.5 Contribuição do Trabalho

O presente trabalho visa essencialmente contribuir com o desenvolvimento de modelos matemáticos para a solução de problemas de programação da produção em empresas desprovidas de softwares sofisticados e mesmo para aquelas que os detém demonstrar que problemas deste tipo, comuns no dia a dia da produção, podem ser solucionados por tais técnicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Planejamento e Controle da Produção

A principal função do Planejamento e Controle da Produção (PCP) é garantir que os processos de produção ocorram eficaz e eficientemente e que produzam produtos e serviços conforme requeridos pelos consumidores. Ele é a integração do potencial da operação de fornecer produtos e serviços com a demanda de seus consumidores. É o conjunto de atividades diárias que garante que a operação ocorra de uma forma contínua (Slack; Chambers e Johnston, 2002).

O planejamento e controle da produção (PCP), é um sistema que formula planos para atingir metas e estratégias definidas no sistema produtivo, administra os recursos humanos e físicos e com base nesses planos, direciona a ação dos recursos humanos sobre os físicos e acompanha estas ações, permitindo a correção de prováveis desvios. (TUBINO, 2000). O sistema de produção é acionado mediante as informações geradas no âmbito do PCP, que, a partir dos tipos e quantidades, definem as ações junto aos recursos de produção e orientam o ato de produzir. Após a geração do produto, e de forma sistemática, realiza o controle das operações e proporciona *feed-back* aos agentes de produção e ao próprio PCP, caracterizando um sistema integrado de informações, relacionando-se com praticamente todas as funções do sistema produtivo.

Tubino (2000) destaca que as atividades do PCP são exercidas nos três níveis hierárquicos de planejamento e controle das atividades produtivas de um sistema de produção. No nível estratégico, onde são definidas as políticas estratégicas de longo prazo da empresa, o PCP participa da formulação do Planejamento Estratégico da Produção, gerando um Plano de Produção. No nível tático, onde são estabelecidos os planos de médio prazo para a produção, ele desenvolve o Planejamento-mestre da Produção, obtendo o Plano mestre de Produção (PMP). No nível operacional, onde são definidos os programas de curto prazo de produção e realizado o acompanhamento dos mesmos, o planejamento e controle da produção prepara a Programação da Produção administrando estoques e seqüenciamento, emitindo e liberando as Ordens de Compras, Fabricação e Montagem, bem como executa o Acompanhamento e Controle da Produção. Segundo o mesmo autor as informações dentro desses três níveis devem estar consolidadas, ou seja, o Plano-mestre de Produção gerado pelo Planejamento-

mestre da Produção só será viável se estiver compatível com as decisões tomadas a longo prazo, previstas no Planejamento Estratégico. Da mesma forma, a programação de fabricação de determinado componente será efetivada de forma eficiente se a capacidade produtiva do setor responsável pela mesma tiver sido equacionada no Planejamento-mestre da Produção, com a definição do número de turnos, recursos humanos e materiais alocados. Uma visão geral disso pode ser verificada na Figura 1:

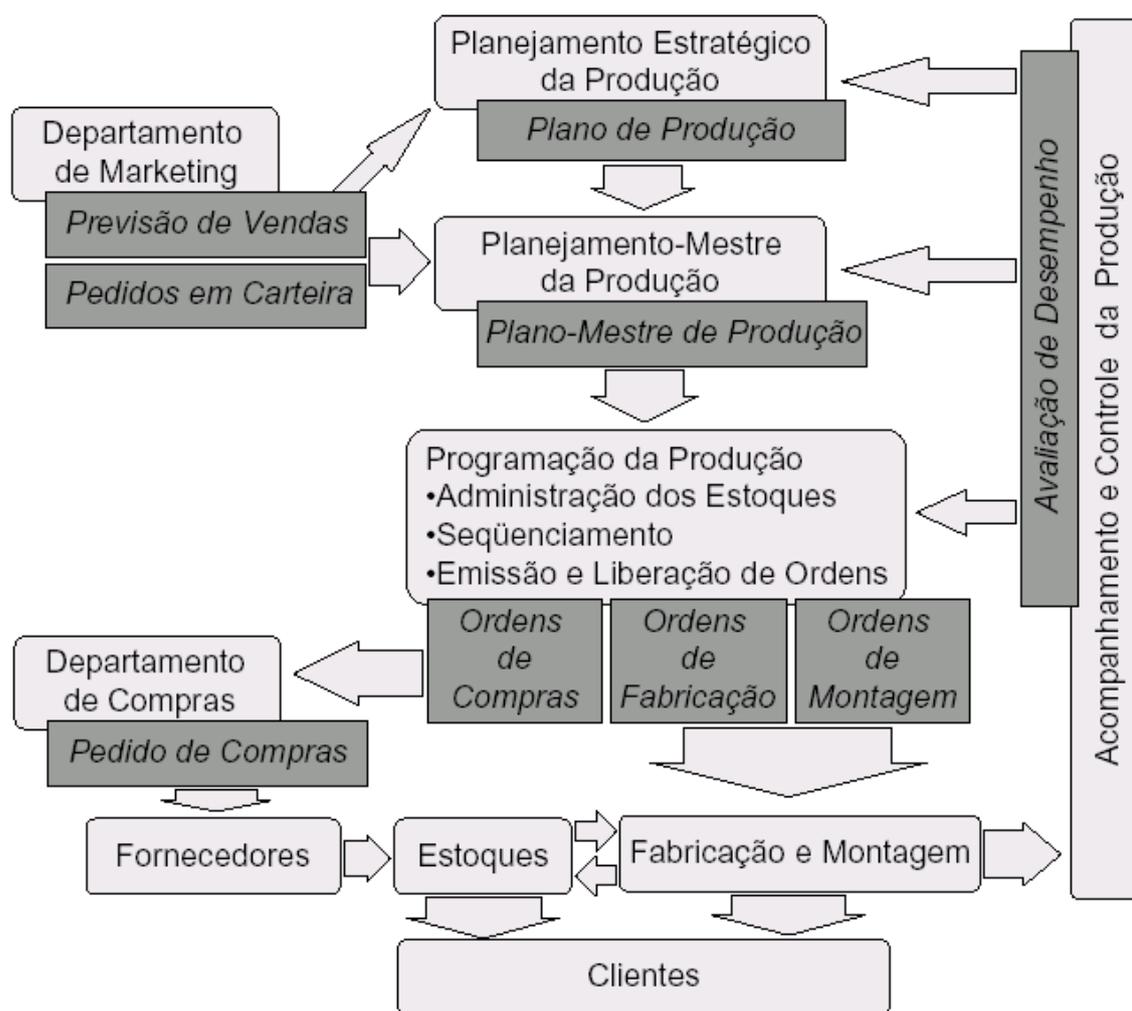


Figura 1: Visão geral das atividades do PCP.

Fonte: Tubino (2000, p. 25).

O PCP, de uma maneira geral, para atingir seus objetivos administra informações vindas de diversas áreas do sistema produtivo. Da Engenharia do Produto são necessárias informações contidas nas listas de materiais e desenhos técnicos, da Engenharia do Processo os roteiros de fabricação e os *lead times*, no Marketing buscam-se os planos de vendas e pedidos, a Manutenção fornece os planos de manutenção, Compras e Suprimentos informa as entradas e

saídas dos materiais em estoque, dos Recursos Humanos são necessários os programas de treinamento, Finanças fornece o plano de investimentos e o fluxo de caixa, ente outros relacionamentos, ou seja, relaciona-se praticamente com todas as funções do sistema (Tubino, 2000).

Duas possíveis estruturas funcionais que descrevem essa interação do Planejamento e Controle da Produção com os demais setores da organização podem ser observadas nas Figuras 2 e 3r:

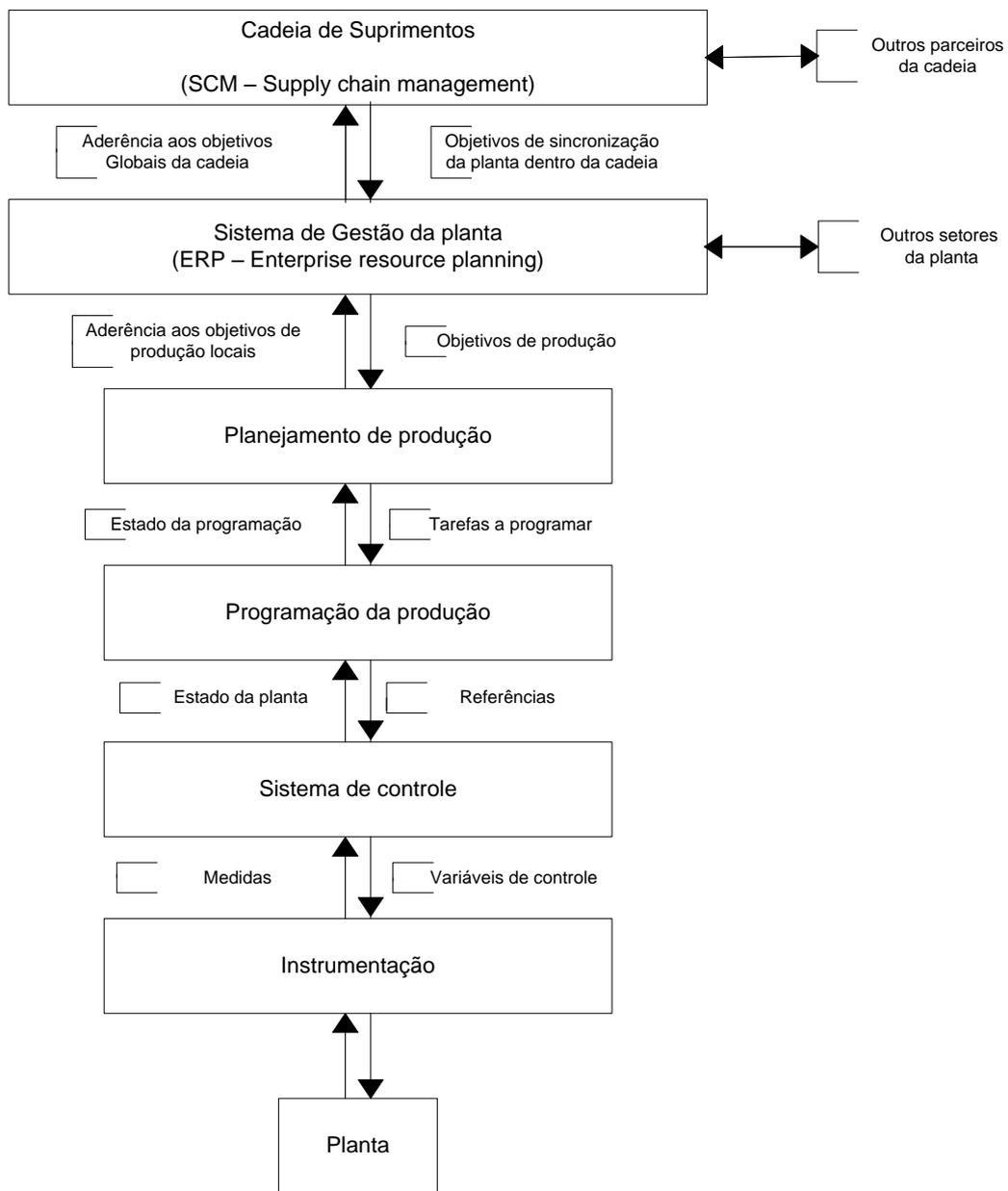


Figura 2: Planejamento e controle da produção dentro da estrutura funcional.

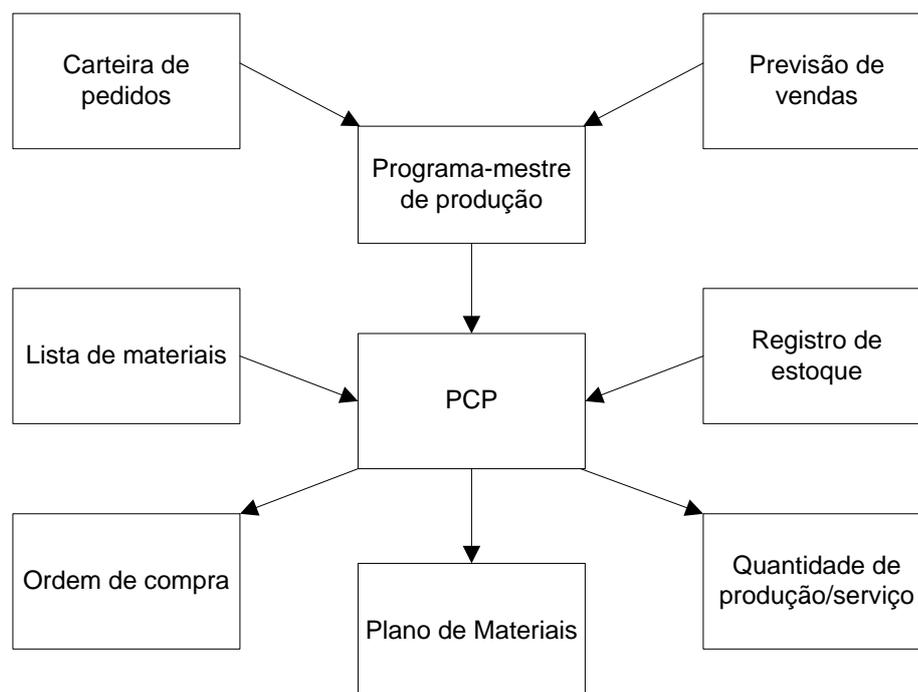


Figura 3: Fatores que influenciam o PCP.

2.2 Programação da Produção

Segundo Tubino (2000) com base no PMP (Planejamento Mestre de Produção) e nos registros de controle de estoque, a programação da produção encarrega-se de fazer o seqüenciamento das ordens emitidas, de forma a otimizar a utilização dos recursos, em que as restrições de produção possam ser satisfeitas e os custos de produção sejam minimizados.

Ainda segundo Tubino (2000) a programação está encarregada de definir quanto e quando comprar, fabricar ou montar cada item necessário à composição dos produtos acabados. Como resultado da programação da produção, são emitidas ordens de compras para os itens comprados, ordens de fabricação para os itens fabricados internamente, e ordens de montagem para submontagens intermediárias e montagem final dos produtos definidos no PMP. A figura 4 ilustra as funções da programação da produção.

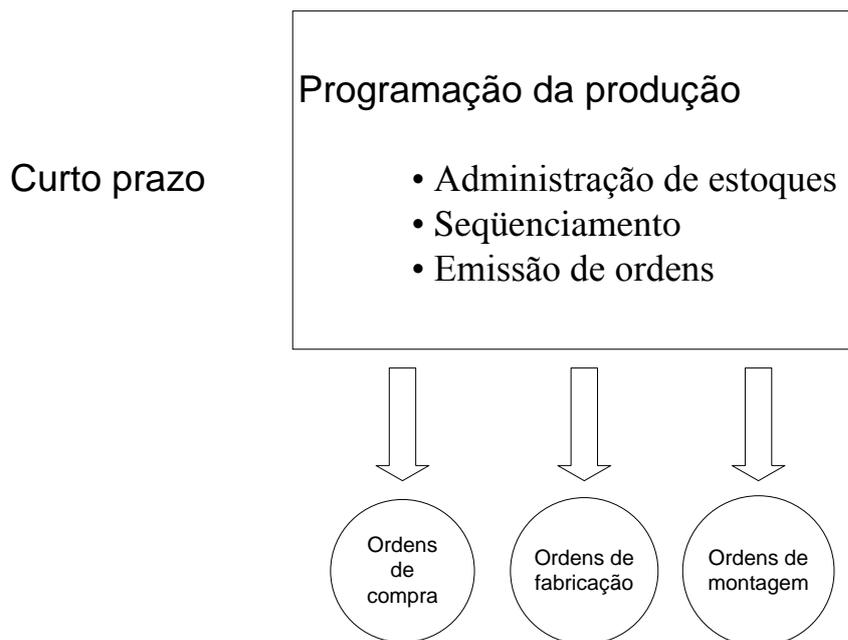


Figura 4: Funções da programação da produção.

Fonte: adaptado de Tubino (2000, p.104)

- Administração de estoques

Russomano (2000, p.153) define estoque como qualquer quantidade de material armazenado para uso futuro, em um determinado intervalo de tempo. É constituído para conciliar os vários fluxos de material de uma organização.

A administração dos estoques surgiu com a necessidade das empresas em organizar seus diferentes tipos de estoques, onde os mesmos são centralizados em um almoxarifado ou distribuídos por vários pontos dentro da empresa. Para Tubino (2000, p.106) as principais funções para as quais os estoques são criados, são:

- Garantir a independência entre etapas produtivas: para que na ocorrência de erros em uma determinada etapa não venha interferir nas demais;
- Permitir uma produção constante: estocar produtos acabados e matérias-primas para evitar que o ritmo da produção sofra grandes saltos com variações sazonais;
- Possibilitar o uso de lotes econômicos: na tentativa de absorver custos de produção;
- Reduzir os *lead times* produtivos: colabora para a redução do prazo de entrega dos produtos, pois um item estocado pode ser usado imediatamente.

- Como fator de segurança: para a correção de erros no modelo de previsão de demanda, onde as variações de demanda são administradas.
- Para obter vantagens de preço: na prevenção de possíveis aumentos de preço.

Russomano (2000, p.153) defende que mesmo apresentando funções tão importantes para a organização, o estoque apresenta pontos negativos, onde a imobilização financeira deve ser considerada, por ser muitas vezes indesejável. Na tentativa de reduzir ao máximo o número de estoque como também permitir que o mesmo atenda as necessidades da produção, Slack et al. (2000) ressalta que a organização deve casar as taxas de fornecimento e a demanda do processo.

- Seqüenciamento e emissão de ordens

Conforme Slack *et. al* (2000, p. 325) Seja a abordagem do carregamento finita ou infinita, quando o trabalho chega, decisões devem ser tomadas sobre a ordem em que as tarefas serão executadas. Porém dentro da dinâmica empresarial surgem instabilidades a curto prazo, como cancelamentos, adiantamentos ou acréscimos em pedidos dos clientes, alterações nas especificações dos itens, ou ainda, deficiências na qualidade e nos ritmos de trabalho, fazem com que a eficiência do sistema produtivo dependa fundamentalmente de um processo dinâmico de seqüenciamento e emissão do programa de produção.

Por outro lado, muitas dessas instabilidades estão relacionadas às características do próprio sistema produtivo com o qual se está trabalhando. Em sistemas do tipo contínuo, as opções de produtos e processos são bastante limitadas, restando à programação da produção apenas definir os volumes desejados dos itens. No outro extremo, em sistemas que trabalham por projetos, a cada novo pedido de clientes, toda a seqüência de ordens de produção, normalmente, deve ser refeita, alterando-se prioridades e ordens já emitidas. Neste caso, a programação da produção deve incluir esta dinâmica de processamento. Na prática, é comum encontrar empresas que possuem combinações destes sistemas, como, por exemplo, produzir repetitivamente em lotes na fabricação das peças, e de forma contínua nas linhas de montagem dos produtos acabados, ou ainda, ter um sistema de produção repetitivo em lotes para itens estocáveis e atender pedidos especiais sob encomenda. O PCP, nestes casos, deve trabalhar de forma híbrida, ressalta Tubino (2000).

A programação da produção nos processos repetitivos em massa busca equilibrar os postos de trabalho nas linhas de produção, fazendo desta forma um balanceamento da linha de produção, de forma a atender a demanda, em um determinado tempo de ciclo de trabalho, além de trabalhar dentro da máxima capacidade de produção, onde mudanças na demanda são absorvidas pelos estoques de produtos acabados, a programação atua encima do modelo de seqüenciamento para atender o que foi determinado no PMP.

De acordo com Tubino (2000), no processo repetitivo em lote dois aspectos podem ser considerados: a escolha da ordem a ser processada (decisão 1) e a escolha do recurso (decisão 2). A seleção da ordem consiste no estabelecimento de prioridades baseadas nos objetivos pretendidos, e no segundo caso a seleção diz respeito à escolha do recurso dentre um grupo de recursos disponíveis. A figura 5 ilustra a afirmação de Tubino.

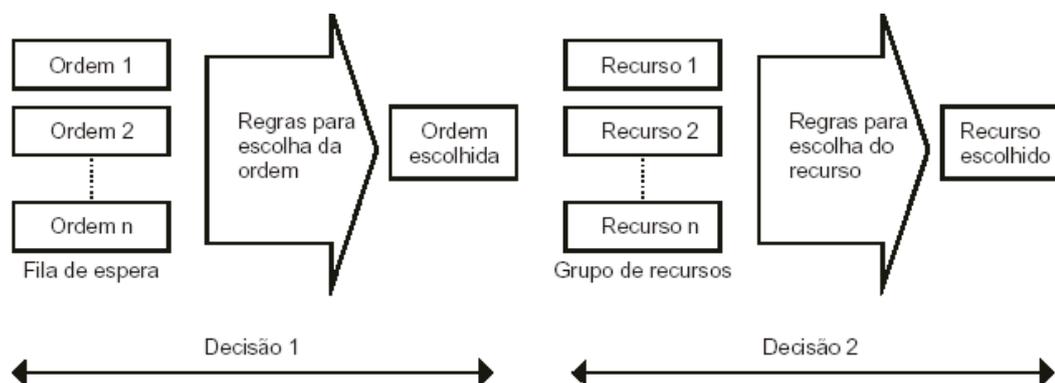


Figura 5: Decisões no seqüenciamento de processos repetitivos em lotes.

Fonte: Tubino (2000, p. 153)

Tubino (2000) observa ainda que as regras de seqüenciamento são heurísticas utilizadas para priorizar ordens e selecionar recursos. Embora haja soluções matemáticas otimizantes para o problema do seqüenciamento, como a programação linear, na prática as empresas preferem trabalhar com soluções simplificadas, pois frequentemente a dinâmica do ambiente dificulta o uso de modelos matemáticos, devido a sua variabilidade constante. As regras heurísticas de seqüenciamento, embora não garantam uma solução ótima, procuram chegar a uma solução boa e rápida em relação aos objetivos pretendidos.

As regras de seqüenciamento podem ser classificadas segundo várias óticas. Podem ser divididas em regras estáticas e regras dinâmicas, regras locais e regras globais, de prioridades simples e combinação de regras de prioridades simples, regras com índices ponderados e regras heurísticas sofisticadas. As regras heurísticas mais sofisticadas determinam as

prioridades incorporando informações não associadas ao trabalho específico, como a possibilidade de carregar antecipadamente o recurso, o emprego de rotas alternativas, a existência de gargalos no sistema etc. (TUBINO, 2000).

2.3 Modelos de programação da Produção Existentes

Com evolução da tecnologia de informação, e a crescente informatização, vieram progressivos avanços à gestão da produção e ao PCP. O advento dos sistemas MRP (Manufacturing Resource Planning) trouxe o cálculo das necessidades de materiais, associou-o à elaboração do programa-mestre de produção e estendeu-o também para outros recursos, como o tempo de máquina. Isso viabilizou o cálculo da capacidade, criando o sistema MRP II, que serviu de base para a maioria dos atuais sistemas informatizados de PCP. Outros sistemas bastante conhecidos são o JIT (*Just-in-Time*), cuja técnica de programação é o kanban, e a Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*), também conhecida por OPT (*Optimized Production Technology* ou Tecnologia de Produção Otimizada). Assuntos que serão detalhados a seguir.

- MRP e MRPII

Os sistemas MRP e MRPII, de acordo com Correa e Gianesi (1998), são certamente os que mais têm sido implantados pelas empresas, ao redor do mundo, desde os anos 70.

O princípio básico por trás do sistema MRP é o cálculo de necessidades, uma técnica que permite o cálculo, normalmente viabilizado pelo uso do computador, das quantidades e momentos em que são necessários os recursos de manufatura (materiais), para que se cumpram os programas de entrega de produtos, com um mínimo de formação de estoques. Este cálculo é feito a partir das necessidades dos produtos finais (quantidades e datas). A seguir, são calculadas para trás, no tempo, as datas em que as etapas do processo de produção devem acabar e começar. Finalmente, são determinados os recursos, e respectivas quantidades, necessários para que se execute cada etapa. Dado um produto, ele é “explodido” em todos os seus componentes até o último nível de detalhe, definindo-se sua lista de material. Esta constitui-se na espinha dorsal do MRP. Por meio dela serão consolidados todos os itens comuns a vários produtos, verificando a disponibilidade de estoques, e quando for o caso, emitida a lista de itens faltantes (MARTINS, 2004).

Este sistema é conhecido também como método de empurrar a produção, desde a compra de matérias-primas e componentes até os estoques de produtos acabados. A lógica de cálculo é bastante simples e conhecida há muito tempo. Sua utilização em processos de manufatura complexos, porém, era impossível até meados da década de 60. Não havia disponibilidade de computadores com capacidade suficiente de armazenagem e processamento de dados para tratar o volume de dados que o cálculo de necessidades requer numa situação real.

Correa e Giansesi (2001) assinalam que o cálculo de necessidades permitiu a constatação da diferença básica entre os conceitos de itens de demanda independente e itens de demanda dependente. Os itens de demanda independente, tipicamente produtos finais, são aqueles cuja demanda têm de ser prevista, com base nas características do mercado. Os itens de demanda dependente são aqueles cuja demanda pode ser calculada, com base na demanda dos itens finais.

Ainda segundo o mesmo autor a extensão do conceito do cálculo de necessidades ao planejamento dos demais recursos de manufatura, além dos materiais, como equipamentos e mão-deobra, originou-se o conceito MRPII. Além das informações já utilizadas pela base de dados do MRP, como informações sobre itens (dados cadastrais e tempos de ressuprimento) e posição dos estoques ao longo do tempo, tiveram que ser acrescentadas informações sobre os recursos produtivos da fábrica, roteiros de produção e taxas de consumo dos recursos na produção unitária de cada item.

Os sistemas MRPII estão disponíveis no mercado na forma de pacotes para computador. Estes são freqüentemente divididos em módulos, os quais têm diferentes funções e mantêm relações entre si. Os pacotes comerciais disponíveis apresentam uma grande similaridade quanto aos módulos e lógica principais. Os módulos principais do MRPII são os seguintes:

- módulo de planejamento da produção – também conhecido como módulo de planejamento de vendas e operações, define os grandes rumos que a empresa vai tomar em relação a famílias de produtos, usando informações agregadas sobre previsões de demanda, períodos de planejamento e grupos de recursos;
- módulo de planejamento-mestre da produção – desagrega o planejamento de vendas e operações para produtos finais específicos;

- módulo de cálculo de necessidades de materiais – calcula a necessidade de componentes, em termos de quantidades e momentos, a partir do plano-mestre de produção;
- módulo de cálculo de necessidades de capacidade – calcula as necessidades de outros recursos produtivos a partir do plano de materiais;
- módulo de controle de fábrica – faz a realimentação, para o planejamento, das ocorrências reais para comparar com o planejado e permitir replanejamentos corretivos.

O sistema Kamban caracteriza-se por “puxar” os lotes dentro do processo produtivo, produzindo em cada estágio somente os itens necessários, nas quantidades necessárias e no momento necessário. O sistema kanban foi projetado dentro do contexto mais amplo da filosofia *just-in-time*, que surgiu no Japão em meados da década de 70, sendo sua idéia básica e seu desenvolvimento creditados à Toyota Motor Cia. O *just-in-time* é uma filosofia de produção que busca movimentar e fornecer itens dentro da produção apenas nas quantidades necessárias e no momento necessário, daí a origem do termo *Just in time* para caracterizar esse tipo de sistema de produção (TUBINO, 2000).

Slack, Chambers e Johnston (2002) afirmam que o JIT não é só uma filosofia voltada para a redução dos desperdícios e para a melhoria contínua, mas também um conjunto de técnicas para aplicação na manufatura (células de manufatura, redução de *set-up*, lotes pequenos, manutenção produtiva total, relacionamento estável com fornecedores etc.), e um sistema de planejamento de controle (*kanban*), que para seu pleno funcionamento requer o comprometimento das pessoas envolvidas.

Segundo Correa e Gianesi (1998), várias expressões são encontradas para traduzir aspectos da filosofia JIT:

- Produção sem estoques;
- Eliminação de desperdícios;
- Manufatura de fluxo contínuo;
- Esforço contínuo na resolução de problemas;

- Melhoria contínua dos processos.

O sistema de cartões *kanban* pode ser de apenas um cartão (de produção ou de transporte) ou de dois cartões (de produção e de transporte). Tubino (2000) denomina os cartões de transporte como cartões de requisição ou de movimentação, subdividindo-os em cartões de requisição interna e cartões de fornecedor.

Existem ainda outros tipos de *kanbans*, isto é, meios de sinalização para ativar a produção e a movimentação dos itens, como o *kanban* contenedor, o quadrado *kanban*, o painel eletrônico e o *kanban* informatizado (TUBINO, 2000).

Tubino (2000) apresenta ainda algumas condições que devem ser respeitadas para obter o máximo proveito na utilização do sistema *kanban*, que são conhecidas como “regras” para seu bom funcionamento:

- o processo subsequente (cliente) deve retirar no processo precedente (fornecedor) os itens de sua necessidade apenas nas quantidades e no tempo necessário;
- o processo precedente deve produzir seus itens apenas nas quantidades requisitadas pelo processo subsequente;
- produtos com defeitos não devem ser liberados para os clientes;
- o número de *kanbans* no sistema deve ser minimizado;
- o sistema *kanban* deve adaptar-se a pequenas flutuações na demanda.

O principal alvo do JIT é reduzir os estoques, de modo que os problemas fiquem visíveis e possam ser eliminados através de esforços concentrados e priorizados, com evidentes reduções de custo e aumento de produtividade.

Tubino (2000) salienta ainda que a flexibilidade também é um dos pontos altos do JIT, no sentido de rapidamente responder às mudanças de mercado. Todavia, como afirmam Correa e Giansi (2001), o JIT é limitado no que diz respeito a atender as variações de demanda no curto prazo, quando estas são significativas.

2.4 Rede Estado Tarefa (STN)

Em (Kondili et al., 1993) e (Shah et al., 1993) é proposta a representação de processos de fabricação complexos através de um grafo de estados e tarefas, o chamado Rede Estado Tarefa *State Task Network* (STN) fundamentada por dois tipos de nós, os nós estados e os nós tarefas.

- Nós Estados que são representados por círculos e indicam a alimentação, intermediários e produtos finais com a receita de processo.
- Nós Tarefas que são representadas por retângulos e indicam as operações de processamento que transformam material de um ou mais estados de entrada para um ou mais estados de produto.

Ainda segundo Kondili et al. (1993) para se construir uma STN deve-se tomar como principal regra o seguinte, uma tarefa tem tantos estados de entrada e saída quantos diferentes tipos de materiais de entrada e saída e que duas ou mais entradas ou saídas do mesmo estado são necessariamente da mesma qualidade. Portanto, se mistura ou divisão de materiais estão presentes na receita do processo, uma tarefa separada deve ser definida para ter em conta esta operação.

Todas as matérias primas, produtos intermediários e produtos finais são estados, e cada estado é produzido e consumido por uma ou mais tarefas, a exceção das matérias primas e produtos finais. As tarefas transformam os estados de entrada em estados de saída. Esta modelagem permite representar estruturas complexas com junções, separações, ciclos, etc., assim como modelar as quantidades de produtos de entrada necessários para o processamento de uma tarefa e as quantidades resultantes.

2.5 Modelo Matemático

Para a resolução do problema de planejamento e programação do embutimento de linguagem utilizou-se, com algumas adaptações o modelo proposto por (Kondili et al., 1993) que utiliza a mesma abordagem proposta neste trabalho. A autora utiliza uma discretização pré definida do tempo e variáveis binárias indicando instantes de início de processamento. Qualquer início de processamento só pode ocorrer no início de um dos intervalos discretos. As restrições da modelagem são colocadas da seguinte forma:

Definindo:

i tarefas

j equipamentos

k intervalos de tempo

I_j conjunto de tarefas i atribuídas ao equipamento j

A modelagem compreende as seguintes equações (escrita para o caso particular em que o estágio que precede o equipamento j é o estágio $j-1$).

- em cada intervalo de tempo k de cada equipamento j é iniciada apenas uma tarefa:

$$\sum_{i \in I_j} \sum_{t'=t}^{t+\alpha_{ij}-1} W_{i'jt'} - 1 \leq M (1 - W_{ijt}) \quad \forall j \in J, i \in I_j, t \in T, \quad (1)$$

Sendo que W_{ijt} é uma variável binária = 1 se a tarefa i inicia o processamento no equipamento j no intervalo k ; = 0 caso contrário e α_{ij} é o tempo de processamento fixo da tarefa (i) na unidade (j) e M é um número positivo suficientemente grande.

- O tamanho de batelada de uma tarefa está relacionada à correspondente variável de atribuição através da restrição de capacidade como a seguir:

$$W_{ijt} V_{ij}^{\min} \leq B_{ijt} \leq W_{ijt} V_{ij}^{\max} \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T, \quad (2)$$

onde B_{ijt} representa a quantidade de material que começa sofrer a tarefa (i) na unidade (j) no intervalo de tempo (t) e V_{ij}^{\min} e V_{ij}^{\max} são a capacidade mínima e máxima da unidade (j) para a tarefa (i), respectivamente.

- O balanço de massa pode ser expresso efetivamente pelo estabelecimento de relação entre os níveis de estoque em dois intervalos de tempo consecutivos através da seguinte restrição:

$$S_{st} = S_{s,t-1} + \sum_{i \in I_s^p} \rho_{is}^p \sum_{j \in J_i} B_{i,j,t-\alpha_{is}} - \sum_{i \in I_s^c} \rho_{is}^c \sum_{j \in J_i} B_{i,j,t} - D_{st}, \quad \forall s \in S, t \in T, \quad (3)$$

S_{st} determina a quantidade de material no estado (s) durante o intervalo de tempo (t). Sendo I_s^P e I_s^C os conjuntos de tarefas que produzem e consomem estado (s), respectivamente; ρ_{is}^P e ρ_{is}^C são as frações do estado (s) produzido e consumido pela tarefa (i), respectivamente; J_i é o conjunto de unidades adequadas para tarefa (i); α_{is} é o tempo de processamento para o estado (s) pela tarefa (i). A variável D_{st} representa a quantidade de estado (s) entregue no intervalo de tempo (t).

- A restrição sobre armazenagem de um material no estado é então representado simplesmente como limites superiores sobre as variáveis S_{st} :

$$0 \leq S_{st} \leq C_s \quad \forall s \in S, t \in T \quad (4)$$

onde C_s é a capacidade de armazenagem limitada para o estado (s).

A função objetivo do problema que visa a programação ótima da produção é definida pela autora da seguinte forma:

$$\equiv \sum_s \left(C_{s,H+1} S_{s,H+1} + \sum_{t=1}^H C_{st} D_{st} \right) \quad (5)$$

Onde C_{st} é o preço unitário associado com o material no estado (s) no tempo (t).

Diferentes medidas da qualidade da solução podem ser usadas para problemas de programação da produção. No entanto, o critério selecionado para a otimização geralmente tem um efeito direto sobre o desempenho do modelo computacional. Além disso, algumas funções objetivos podem ser muito difícil de implementar para algumas representações de eventos, necessitando de variáveis adicionais e restrições complexas.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho consiste de uma coleta de dados através da observação do processo e de entrevistas com os responsáveis da empresa e em seguida a análise do processo será desenvolvida uma modelagem matemática de um problema de Programação da Produção. A empresa produz um vasto mix de produtos, porém o tipo escolhido foi a lingüiça uma vez que esta concorre entre si na utilização de equipamentos. A programação ótima da produção destas lingüiças resultará em um problema de programação linear inteira mista MILP cuja solução se realizará utilizando o software GAMS.

3.1.1.1 Descrição geral do processo

O presente trabalho está baseado no estudo de caso de uma unidade produtora de produtos embutidos derivados de carne suína. Esta planta, localizada na cidade de Maringá – PR produz embutidos como salsichas, presuntos, lingüiças, apresuntados, mortadelas, entre outros. No entanto, por razões didáticas limitou-se a desenvolver o trabalho apenas na linha de produção de lingüiças. O processo crítico da produção de lingüiças é o embutimento, pois nesta etapa existe concorrência entre os oito tipos de lingüiça a serem processadas em três embutadeiras. A capacidade de produção de cada embutadeira é diferente para cada tipo de lingüiça por causa do modelo de cada embutadeira e dos acessórios que cada uma contém. Neste tópico será dada uma idéia geral dos processos de fabricação de lingüiças e nos seguintes tópicos será apresentada a descrição detalhada de todo o processo produtivo de cada tipo lingüiça do mix escolhido.

A primeira etapa do processo de produção de lingüiça é transportar as carnes do salão de estabilização, onde as carnes ficam alocadas por um período de tempo para que possam sofrer um aumento de temperatura ficando entre 5 e 10 °C e assim facilitar a preparação da massa, este transporte é feito manualmente com a utilização de caixotes de aço inoxidável com rodízio (rodinhas), chamados de carros de inox, com uma capacidade de aproximadamente 170 kg. Posteriormente vem o processo de moer as carnes selecionadas que já foram pesadas e separadas mediante a formulação pré-estabelecida pelo departamento técnico, que varia de acordo com o tipo de lingüiça a ser produzida e a disponibilidade das matérias primas no

mercado. Aqui se trabalhou com um mix de oito tipos de lingüiças, são elas: calabresa defumada, toscana fresca, calespe, mista defumada, calabresa fina defumada, celofane, lingüiça de pernil e gominho. Esse processo de moagem das carnes é realizado em um moedor mecânico com capacidade para moer 3930 kg/h, a alimentação deste moedor se dá com a utilização de um elevador acoplado ao próprio moedor que eleva os carros de inox até o nível do reservatório do moedor. Depois de moídas as carnes são despejadas novamente em carros de inox e transportadas manualmente até o misturador.

A próxima etapa é a mistura dos ingredientes que ocorre em duas fases: primeiramente a mistura dos líquidos com os condimentos formando uma solução e depois a mistura desta solução com as carnes. Nesse processo é utilizado um misturador com capacidade para misturar 570 kg por batelada e da mesma forma que o moedor o misturador também é alimentado com a utilização de um elevador acoplado que eleva os carros de inox até o nível do reservatório do misturador. Assim que é preparada a mistura a mesma é descarregada novamente nos carros de inox e no caso de todos os tipos de lingüiça com exceção da lingüiça toscana fresca e pernil já podem ser transportados até as embutideiras para serem embutidas nos revestimento naturais ou artificiais (tripas). Na figura 6 pode-se verificar um esquema do setor de preparação de massa de lingüiças identificando os equipamentos da linha e os funcionários alocados.

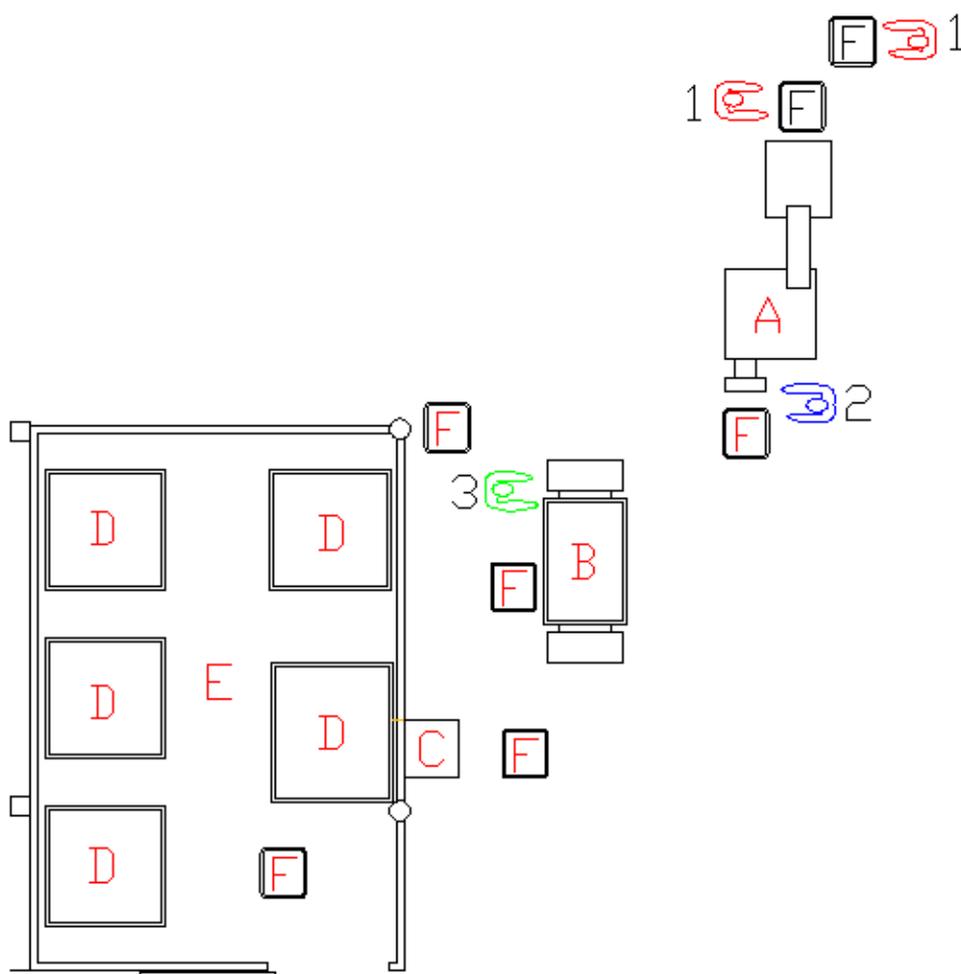


Figura 6: Esquema da linha de preparação de massas de lingüiças

Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda:

A = Moedor

B = Misturador Incomaff

C = Bomba

D = Silo de armazenamento

E = Camara de cura

F = Carro de Inox

1 = Funcionários que transportam a materia prima até o Moedor

2 = Funcionário que opera o Moedor e leva o carro até o Mist.

3 = Funcionário que opera o Misturador

No caso da lingüiça toscana fresca e a de pernil fresca necessitarem de um processo de cura da massa que dura em média doze horas, por isso, assim que é preparada a massa da toscana fresca e pernil elas são transportadas até um reservatório de uma bomba helicoidal que bombeia a massa até silos de cura localizados em uma sala climatizada instalada próxima ao misturador. Depois de curada a mistura pode ser despejada nos carros de inox e transportada

até as embutideiras. Na figura 7 logo abaixo pode-se verificar uma imagem do modelo de embutideiras utilizadas pela empresa em estudo.



Figura 7: Modelo de embutideira utilizada pela empresa

Realizado o embutimento as lingüiças frescas, como é o caso da toscana e a de pernil, já podem seguir para a embalagem e no caso das outras seguem primeiro para o cozimento e em seguida para a embalagem.

3.1.1.2 Descrição do processo produtivo de lingüiças frescas

O processo de produção da lingüiça toscana e de pernil (frescas) se inicia com a separação das carnes definidas pelo departamento técnico e em seguida a sua moagem. Estando moídas as carnes já podem ser adicionadas aos condimentos para que ambos possam ser misturados no misturador. Assim que termina o processo de mistura da massa a mesma é bombeada por uma bomba helicoidal até cinco silos, com capacidade para armazenar 20.000 kg juntos, onde deve ficar em repouso por 12 horas para que se realize curada. Dado o tempo de cura a massa está pronta para ser embutida no revestimento natural de porco (tripa), esse processo ocorre em uma embutideira com capacidade para embutir 1234 kg/h. Depois de embutida coloca-se

um grampo de plástico para fechar as extremidades da tripa, depois disso insere-se essa tripa já embutida na amarradeira que amarra os gomos com a utilização de barbante. Feito esse processo são pesados lotes de 5 kg de lingüiça que serão colocados na embalagem e depois selada com a utilização de uma seladora térmica.

Na figura 8 pode-se observar um esquema da linha de embutimento da lingüiça Toscana demonstrando os postos de trabalho juntamente com os equipamentos.

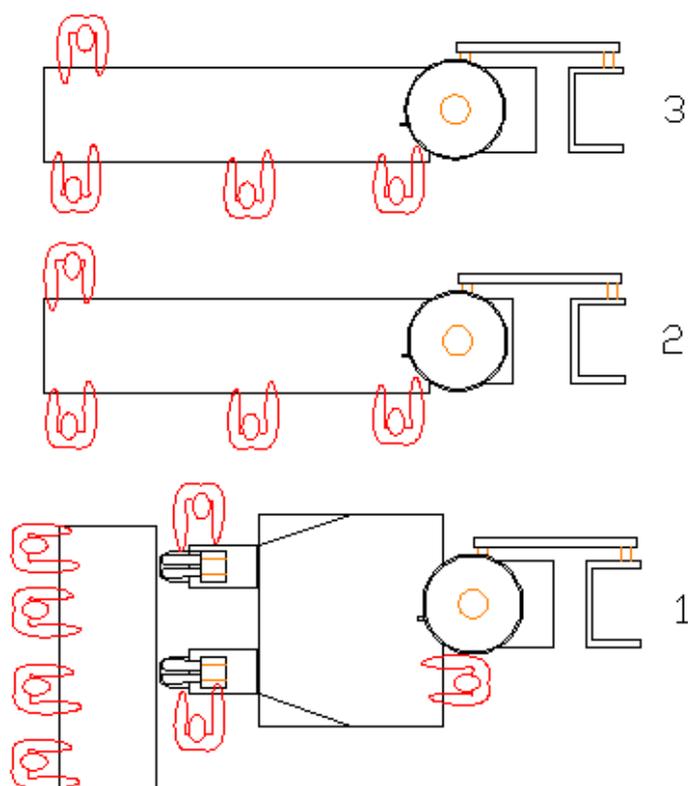


Figura 8: Template da linha de embutimento de lingüiças frescas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda:

1 – Embutideira 1;

2 – Embutideira 2;

3 – Embutideira 3.

Na Figura 9 pode-se observar um fluxograma esquemático do processo produtivo.

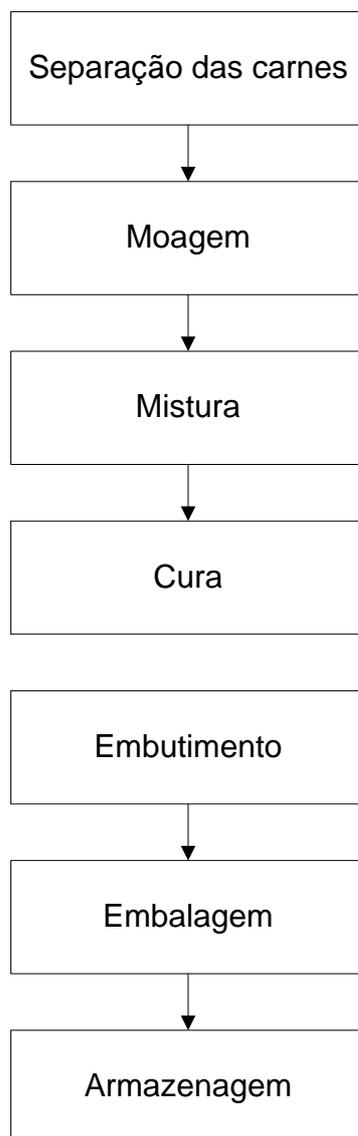


Figura 9: Fluxograma do processo produtivo de lingüiças frescas.

Elaborado pelo autor.

3.1.1.3 Descrição do processo produtivo de lingüiças cozidas e cozidas defumadas

Assim como nas frescas o processo produtivo das lingüiças cozidas e cozidas defumadas, como é o caso da calabresa, calespe, calabresa fina, mista defumada, celofane e gominho, também se inicia com a separação das carnes contidas na formulação do produto. Quando separadas estas carnes são colocadas no moedor para serem moídas. Assim que estão moídas são também colocadas no misturador para que possam ser misturadas com os condimentos. Terminado o processo de mistura a massa já está pronta para ser embutida no revestimento natural, e neste caso diferentemente da toscana o revestimento natural é de origem bovina. No

embutimento da calabresa e da calespe a formação dos gomos é feita pela própria embutideira com o uso de torcedores e por isso não precisa passar pela amarradeira. Depois de embutida a calabresa, calabresa fina e a calespe são colocadas em varas de metal para que possam passar pelo atomizador de essência de fumaça que dá o aroma de defumado para as lingüiças e posteriormente as varas são alocadas nos carros de cozimento. Os outros tipos são envaradas e colocadas diretamente no carro de cozimento. Feito isso a lingüiça pode ser levada até a estufa de cozimento para cozinhar e posteriormente o cozimento a embalagem. Na figura 10 a seguir-se está demonstrado o template da linha de embutimento de lingüiças cozidas frescas.

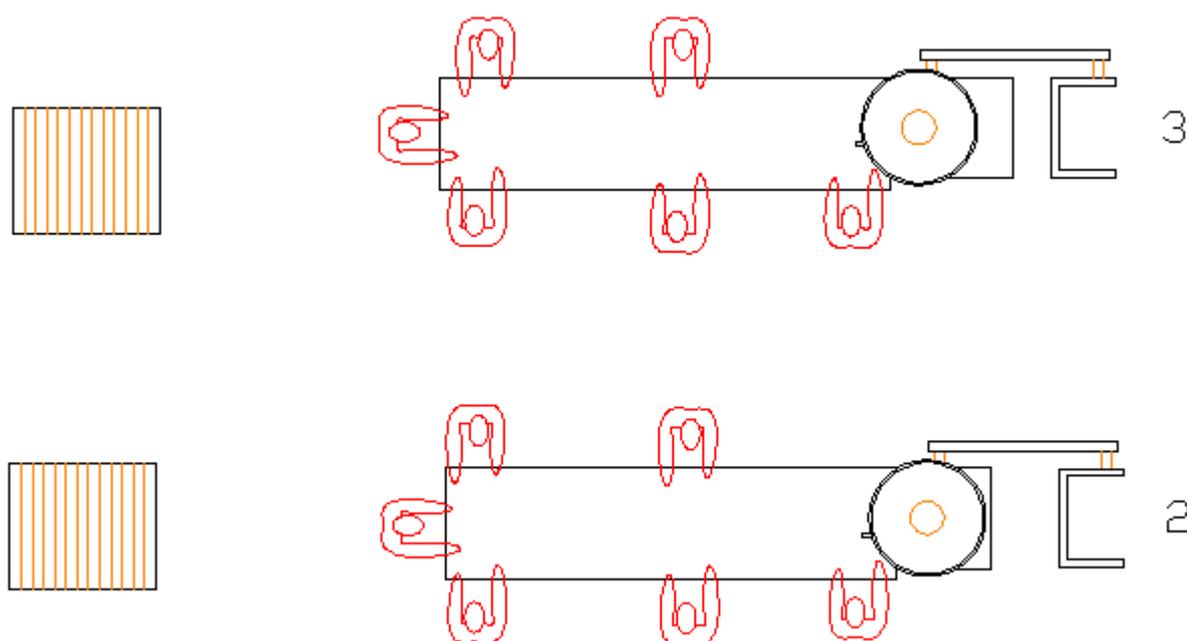


Figura 10: Template da linha de embutimento de lingüiças cozidas e cozidas defumadas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O fluxograma esquemático da linha de produção destas linguiças está demonstrado na Figura 11:

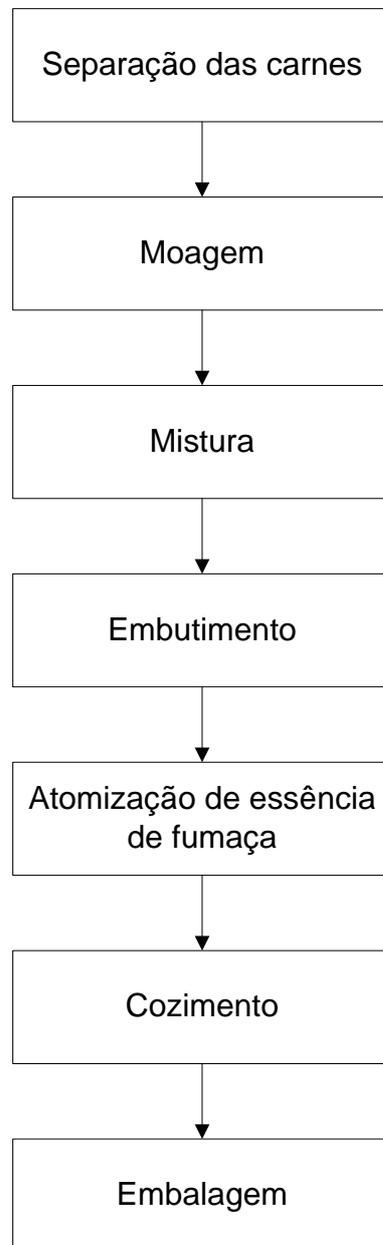


Figura 11: Fluxograma do processo produtivo de linguiças cozidas e cozidas defumadas.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.2 Levantamento de dados

Na tabela 2 são expostos os dados referentes à modelagem matemática do problema de programação da produção a ser resolvido com a utilização do software GAMS visando à maximização da produção. Nesta tabela pode-se verificar as embutadeiras que podem ser usadas no embutimento de cada tipo lingüiça e a capacidade de embutimento de cada uma de acordo com o produto processado. Também é demonstrado a demanda mínima diária de cada produto.

Tabela 2: Dados para modelagem matemática

Produto	Embutadeira	Capacidade kg/h	Demanda (kg/dia)
Calabresa	1	1.000	10.000
	2	1.200	
Mista defumada (cachorro)	1	600	250
Calespe	3	1.000	500
	2	1.000	
	1	600	
Toscana	3	600	6.000
	2	600	
	1	1.200	
Celofane	3	200	400
	2	600	
	1	200	
Calabresa fina	2	600	400
Pernil	3	800	1.500
	2	800	
	1	1.200	
Gominho	1	600	300

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

A partir destes dados foi realizada a modelagem do problema de programação da produção no setor de embutimento de lingüiças setor onde foi verificado maior concorrência de equipamentos entre os produtos. Os dados foram obtidos através da observação do processo e cronoanálise das atividades.

3.1.3 Solução do Problema

A solução para o problema de programação da produção da linha de embutimento de lingüiça foi torná-lo como um problema de Programação Linear Inteira Mista (MILP). Como já citado baseou-se na modelagem proposta por (KONDILI *et al.*, 1993) e para a resolução ótima deste modelo foi utilizado o software GAMS. A opção pela utilização deste software se deu pelo fato dele ser um software comercialmente disponível nas suas versões mais anteriores e por ele permitir trabalhar com equação lineares sem precisar desmembrá-las passando para outro formato como é o caso das planilhas eletrônicas como o Excel e G-NUMERIC.

3.2 Estudo de Caso

A atividade limitante do processo de produção das lingüiças é a atividade de embutimento, onde existe concorrência entre os três equipamentos.

A modelagem desse processo é feita utilizando a representação de Redes Estado Tarefa (*State Task Network – STN*) introduzida em (KONDILI *et al.*, 1993). Como se pode verificar a Rede Estado Tarefa para o embutimento de cada tipo de lingüiça é composta por dois estados, um de entrada e o outro de saída e por uma tarefa, a tarefa de embutimento. Essa representação da STN para cada tipo de lingüiça está demonstrada na Figura 12 até a Figura 19 abaixo:

- Linha de Calabresa

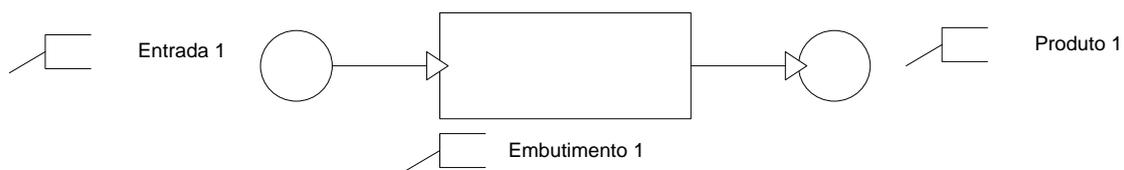


Figura 12: Representação STN da lingüiça calabresa.

- Mista defumada

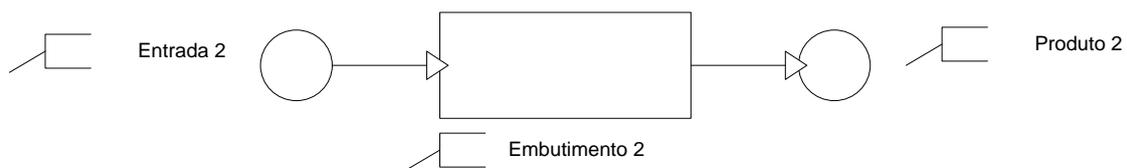


Figura 13: Representação STN lingüiça mista defumada.

- Calespe

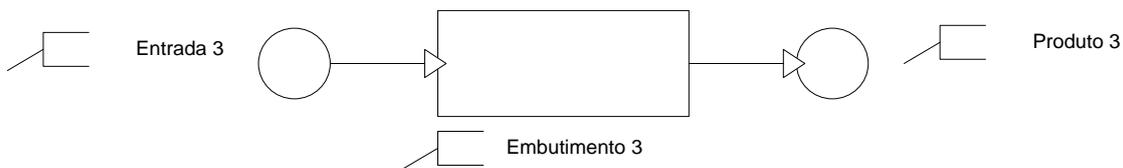


Figura 14: Representação STN lingüiça cales pe.

- Toscana

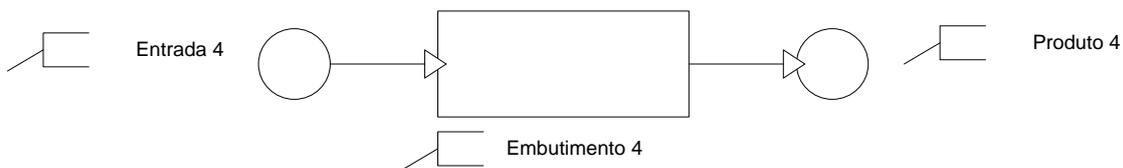


Figura 15: Representação STN lingüiça toscana.

- Celofane

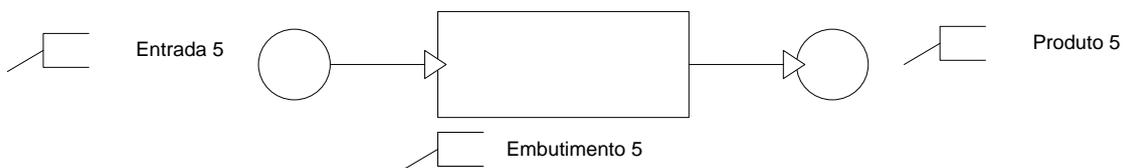


Figura 16: Representação STN lingüiça celofane.

- Calabresa fina

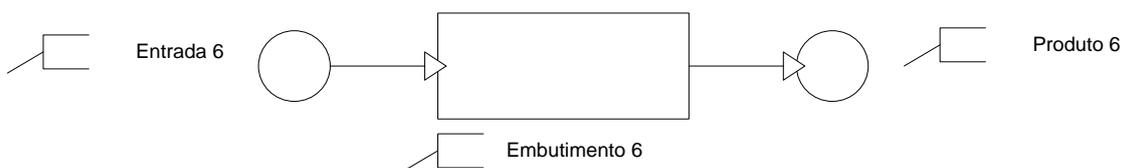


Figura 17: Representação STN lingüiça calabresa fina.

- Pernil

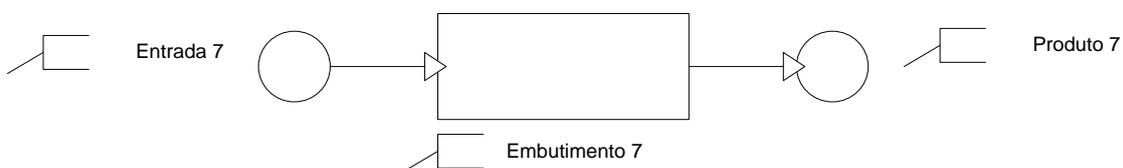


Figura 18: Representação STN lingüiça pernil.

- Gominho

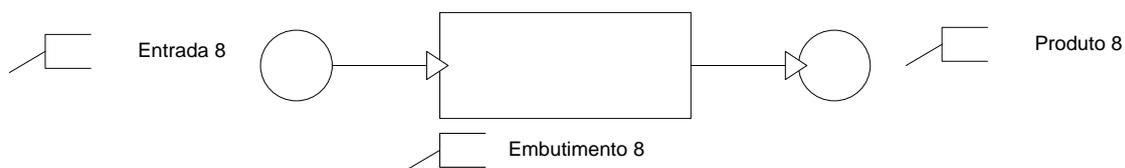


Figura 19: Representação STN lingüiça gominho.

De acordo com a rede estado tarefa de cada uma das lingüiças e os dados de demanda, capacidade e restrição de embutideiras apresentados na tabela 2 e o tempo de produção de oito horas foi realizada modelagem do problema utilizando o modelo matemático descrito no item 2.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Compilando-se o algoritmo descrito no item 3.2 no software GAMS/Cplex foi obtido um relatório cujo resultado pode ser melhor visualizado na representação gráfica carta de Gantt na figura 20. Onde pode-se observar para cada tarefa os processadores a serem utilizados e a quantidade processada em cada instante do tempo discretizado.

Produto	Tarefa	Processador	Embutideira	SL1	SL2	SL3	SL4	SL5	SL6	SL7	SL8	Produção (kg)
Calabresa	Embutimento 1	Embutideira	1	1000		1000	1000		1.000	1000	1000	13.200
			2	1200			1200	1200	1.200	1200	1200	
Mista Defumada	Embutimento 2	Embutideira	3		600							600
Calespe	Embutimento 3	Embutideira	1					1000				1.000
			2									
			3									
Toscana	Embutimento 4	Embutideira	1									6.000
			2									
			3	1200		1200	1200	1200	1200			
Celofane	Embutimento 5	Embutideira	1									600
			2		600							
			3									
Calabresa Fina	Embutimento 6	Embutideira	2			600					600	
Pernil	Embutimento 7	Embutideira	1		800							2.000
			2									
			3									
Gominho	Embutimento 8	Embutideira	3							600	600	
Total											24.600	

Figura 20: Carta de Gantt

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como pode ser observado na figura 20 a tarefa “embutimento 1” que corresponde ao embutimento da lingüiça calabresa e que pode ser realizado na embutideiras 1e 2 deve ser feito nas embutideiras 1 e 2. Na embutideira 1 a tarefa deve ser iniciada na primeira hora do dia, interrompida na segunda, retomada na terceira hora do expediente, interrompida novamente na quinta hora e retomada na sexta horas sendo executada até o fim do expediente. Na embutideira 2 a tarefa deve ser iniciada na primeira hora do expediente e assim como na embutideira 1 interrompida na segunda. A retomada ocorre na quarta hora e é realizada até o fim do expediente.

A tarefa “embutimento2” que corresponde ao embutimento da lingüiça mista defuma, que só pode ser realizado na embutideira 3 deve ser realizada na embutideira 3 com o embutimento sendo realizado na segunda hora do expediente.

Já a tarefa “embutimento 3” que corresponde ao embutimento da lingüiça calespe, que pode ser realizada nas três embutideira deve ser feito na embutideira 1 na quinta hora do expediente de trabalho.

Na seguinte tarefa “embutimento 4” que se refere ao embutimento da lingüiça toscana o gráfico indica que a tarefa pode ser realizada nas três embutideiras mas o ideal é que seja feita na embutideira 3 começando o embutimento na primeira hora interrompendo as atividades na segunda e retomando na terceira hora até a sétima hora do expediente de trabalho.

No gráfico também pode-se observar que a tarefa “embutimento 5” representando o embutimento da lingüiça celofane pode ser realizada na três embutideiras mas o modelo determina que seja feita na embutideira 2 sendo feita durante a segunda hora do expediente.

O embutimento 6 que só pode ser realizado na embutideira 2 deve ser feito na embutideira 2 sendo realizado durante a terceira hora do expediente.

Já o embutimento 7 que pode ser realizado nas três embutideiras deve ser feito na embutideira 1 durante a segunda hora e na embutideira 2 durante a ultima hora do expediente.

E por fim o embutimento 8 que só pode ser realizado na embutideira 3 deve ser feito na embutideira 3 sendo realizado na sétima hora do expediente.

Observando os resultados obtidos a partir do modelo matemático de programação da produção utilizado neste trabalho foi possível verificar que não só foi atendida a demanda mínima de cada produto como também conseguiu-se obter a produção ótima de cada um. Na tabela 3 verifica-se a demanda mínima de cada produto e a produção ótima de cada um indicada pelo modelo matemático de programação.

Tabela 3: Comparativo entre demanda mínima e produção ótima

<i>Produto</i>	<i>Demanda Mínima (kg)</i>	<i>Produção Ótima (kg)</i>
Calabresa	10.000	13.200
Mista Defumada	250	600
Calespe	500	1.000
Toscana	6.000	6.000
Celofane	400	600
Calabresa Fina	400	600
Pernil	1500	2000
Gominho	300	600

5 CONCLUSÕES

O trabalho descreve uma linha de produção de lingüiça numa fábrica de embutidos e todos os aspectos importantes referentes à fabricação de lingüiças desde a preparação da massa, cura, embutimento, atomização de essência de fumaça, cozimento e embalagem.

Como foi identificada a existência de um problema relacionado à competição entre oito tipos de lingüiças por três equipamentos que refletem diretamente na produtividade da linha e que as decisões de alocação destes produtos na linha são tomadas rotineiramente pelos gestores de produção fundamentadas apenas na experiência de cada um procurou-se demonstrar que tais decisões podem ser tomadas com a utilização de modelos matemáticos de programação da produção objetivando soluções ótimas.

O modelo matemático utilizado descreve muito bem o problema proposto, a solução fornece uma alocação ótima de equipamentos e tarefas demonstrada na figura 20 do item 4.

Por causa da linearidade da formulação, a solução obtida é garantida ser ótima, mas não necessariamente única. De fato uma consequência da flexibilidade inerente de plantas batelada é que muitos problemas de programação da produção tem muitas soluções com o mesmo valor da função objetivo. Como foi demonstrado na figura 20 o modelo matemático forneceu uma solução ótima que aloca produtos em determinadas embutideiras com intervalos de processamento, ou seja, um produto começa a ser processado, em um determinado instante do tempo discretizado o processamento é interrompido e é dada a entrada de um outro produto no processador, o processamento deste produto é executado e depois volta-se para o primeiro produto para que o seu processamento possa ser finalizado. Na prática observa-se que é dada a preferência para a execução dos processamentos em apenas uma etapa, ou seja, um processamento só interrompido quando no mínimo o plano de produção já foi cumprido.

Os resultados foram os esperados e estão em estudo para que a indústria os utilize.

Como trabalhos futuros pode-se aplicar o modelagem matemática utilizada neste trabalho pra avaliar a viabilidade de produtos dentro do contexto de uma determinada empresa considerando os parâmetros de custo fixo de cada produtos, margem de retribuição e limitantes com a capacidade de armazenagem.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, H. L. ; GIANESI, I. G. N. e CAON, M. *Planejamento, programação e controle da produção*. MRPII/ERP. São Paulo: Atlas, 2001.

DOGANIS, P. AND SARIMVEIS, H. **Optimal production scheduling for the dairy industry**. *Annals of Operations Research*, 159, p. 315-331, 2008.

KONDILI, E.; PANTELIDES, C. C. AND SARGENT, R. W. H. (1993). **A General Algorithm for Short-Term Scheduling of Batch Operations - I. MILP Formulation**. *Computers Chem. Engng.* Vol. 17, No. 2, pp. 211-227.

MARTINS, P. G. e LAUGENI, F. P. *Administração da Produção*, São Paulo: Saraiva, 2001.

PEDROSO, M. C; CORRÊA, H. L. *Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica*. São Paulo: Revista de Administração de Empresas , 1996.

RAGSDALE, C. T. *Spreadsheet Modeling and Decision Analysis*. 2 ed. Cincinnati: Ohio, South-Western College Publishing, 1997.

RUSSOMANO, V. H. *Planejamento e Controle da Produção*, 2 ed. São Paulo: Pioneira, 1995.

SLACK, N., CHAMBERS, St., HARLAND, C., HARRISON, A. & JOHNSTON, R., *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TOSO, E. A. V. E MORABITO, R. **Otimização do dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção: Estudo de caso numa fábrica de rações.** *Gestão & Produção* v. 12 n. 2 p. 203-217, 2005.

TUBINO, D. F.. *Manual de planejamento e controle da produção.* 2. ed. São Paulo: Atlas, 1997

**Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Engenharia de Produção
Curso de Engenharia de Produção
Av. Colombo 5790, Maringá-PR
CEP 87020-900
Tel: (044) 3261-4324 / 4219 Fax: (044) 3261-5874**